

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Некоммерческое акционерное общество
«Алматинский университет энергетики и связи имени
Гумарбека Даукеева»**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»**

**ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

**Международная научно-техническая конференция
(Алматы, Казань, 20-21 октября 2022 г.)**

Электронный сборник научных статей по материалам конференции

В трех томах

Том 1

Алматы, Казань

2023

УДК 620+004+378
ББК 31.1+32.81+74.48
М43

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии»
Национального исследовательского университета «МЭИ» К.В. Сулов

д-р экон. наук, зав. сектором «Экономика энергетики» Института энергетики Национальной
академии наук Беларуси Зорина Т.Г.

Редакционная коллегия:

Э.Ю. Абдуллазянов, С.С. Сагинтаева, И.Г. Ахметова, А.А. Саухимов, Ю.С. Валеева,
Р.С. Зарипова, Ж.Б. Суйменбаева

М43 Международная научно-техническая конференция «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование»: электронный сборник научных статей по материалам конференции: [в 3 томах] / ред.кол. Э.Ю. Абдуллазянов, С.С. Сагинтаева, И.Г. Ахметова, А.А. Саухимов, Ю.С. Валеева, Р.С. Зарипова, Ж.Б. Суйменбаева. – Казань: КГЭУ, 2023. – Т. 1. – 621 с.

ISBN 978-5-89873-615-6 (т. 1)
ISBN 978-5-89873-618-7

В электронном сборнике представлены научные статьи по материалам Международной научно-технической конференции «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование» по следующим научным направлениям:

1. Теплоэнергетика и теплотехнологии;
2. Электроэнергетика;
3. Радиотехника, электроника и телекоммуникации;
4. Энергообеспечение сельского хозяйства;
5. Промышленная и экологическая безопасность;
6. Математическое моделирование и системы управления;
7. Информационные технологии и кибербезопасность;
8. Космическая инженерия и робототехника;
9. Социально-политическое и культурное развитие Евразии;
10. Экономика знаний как фактор инновационного развития высшего образования.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в области энергетики, а также для обучающихся образовательных учреждений энергетического профиля.

Статьи публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание статей возлагается на авторов.

УДК 620+004+378
ББК 31.1+32.81+74.48

ISBN 978-5-89873-615-6 (т. 1)
ISBN 978-5-89873-618-7

© КГЭУ, 2023

УДК 620.92

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТА РСМ-ИНТЕНСИФИКАТОР НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ ИЗ МЕДНЫХ ГРАНУЛ И МЕДНОЙ СТРУЖКИ

Ахметова Ирина Гареевна ¹, Соловьева Ольга Викторовна ², Соловьев Сергей Анатольевич ³, Мурзаев Александр Сергеевич ⁴, Шакурова Розалина Зуфаровна ⁵, Гилязов Альберт Ильдарович ⁶

^{1,2,3,4,5,6}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

¹irina_akhmetova@mail.ru, ²solovyeva.ov@kgeu.ru, ³solovev.sa@kgeu.ru, ⁴erodonov@list.ru, ⁵shakurova.rz@gmail.com, ⁶keni82590@gmail.com

Аннотация: Материалы с фазовым переходом (PCM) применяются в качестве компонента теплоаккумуляторов, радиаторов, строительных перекрытий, теплоизоляционных материалах и др. Для интенсификации теплообмена и распределения температуры, в качестве матрицы используют высокопористые ячеистые материалы. Изменяя материал образцов пористой среды, пористость, размер ячеек и структуру, возможно рационально подойти к подбору матрицы, для достижения наибольшей эффективности и производительности. В данной работе исследуется два вида металлического наполнителя — медная стружка и медные гранулы, с целью определения характера нагрева, времени, необходимого для совершения фазового перехода и скорости его протекания. Экспериментальные данные показывают, что композит с матрицей на основе медных гранул может применяться в приложениях, где требуется быстро саккумулировать относительно небольшое количество теплоты, а после — так же быстро отдать теплоту. Композиты с матрицей из медной стружки целесообразно применять для аккумуляирования бóльшего количества тепловой энергии.

Ключевые слова: фазовый переход, интенсификаторы теплообмена, гранулы, стружка, аккумуляирование тепловой энергии, эксперимент.

DETERMINATION OF THE HEAT-STORAGE PROPERTIES OF A PCM-INTENSIFIER COMPOSITE BASED ON A MATRIX FROM COP- PER GRANULES AND COPPER CHIPS

Akhmetova Irina Gareevna ¹, Soloveva Olga Viktorovna ², Solovev Sergey Anatolievich ³, Murzaev Alexander Sergeevich ⁴, Shakurova Rozalina Zufarovna ⁵, Gilyazov Albert Ildarovich ⁶

^{1,2,3,4,5,6} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan

Abstract: Phase change materials (PCM) are used as a component of heat accumulators, radiators, building floors, thermal insulation materials, etc. Highly porous cellular materials are used as a matrix to intensify heat transfer and temperature distribution. By changing the material of the samples of the porous medium, porosity, cell size and structure, it is possible to rationally approach the selection of the matrix to achieve the greatest efficiency and productivity. In this paper, we study two types of metal filler - copper chips and copper granules, in order to determine the nature of heating, the time required to complete the phase transition and its rate. Experimental data show that a composite with a matrix based on copper granules can be used in applications where it is required to quickly accumulate a relatively small amount of heat, and then release heat just as quickly. It is expedient to use composites with a matrix of copper shavings for accumulating a larger amount of thermal energy.

Keywords: phase transition, heat transfer intensifiers, granules, shavings, thermal energy accumulation, experiment.

Введение

В условиях повышения спроса на тепловую энергию использование традиционных источников энергии приводит к ряду негативных последствий для окружающей среды. Значительное количество низкотемпературного тепла промышленных процессов может использоваться как «полезное тепло» с пользой для экономики и экологии. Таким образом, материалы с фазовым переходом (PCM) все чаще внедряются в различные системы накопления и последующего использования тепловой энергии. В настоящее время существует множество исследований, в которых рассматривается повышение эффективности аккумулирования тепла с помощью PCM. Перед исследователями стоят задачи повышения теплопроводности, энергоемкости, производительности систем с PCM и их оптимизации при сохранении экономичности.

В работе [1] численно исследовалась эффективность различных форм металлических пен в композите парафин/пена. По словам авторов, оптимизация геометрической формы пены (матрицы) позволяет существенно сократить время плавления, а также увеличить среднюю скорость плавления и средний тепловой поток. Авторами работы [2] частично заполняли медную пену парафином с тремя различными способами расположения пены в композите. Исследовались 3 способа расположения медной пены: двухрядная, распределенная по кольцу (1); по кольцу, перпендикулярной направлению витка (2) и по кольцу в направлении (3), параллельном горизонтальной оси. Фиксировались распределение температуры и скорость аккумулирование тепла. Было выявлено, что вариант (1) расположения

пены способствует равномерности распределения пены в радиальном направлении, а вариант (2) может повысить распределение температуры вдоль периферийного направления.

Оптимизация тепловых характеристик композита металлическая пена-парафин в зависимости от пористости матрицы (ϵ) и плотности пор (PPI) исследовалась в работе [3]. Рассматривались пены с 10 PPI с шестью пористостями — от 88% до 98%, а также варьировалась плотность пор: от 5 до 30 PPI при постоянной пористости 94%. По результатам, полученным в процессе численного моделирования, авторы выделили следующие выводы: 1) снижение пористости способствует снижению времени полного плавления и увеличению скорости температурного отклика; 2) увеличение плотности пор улучшает тепловые характеристики и более существенно для плотности пор от 5 до 15 PPI; 3) уменьшение пористости приводит к снижению теплоаккумулирующей способности, значение плотности пор на теплоаккумулирующую способность не влияет.

Исследованием влияния морфологии ребер медных матриц на внутреннюю скорость накопления тепла, термическую однородность и теплопроводность композитных материалов занимались в статье [4]. К рассмотрению предлагалось 5 геометрических форм (структур) ребра. Сообщается, что с увеличением пористости уменьшалась эффективная теплопроводность. Структуре треугольной призмы характерна наибольшая скорость накопления тепла. Авторы акцентируют внимание на возможности оптимизации подготовки композитных материалов для достижения наибольшей эффективности путем работы с морфологией, пористостью и PPI пен.

Авторы работы [5] методом вакуумной пропитки изготавливали композит парафиновый воск-металлическая пена. Теплопроводность изготовленного композита парафин-никелевая пена оказалась в 6 раз выше, чем у чистого парафина, тогда как теплопроводность композита с алюминиевой пеной превышает теплопроводность чистого парафина в 18 раз. Согласно результатам исследования, на теплопроводность композита влияет теплопроводность металлической пены, а размер пор оказывает незначительное влияние. Путем внесения поправок была усовершенствована существующая аналитическая модель [6] по прогнозированию эффективной теплопроводности.

В работе [7] исследовали улучшение теплопередачи композитного материала с РСМ с помощью добавления пенометалла, изготовленного из опилок алюминиевого сплава путем спекания и растворения. Термические свойства исследуемого композитного материала сравнивались со свойствами чистого парафина, а также с композитом, изготовленным с использованием неспеченной стружки. Сообщается, что применение повторно используемой стружки при изготовлении композитов на основе парафина, позволяет значительно улучшить тепловую реакцию композитов.

Авторы работы [8] отмечают, что в случае поглощения энергии композитом пенометалл-РСМ на скорость плавления существенно влияет распределение пор по размерам, таким образом, пене с преобладанием мелких пор характерны более быстрое протека-

ние процесса плавления и более высокая скорость теплопередачи. Сообщается, что обнаруженный принцип свойственен как пенам с высокой, так и с низкой пористостью.

Влияние конвекции на тепловые характеристики плавления системы накопления тепловой энергии с фазовым переходом численно исследовали в работе [9]. Влияние конвекции изучалось для трех диапазонов размеров пор (3-4 мм, 4-5 мм, 5-6 мм) при одинаковом значении пористости, равном 50%. Сообщается, что при меньшей пористости скорость плавления выше; конвекция увеличивает скорость теплообмена и сокращает время завершения плавления. Конвекция играет важную роль при большем размере пор (от 5 до 6 мм), таким образом снижение кондуктивной теплопередачи компенсируется увеличением конвективной теплопередачи, что приводит к уменьшению времени, требующегося для плавления.

На характеристики теплового поведения композитного материала с РСМ существенное влияние оказывает геометрия структуры пеноматериала [10]. Для кубической периодической конфигурации пеноматериала при одинаковой плотности пор эффективная теплопроводность снижается при уменьшении пористости; в то же время плотность пор при одинаковой пористости не оказывает существенного влияния на эффективную теплопроводность. Авторы отмечают явление естественной конвекции в области жидкой фазы парафина в процессе фазового перехода.

Авторы работы [11] исследовали повышение эффективности композита пеноматериал-РСМ с учетом общего времени плавления, производительности и экономии. Оценивалась стратегия частичного заполнения. Применение металлической пены повышает эффективную теплопроводность композита, что влияет на ускорение процесса плавления, к негативным аспектам можно отнести подавление естественного конвективного переноса и уменьшение массы РСМ. Улучшению кондукторного переноса тепла способствует размещение пеноматериала только в области низкой скорости плавления чистого РСМ, таким образом, исключается явление подавления кондуктивного переноса полным (большим) объемом металлической пены. В зависимости от поставленной задачи по достижению требуемых тепловых характеристик системы, авторы предложили использовать одну из предложенных ими конфигураций с различными коэффициентами заполнения.

Основная часть

Ввиду относительно невысокой теплопроводности материалов с фазовым переходом, существует задача по интенсификации теплообмена и равномерному распределению температуры по всему объему РСМ. Одними из самых распространенных материалов с фазовым переходом являются парафины, гидратированные соли и жирные кислоты. В качестве материала матрицы обычно используют металлы с высокой теплопроводностью: медь, алюминий, никель и др. Однако производство таких высокопористых ячеистых материалов (ВПЯМов) является очень дорогостоящим. В данной работе исследуются интенсификаторы теплообмена, способные заменить металлические пены — медные грану-

лы и медная стружка, с целью определения эффективности применения типа наполнителя, а также характера протекания процессов нагрева, фазового перехода и остывания исследуемых образцов композита РСМ-интенсификатор. В качестве материала с фазовым переходом используется парафин.

На Рис. 1 представлена схема экспериментальной установки.

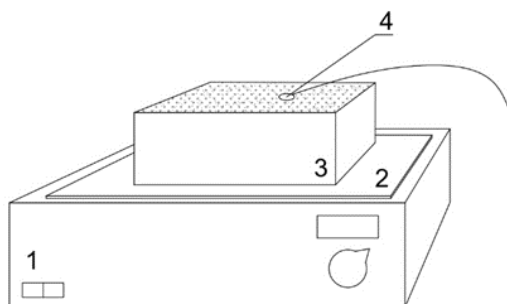


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – нагреватель; 2 – алюминиевая пластина; 3 – контейнер для измерения с матрицей и парафином; 4 – термопара.

Исследуемый образец, представляющий из себя металлический контейнер, внутрь которого помещался композит парафин-интенсификатор, помещался на алюминиевую пластину для исключения конвективных потоков горячего воздуха, а также для выравнивания температуры по всему дну контейнера. Пластина с контейнером устанавливалась сверху нагревателя. Композит был помещен в контейнер для исключения вытекания парафина и состоял из материала с высокой теплопроводностью. В процессе эксперимента фиксировались температура матрицы (наполнителя); время начала фазового перехода; время, затраченное на фазовый переход; время, необходимое для нагрева образца до температуры 55 °С. При температуре 55 °С фазовый переход завершился для всех образцов медного наполнителя, поэтому данная температура была выбрана в качестве контрольного значения. Задачей исследования явилось определение целесообразности применения двух видов наполнителя (медная стружка и медные гранулы) в качестве интенсификатора теплообмена в композитном материале РСМ/медный наполнитель при различном содержании парафина. На рисунке 2 представлены фотографии образцов медной матрицы со структурами в виде гранул и стружки.



Рис. 2. Фотографии медных матриц с различными структурами в виде: (а) гранул; (б) стружки.

На рисунке 3 представлены фотографии композитного материала с медными матрицами различной структуры с изменяемым содержанием парафина. Общий объем композитного материала для всех образцов сохранялся постоянным и составлял $9,6 \text{ см}^3$.



Рис. 3. Фотографии композитных материалов с различными типами матриц и при различном содержании парафина: (а) композит с медными гранулами с содержанием па-

парафина 43%; (б) композит с медными гранулами с содержанием парафина 52%; (в) композит с медной стружкой с содержанием парафина 63%; (г) композит с медной стружкой с содержанием парафина 80%.

Процентное содержание парафина определялось как объемная доля его содержания в композитном материале. При этом учитывалось изменение объема парафина в процессе перехода в жидкую фазу, поэтому контейнер заполнялся не полностью.

Результаты и обсуждение

В настоящем исследовании постоянной величиной был объем заполняемого контейнера, содержащий парафин и медный наполнитель. При этом для разных вариантов наполнителя содержание парафина тоже менялось. Постоянным всегда оставался общий объем. Исследовалось влияние содержания парафина и структуры медной матрицы на теплоаккумулирующие свойства композита.

На рисунке 4 представлены графики изменения температуры матрицы по времени в процессе нагрева для четырех образцов матриц: матриц с медными гранулами с пористостью $\varepsilon=0,55$ при содержании парафина 52% и 43% от общего объема, матриц со стружкой с пористостью $\varepsilon=0,85$ при содержании парафина 63% и 80%.

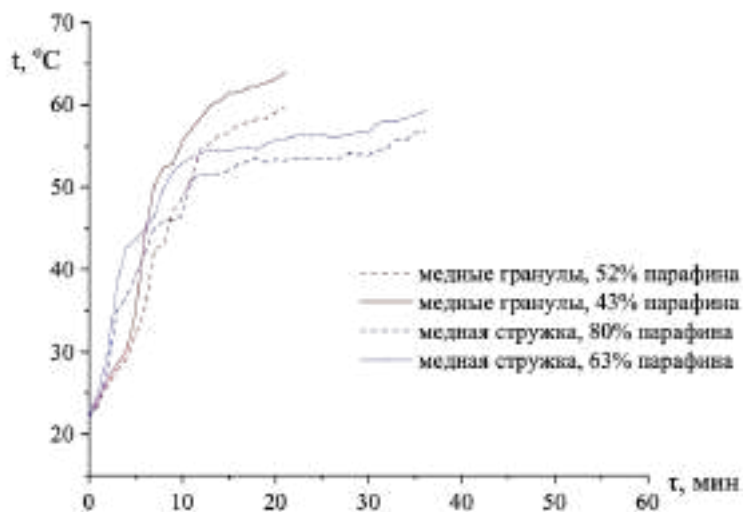


Рис. 4. Изменение температуры по времени в процессе нагрева для четырех образцов матриц: матриц с медными гранулами с пористостью $\varepsilon=0,55$ при содержании парафина 52% и 43%, матриц со стружкой с пористостью $\varepsilon=0,85$ при содержании парафина 63% и 80%.

Анализируя график изменения температуры по времени, можно сделать вывод: быстрее нагрелась матрица с медными гранулами, медленнее грелась матрица с медной стружкой.

На рисунке 5 представлены графики изменения температуры по времени при фазовом переходе в процессе нагрева для четырех образцов медной матрицы: матрица с медными гранулами с пористостью $\varepsilon=0,55$ при содержании парафина 52% и 43%, матрица со стружкой с пористостью $\varepsilon=0,85$ при содержании парафина 63% и 80%.

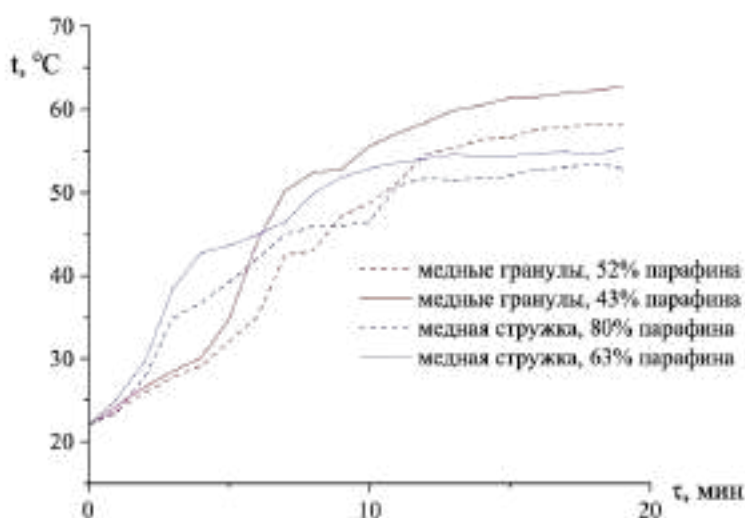


Рис. 5. Изменение температуры по времени при фазовом переходе в процессе нагрева для четырех образцов матриц: матриц с медными гранулами с пористостью $\varepsilon=0,55$ при содержании парафина 52% и 43%, матриц со стружкой с пористостью $\varepsilon=0,85$ при содержании парафина 63% и 80%.

Для образцов матриц со стружкой и гранулами из графика распределения температур по времени (рисунок 5) видно, что повышенное содержание парафина приводит к тому, что процесс плавления сдвигается по оси времени вправо, то есть происходит позже. Процесс нагрева матрицы со стружкой и гранулами с большим содержанием парафина так же происходит медленнее, чем однотипных матриц с меньшим содержанием парафина. При повышенном содержании парафина температура матрицы растет значительно медленнее, поскольку увеличение содержания парафина требует большего количества теплоты на нагрев парафина. В образцах матриц с гранулами время аккумуляции самое короткое, что можно объяснить ее малой пористостью и как следствие меньшим содержанием парафина. В свою очередь матрица со стружкой имеет более высокую пористость и более высокое содержания парафина, поэтому время, требуемое на фазовый переход, больше.

На рисунке 6 представлены графики изменения температуры матрицы по времени в процессе остывания для четырех образцов матриц: матриц с медными гранулами с пористостью $\varepsilon=0,55$ при содержании парафина 52% и 43%, матриц со стружкой с пористостью $\varepsilon=0,85$ при содержании парафина 63% и 80%.

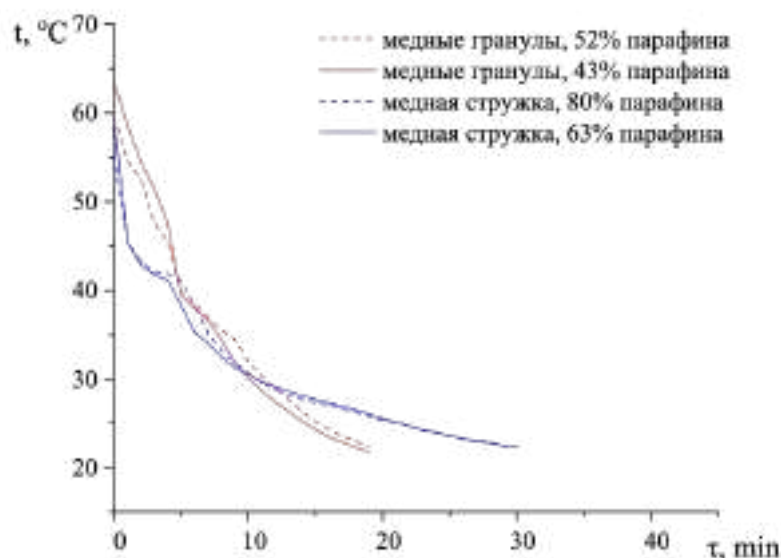


Рис. 6. Изменение температуры матрицы по времени в процессе остывания для четырех образцов матриц: матриц с медными гранулами с пористостью $\varepsilon=0,55$ при содержании парафина 52% и 43%, матриц со стружкой с пористостью $\varepsilon=0,85$ при содержании парафина 63% и 80%.

Для образца композитного материала с матрицей из медной стружки можно отметить самое продолжительное время остывания по сравнению с матрицами на основе гранул. Это связано с тем, что в процессе нагрева композит на основе матрицы из медной стружки позволил аккумулировать большее количество энергии. Интенсивнее остывает композит на основе матрицы из медных гранул за счет её высокой металлоемкости и низкого содержания парафина в композитном материале.

На рисунке 7 представлен график изменения температуры матрицы по времени при фазовом переходе в процессе остывания для четырех образцов матриц: матриц с медными гранулами с пористостью $\varepsilon=0,55$ при содержании парафина 52% и 43%, матриц со стружкой с пористостью $\varepsilon=0,85$ при содержании парафина 63% и 80%.

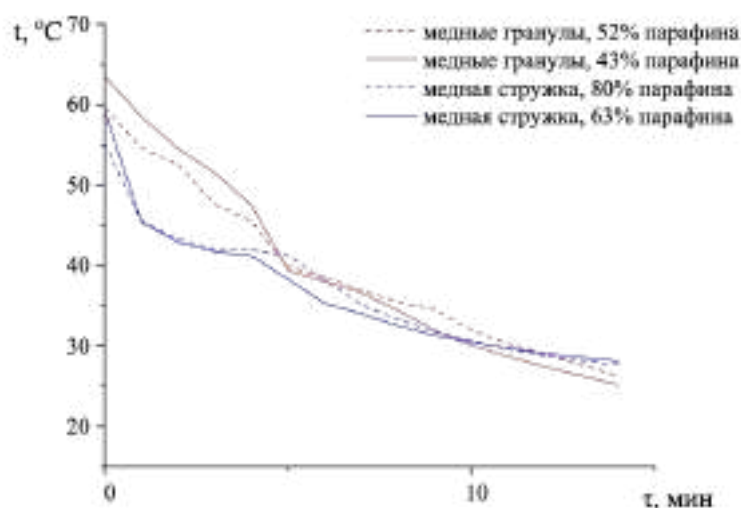


Рис. 7. График изменения температуры матрицы по времени при фазовом переходе в процессе остывания для четырех образцов матриц: матриц с медными гранулами с пористостью $\varepsilon=0,55$ при содержании парафина 52% и 43%, матриц со стружкой с пористостью $\varepsilon=0,85$ при содержании парафина 63% и 80%.

Для всех образцов матриц можно отметить, что повышение содержания парафина увеличивает время кристаллизации. Например, у образца композита с медными гранулами при содержании парафина 52% время кристаллизации составило 4 минуты (с 5й до 9й минуты). В то время как образец с медными гранулами с содержанием парафина в 43% показал время кристаллизации 2 минуты (с 5й по 7ю минуту). Наиболее продолжительное время фазового перехода (5 минут, при содержании парафина 80%) показал образец композита с матрицей из медной стружки. Наименьшее время кристаллизации показали образцы с медными гранулами. Можно заключить, что матрица из медной стружки позволяет увеличить время зарядки/разрядки композита благодаря тому, что в объеме композита с матрицей из медной стружки заключается больший объем парафина. Это полезно в приложениях, где важна не скорость аккумуляции тепла, а количество с аккумулированной энергии.

В приложениях, где важна скорость аккумуляции тепла, целесообразнее применять композиты на основе матрицы из медных гранул. Пористость такой матрицы как правило меньше, соответственно объемная доля содержания парафина меньше, и требуется меньше времени для процессов фазового перехода.

Выводы

В данной работе проведены экспериментальные исследования теплоаккумулирующих свойств композитов, состоящих из парафина и различных типов медной матрицы:

на основе гранул и на основе стружки. Исследовалась целесообразность использования в различных приложениях определенного типа матрицы для интенсификации теплообмена в композитном материале. В процессе экспериментальных исследований изучалось влияние содержания парафина и типа матрицы на продолжительность фазового перехода в процессе нагрева и остывания композитного материала. В результате можно сделать следующие выводы:

- композитный материал на основе матрицы из медной стружки целесообразно использовать в случаях с большим подводом тепловой энергии которую требуется саккумулировать;
- композитный материал на основе матрицы из медных гранул предлагается использовать в приложениях, где требуется быстро саккумулировать энергию при ее непродолжительном подводе, и так же быстро ее отдать.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № 075-01262-22-01 от 28 января 2022 г. (Дополнительное соглашение 075-03-2022-151/1 с 31 января 2022 года).

Источники

- [1] Gao Y. et al. Influence of the copper foam shape on thermal performance of phase-change material //Journal of Energy Storage. – 2021. – Т. 36. – С. 102416.
- [2] Hou Y., Chen H., Liu X. Experimental study on the effect of partial filling of copper foam on heat storage of paraffin-based PCM //Renewable Energy. – 2022. – Т. 192. – С. 561-571.
- [3] Meng X. et al. Effect of porosity and pore density of copper foam on thermal performance of the paraffin-copper foam composite Phase-Change Material //Case Studies in Thermal Engineering. – 2020. – Т. 22. – С. 100742.
- [4] Yang X. et al. Effects of morphology and internal voids of copper ribs on heat transfer performance in copper foam/paraffin composite phase change materials //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2020. – Т. 152. – С. 119526.
- [5] El Idi M. M., Karkri M., Kraiem M. Preparation and effective thermal conductivity of a Paraffin/Metal Foam composite //Journal of Energy Storage. – 2021. – Т. 33. – С. 102077.
- [6] Белобородов С. С. Повышение системной эффективности ТЭЦ как фактор перехода к ресурсосберегающей и экологически безопасной энергетике / С. С. Белобородов, А. А. Дудолин, Е. М. Лисин, В. О. Киндра // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 135-145.

[7] Boomsma K., Poulikakos D. On the effective thermal conductivity of a three-dimensionally structured fluid-saturated metal foam //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2001. – Т. 44. – №. 4. – С. 827-836.

[8] Thalmaier G., Sechel N. A., Vida-Simiti I. Heat transfer enhancement of paraffin phase change composite material using recycled aluminum sawing chips //Jom. – 2019. – Т. 71. – №. 3. – С. 1049-1055.

[9] Dinesh B. V. S., Bhattacharya A. Comparison of energy absorption characteristics of PCM-metal foam systems with different pore size distributions //Journal of Energy Storage. – 2020. – Т. 28. – С. 101190.

[10] Запольская И. Н. Влияние индивидуальных водо-водяных подогревателей на потребление тепловой энергии многоквартирными домами / И.Н. Запольская // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 146-155.

[11] Parida A., Bhattacharya A., Rath P. Effect of convection on melting characteristics of phase change material-metal foam composite thermal energy storage system //Journal of Energy Storage. – 2020. – Т. 32. – С. 101804.

[12] Hu X., Gong X. Pore-scale numerical simulation of the thermal performance for phase change material embedded in metal foam with cubic periodic cell structure //Applied thermal engineering. – 2019. – Т. 151. – С. 231-239.

[13] Joshi V., Rathod M. K. Thermal performance augmentation of metal foam infused phase change material using a partial filling strategy: An evaluation for fill height ratio and porosity //Applied Energy. – 2019. – Т. 253. – С. 113621.

[14] Генбач А. А. Пути повышения эффективности охлаждения камер сгорания и сопел ГТУ / А.А. Генбач, Д.Ю. Бондарцев, И.К. Илиев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 114-134.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, СОДЕРЖАЩИЕСЯ В ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ

Бадретдинова Гузель Рамилевна¹, Дмитриев Андрей Владимирович², Гумерова Гузель
Хайдаровна³

^{1,2}ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

³ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический
университет»

¹nice.badretdinova@mail.ru, ²ieremiada@mail.ru, ³gumerova@kstu.ru

Аннотация. Авторами работы был разработан и внедрен теплообменный аппарат с оребренными трубами в ООО «ПАЛП Инвест», г. Казань. На основе полученных экспериментальных данных был определен режим работы теплообменного аппарата, предназначенного для передачи тепла от парогазовой смеси, содержащей твердые частицы целлюлозы к нагреваемой воде, протекающей внутри трубок. Получены зависимости времени работы от теплового потока между процессом восстановления и объемом воды затрачиваемому на одно восстановление поверхности, а также от стоимости воды.

Ключевые слова: теплопередающая поверхность, загрязнения твердыми частицами, коэффициент теплопередачи, оптимальный режим работы

RESTORATION OF THE HEAT TRANSFER SURFACE IN CASE OF CONTAMINATION BY SOLID PARTICLES OF CELLULOSE CONTAINED IN THE VAPOR-GAS MIXTURE

Badretdinova Guzel Ramilevna¹, Dmitriev Andrey Vladimirovich¹, Gumerova Guzel
Khaydarovna²

¹Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

²Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

¹nice.badretdinova@mail.ru, ²ieremiada@mail.ru, ³gumerova@kstu.ru

Annotation. The authors of the work developed and implemented a heat exchanger with finned pipes in «PULP Invest», the city of Kazan. Based on the experimental data obtained, the operating mode of a heat exchanger designed to transfer heat from a vapor-gas mixture containing solid cellulose particles to heated water flowing inside the tubes was determined. The dependences of the operating time on the heat flow between the restoration process and the volume of water spent on one restoration of the surface, as well as on the cost of water, are obtained.

Key words: *heat transfer surface, solid particle contamination, heat transfer coefficient, optimal operating mode*

Введение

Большинство промышленных предприятий используют теплообменники для процессов предварительного нагрева, конденсации и испарения. Внутри и на поверхности этих аппаратов часто образуются нежелательные отложения [1, 2]. Эти отложения известны как загрязнения или засорения мелкими твердыми частицами и вызывают множество эксплуатационных проблем, таких как снижение коэффициента теплопередачи, увеличение гидравлического сопротивления или ухудшение качества продукта. С учетом технических и экономических требований все большее значение приобретают стратегии по уменьшению загрязнения. Зачастую с загрязнением теплообменного оборудования сталкиваются нефте- и газовые отрасли, тепловые электростанции, заводы по изготовлению, транспортировке, фракционированию сыпучих материалов и порошков, пищевые производства, целлюлозно-бумажные комбинаты и т.д. [3,4]. Современные исследования предлагают различные модификации конструкций теплообменников, а также различные способы очистки теплопередающих поверхностей как средства для минимизации загрязнений [5].

На тепловых электростанциях отложение золы на поверхности теплообменника влияет на его характеристики теплопередачи и срок службы аппарата, что снижает эффективность рекуперации и использование отработанного тепла, получаемого от дымовых газов [6, 7]. В работе [8] был разработан численный метод для исследования характеристик золоотложения в кожухотрубчатых теплообменниках. С помощью интегрированной модели загрязнения, включающая в себя такие механизмы, как перенос, отскок, осаждение и удаление частиц, прогнозировалось поведение частиц. В исследовании было изучено влияние диаметра частиц и скорости дымовых газов на образование слоя осадка, а также на абсолютный и относительный коэффициенты осаждения. Проведено сравнение механизмов образования осадков трех труб различной геометрии. Исходя из этого, образование осадков золы можно уменьшить за счет увеличения скорости потока дымовых газов, фильтрации средних и крупных частиц, а также использования эллиптических и плоских круглых труб.

Авторами статьи [9] был разработан численный метод исследования характеристик загрязнения типичного теплообменника. В ходе исследования была разработана интегрированная модель загрязнения, состоящая из процессов отложения и удаления слоя твердых частиц, имитирующая поведение загрязнений. Экспериментально было исследовано влияние скорости потока на входе и диаметра частиц на сопротивление загрязнению. Результаты показали, что движение частиц легко контролировалось различными вихревыми структурами, а засорение в основном происходило в области торможения и рециркуляции потока. Также увеличение скорости потока на входе и диаметра частиц приводит к уменьшению загрязнения.

В работе [10], направленной на повышение теплопередачи, снижения гидравлического сопротивления и уменьшения отложений на поверхностях теплообмена в условиях повышенной запыленности были предложены линейно-эллиптический и сотовый трубные пучки, а также исследованы характеристики слоев осадка и теплогидравлические характеристики до и после загрязнения. На основе модели зольного обрастания и метода прогнозирования были получены уравнения распределения слоя осадка и их морфология, а зольные обрастания и теплогидравлические характеристики были исследованы путем параметризации.

Отложение золы на поверхности теплообмена является серьезной проблемой, которая имеет решающее значение для работы котла-утилизатора [11]. В данной работе были проведены исследования по уменьшению отложений и сохранению характеристик теплопередачи. Методом численного моделирования исследовалась новая ромбическая поверхность теплообмена, анализировались характеристики осаждения и распределения частиц различного диаметра, а также скорости потока. Было проведено сравнение различных вариантов расположения трубок: ромбических, выровненных и расположенных в шахматном порядке. Результаты показывают, что из всех рассматриваемых вариантов компоновки трубок ромбическая поверхность теплообмена лучше всего способствует уменьшению зольных отложений.

В статье [12] дана численная оценка нового теплообменника с пучком труб с поперечным потоком, который сочетает в себе трубы разного диаметра во встроенной компоновке с целью снижения скорости загрязнения твердыми частицами со стороны газа при сохранении оптимальных значений коэффициента теплопередачи. Проведено сравнение трех схем: кожухотрубчатый теплообменник с цилиндрическими трубами одинакового диаметра и две другие схемы, состоящие из чередующихся цилиндров с отношением диаметров $d/D = 0,5$, при двух разных поперечных расстояниях. Результаты показывают, что стандартная компоновка пучка труб с неравными цилиндрами, размещенными на максимальном поперечном расстоянии друг от друга, обеспечивают значительное снижение скорости осаждения частиц без изменений оптимальных значений коэффициентов теплопередачи на единицу объема и низкого перепада давления.

Многие исследования посвящены анализу влияния состава теплопередающей поверхности на степень загрязнения. Например, алмазоподобные углеродные покрытия поверхностей теплообменников используются для уменьшения кристаллизационного загрязнения [13]. В промышленности стабильность удельных свойств поверхности, подверженных жидкостным, термическим и химическим воздействиям, определяет их эффективность. Поэтому исследуются теплогидравлические и очищающие напряжения, приложенные к покрытию.

В пищевой отрасли загрязнение технологического оборудования частицами молока и биопленки являются распространенными проблемами в молочной

промышленности [14, 15]. Один из предлагаемых способов уменьшить загрязнение частицами молока и образование биопленок является изменение характеристик поверхностей, контактирующих с молоком. В исследовании [16] изучается возможность использования модификационной поверхности нержавеющей стали на основе золь-геля во время термической обработки молока для оценки обрастания и адгезии бактерий. Проведена оценка восприимчивости модифицированных образцов из нержавеющей стали к загрязнению в пластинчатом теплообменнике. Наблюдается значительное уменьшение количества загрязненного слоя на модифицированных поверхностях и их устойчивость к образованию биопленки. В целом модифицированная поверхность продемонстрировала хорошие результаты при термической обработке молока, обеспечивая значительно меньшее загрязнение и прилипание бактерий.

Основная часть

В данной работе авторами была изучена проблема загрязнения твердыми частицами целлюлозы поверхности теплообменного аппарата, внедренного на предприятии ООО «ПАЛП Инвест», г. Казань (рис.1). В процессе эксплуатации теплообменника, его поверхность покрывалась слоем осадка и конденсата, получаемого от парогазовой смеси. Вследствие данного процесса начали ухудшаться тепловые характеристики оборудования, а именно снижаться эффективность теплопередачи. Для того чтобы поддерживать значения коэффициентов теплопередачи оптимальными на протяжении всей работы теплообменника, необходимо реже проводить очистительные работы путем смывания водой слоев осадка. Так как эффективнее всего чаще проводить очистку, а не бороться с последствиями, то перед авторами возникает задача в выявлении режима работы аппарата и получении зависимостей для расчета времени, по истечению которого необходимо восстанавливать поверхность теплообмена путем смывания ее водой для дальнейшей ее эксплуатации.



Рис. 1. Внедренный теплообменный аппарат на предприятии «ПАЛП Инвест».

В ходе приведенного исследования была построена методики расчета режима восстановления поверхности. Для этого распределение потока тепла во времени прогнозировалось по графику на рисунке 2.

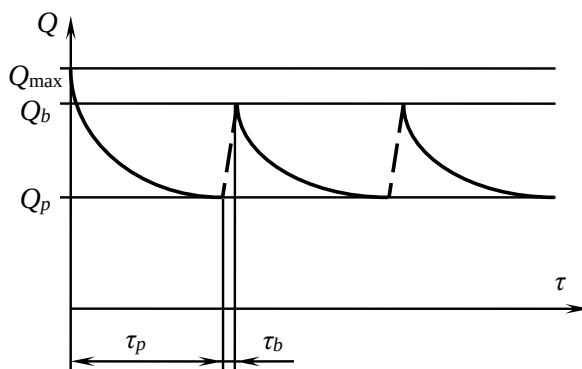


Рис. 2. График распределения теплового потока на оребренных трубах подверженных интенсивному загрязнению внешней поверхности

Из графика видно, что в начальный момент времени $\tau = 0$ максимальный тепловой поток составляет $Q_{\max}$. Восстановление поверхности происходит за период времени τ_p , когда тепловой поток уменьшается до значения Q_p . Так как очистка поверхности теплообменного оборудования осуществляется путем смывания отложений водой, то ее полное восстановление невозможно. Вследствие этого теплопередающая поверхность восстанавливается до значения Q_b за период времени τ_b .

Тепловой поток за один цикл можно определить по формуле:

$$Q_1 = \int_0^{\tau_p} Q(\tau) d\tau \quad (1)$$

где τ_p – время работы между процессами восстановления поверхности, с; $Q(\tau)$ – зависимость теплового потока от времени, Вт.

Результаты

Экспериментальные данные, полученные в ходе изучения осаджений на теплообменнике, установленном на предприятии «ПАЛП Инвест» показывают, что осадок имеет симметричный профиль относительно оси труб. Данный механизм образования осадка свидетельствует о том, частицы целлюлозы перемещаются к поверхности теплопередачи вместе с каплями конденсирующегося пара. Поэтому поток массы частиц, осаждаемый к теплопередающей поверхности одинаковый по всем направлениям.

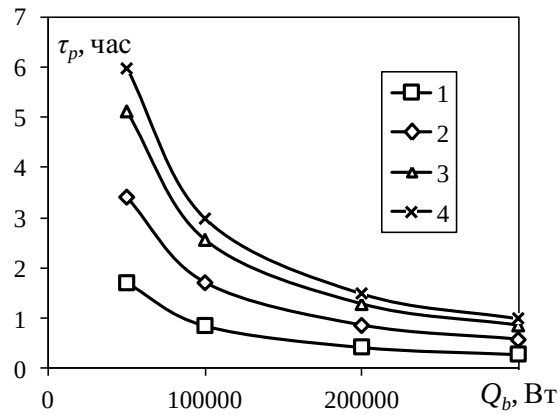


Рис. 3. Зависимость времени работы между процессом восстановления от теплового потока и объема воды затрачиваемой на одно восстановление поверхности. V_1 , м³: 1 – 0,5; 2 – 1; 3 – 1,5; 4 – 1,75.

В процессе восстановления поверхности путем смывания водой по графику, представленном на рисунке 3 видно, что с увеличением значения восстановленного теплового потока Q_b период τ_r заметно снижается. Это объясняется тем, что необходимо снижать термическое сопротивление, которое создается слоем осадка. То есть для того, чтобы поддерживать тепловой поток, равный 50 кВт, необходимо смывать осадок каждые 6 часов, а для поддержания теплового потока в 200-300 кВт необходимо восстанавливать поверхность каждые 30 минут. В ходе исследования была получена зависимость от объема подаваемой воды на одну промывку. Например, подавая 0,5 м³ воды необходимо повторять процедуру восстановления каждые 1,7 часов, а при 1,75 м³ это значение составит 6 часов.

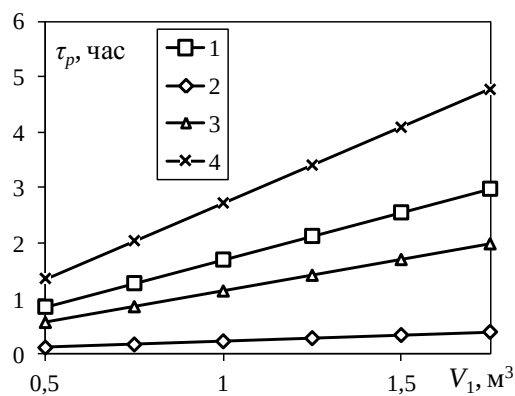


Рис.4. Зависимость времени работы между процессом восстановления от объема воды затрачиваемой на одно восстановление поверхности и стоимости использования воды. PV_1 , руб./м³: 1 – 750; 2 – 100; 3 – 500; 4 – 1200

Так как объем воды, затрачиваемый на восстановление поверхности, и ее стоимость являются не мало важными факторами, была получена соответствующая зависимость (рис. 4). Как показано на графике, если для одной промывки необходимо $1,75 \text{ м}^3$ воды при ее стоимости 100 руб./ м^3 , то время работы между процессом восстановления составит 0,44 часа, а если стоимость увеличится в 12 раз, то и время, соответственно, должно быть увеличено примерно в 12 раз.

Обсуждение и выводы

Выявлено, что возможно существенное сокращение расхода воды на восстановление поверхности и увеличение эффективности использования теплообмена. Обнаружены условия, при которых наблюдается слабая зависимость времени работы между процессом восстановления от объема воды затрачиваемой на одно восстановление поверхности при высокой ее стоимости. оценочные расчеты показали, что время, через которое необходимо восстанавливать поверхность, может составлять 6 часов в диапазоне параметров, в которых производились расчеты.

Источники

- [1] Khazhidinova A., Stepanova O., et al. // Heat Transfer Research. 2022. V. 53. №. 1.
- [2] Bujak J.W. // Energy. 2015. V. 90. P. 1721-1732.
- [3] Bansal B., Chen X.D. // Comprehensive reviews in food science and food safety. 2006. V. 5. №. 2. P. 27-33.
- [4] Young A. et al. // Heat Transfer Engineering. 2011. V. 32. №. 3-4. P. 216-227.
- [5] Schnöing L., Augustin W., Scholl S. // Food and Bioproducts Processing. 2020. V. 121. P. 1-19.
- [6] Kukulka D. J., Smith R. // Applied Thermal Engineering. 2013. V. 61. №. 1. P. 60-66.
- [7] Kukulka D. J., Smith R., Li W. // Applied Thermal Engineering. 2015. V. 89. P. 1079-1086.
- [8] Guo Z., et al. // Clean Technologies and Environmental Policy. 2022. V. 24. №. 1. P. 77-93.
- [9] Wang F. L., et al. // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. V. 104. P. 774-786.
- [10] Tang S. Z., et al. // Fuel. 2019. V. 251. P. 316-327.
- [11] Li J., Du W., Cheng L. // Applied Thermal Engineering. 2017. V. 113. P. 1033-1046.
- [12] Mavridou S. G., Bouris D. G. // International journal of heat and mass transfer. 2012. V. 55. №. 19-20. P. 5185-5195.
- [13] Siebeneck K. et al. // Heat Transfer Engineering. 2017. V. 38. №. 7-8. P. 818-828.
- [14] Walmsley T. G., et al. // Advanced Powder Technology. 2013. V. 24. №. 4. P. 780-785.
- [15] Piepiórka-Stepuk J., Diakun J., Mierzejewska S. // Journal of cleaner production. 2016. V. 112. P. 946-952.
- [16] Liu D. Z. et al. // Journal of dairy science. 2017. V. 100. №. 4. P. 2577-2581.

ВОЗМОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ В РАБОТУ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Варганова Ангелина Михайловна¹, Закиров Ринат Нургалиевич²

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

¹linavrgnv@gmail.com, ²askar-zrn@mail.ru

Аннотация: в данной работе предложен способ повышения эффективности систем теплоснабжения за счет применением инновационных технологий в условиях цифровизации энергетики. Предлагается проектировать в новых многоквартирных домах современные системы отопления с горизонтальной лучевой разводкой для возможности установки поквартирных приборов учета тепловой энергии, а также использование интеллектуальной системы регулирования потребления теплоты.

Ключевые слова: цифровизация, теплоснабжение, жилищно-коммунальное хозяйство, система отопления, горизонтальная разводка, теплосчетчик.

POSSIBILITY OF INTRODUCING DIGITALIZATION INTO THE OPERATION OF HEATING SYSTEMS AT HOUSING AND UTILITIES

Varganova Angelina Mikhailovna¹, Zakirov Rinat Nurgalieovich²

^{1,2}Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan

¹linavrgnv@gmail.com, ²askar-zrn@mail.ru

Abstract: in this paper, a method is proposed to improve the efficiency of heat supply systems through the use of innovative technologies in the context of digitalization of the energy sector. It is proposed to design modern heating systems with horizontal beam distribution in new apartment buildings for the possibility of installing apartment-by-apartment heat energy meters, as well as the use of an intelligent heat consumption control system.

Key words: digitalization, heat supply, housing and communal services, heating system, horizontal wiring, heat meter.

Введение

Развитие отрасли ЖКХ в современном мире направлено на усовершенствование систем теплоснабжения за счет создания интеллектуальной системы, которая поможет более точно контролировать потребление тепловой энергии дистанционно. Под цифровизацией

понимается простое преобразование информации в цифровую форму. Информация в цифровом формате позволяет достаточно легко обеспечивать её сохранность, защищённость, оперативное копирование и распространение без потери точности, возможность переработки огромных массивов данных [1].

Основная часть

Эффективно работающая система отопления на объектах жилищно-коммунального хозяйства является важной составляющей для поддержания комфортного микроклимата в помещениях. Согласно Постановлению Правительства РФ № 354 от 06.05.2011 г. «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов», нормативная температура воздуха в жилых помещениях устанавливается не ниже $+18^{\circ}\text{C}$ (в угловых комнатах $+20^{\circ}\text{C}$), в районах с наиболее холодной пятидневкой (обеспеченностью 0,92) -31°C и ниже, температурный режим устанавливается $+20^{\circ}\text{C}$ (в угловых комнатах $+22^{\circ}\text{C}$). Однако нарушением считается невыполнение нормативного, а не комфортного теплового режима, что является большим плюсом для ресурсоснабжающей организации. Превышение нормативных значений температуры отапливаемых помещений допустимо, но не более 4°C , исходя из этого ресурсоснабжающая организация чаще всего подает теплоноситель с завышенной температурой, что не всегда хорошо для потребителей, ведь оплачивать они будут по показаниям приборов учета за потребленную тепловую энергию, которая им не нужна.

Для предотвращения перетопа и температуры воздуха в помещении ниже 18°C в настоящее время проектируются современные отопительные приборы с автоматическими терморегуляторами на основе «Умный дом», а для индивидуального учета тепловой энергии устанавливаются поквартирные счетчики (рис. 1) на отопление в распределительных коллекторах на этажах многоквартирного дома, что возможно только при горизонтальной разводке.



Рис. 1. Автоматизированная система учета тепловой энергии в распределительных коллекторах

Горизонтальная схема предполагает наличие одного главного стояка и поэтажных горизонтальных ответвлений в однетрубном или двухтрубном исполнении, бывает периметральная или лучевая (рис. 2).

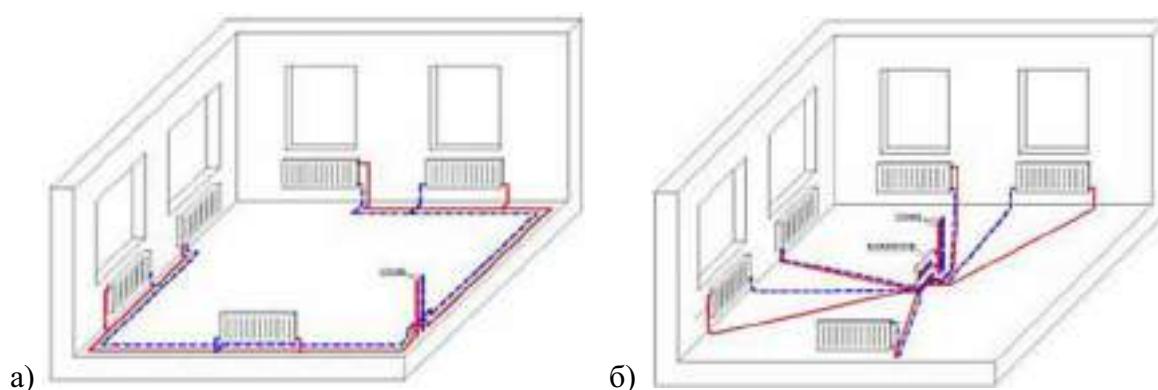


Рис. 2. Горизонтальная разводка системы отопления:
а) периметральная или тройниковая; б) лучевая (коллекторная)

Периметральная характеризуется поэтапным движением по всем радиаторам отопления в пределах периметра этажа или квартиры. Подключение осуществляется к центральному стояку отопления. Тройниковая разводка более привычная и требует меньшего метража труб, но при этом соединений и фитингов потребуется больше. В случае ремонта отдельного отопительного прибора необходимо отключение всего периметра. Достоинством такой системы является возможность скрытой разводки.

Лучевая (коллекторная) разводка системы отопления предполагает параллельное подключение отопительных приборов к распределительному коллектору. От каждого его узла к радиатору отдельно идут две трубы: подающая и обратная. Сам коллектор является крупногабаритной техникой, поэтому в большинстве случаев его предпочитают размещать в специальном шкафу [2].

Основой горизонтальной разводки является подающий стояк, проходящий через все этажи. К стояку подключаются лежаки, подающие тепло в отдельные квартиры. Использование горизонтальной разводки требует тщательного утепления стояка, так как здесь возникают значительные теплопотери. Для максимально возможного сокращения потерь тепла стояки нередко устанавливают в специально оборудованных шахтах. При двухтрубной коллекторной поэтажной системе на каждом этаже монтируется по два коллектора на квартиру - подающий и обратный, а уже от них идут трубопроводы, подводящие теплоноситель к радиаторам (рис. 3.).



Рис. 3. Распределительный коллектор горизонтальной лучевой системы отопления, установленный в техническом помещении этажа многоквартирного жилого дома

В отличие от традиционных вариантов, коллекторная поэтажная схема обладает значительной протяженностью трубопровода. Учитывая, что для монтажа схемы применяются металлопластиковые трубы, реализация такого проекта оказывается дороже обычных вариантов. Несмотря на этот недостаток коллекторные схемы с точки зрения эксплуатационных особенностей значительно эффективнее и проще других вариантов: тепловые показатели обеспечивают максимально комфортный микроклимат в квартире, а при установке умных регуляторов можно задать комфортную температуру воздуха в помещении, которая будет поддерживаться автоматически, что подразумевает в дальнейшем экономию и эффективное расходование средств. В целом монтаж дорогостоящей коллекторной схемы окупается в течение 2–3 отопительных сезонов [2].

Помимо экономических и эксплуатационных преимуществ горизонтальных двухтрубных коллекторных систем нельзя не отметить эстетичность: все трубопроводы прокладываются в стяжке пола (рис. 4). Укладка труб в стяжку возможна благодаря применению современных материалов - пластика и металлопластика.



Рис. 4. Монтаж горизонтальной лучевой системы отопления в помещениях многоквартирного жилого дома

Проектирование горизонтальной системы отопления для автоматизированного учета тепловой энергии управляющих компаний и других ресурсоснабжающих организаций подразумевает:

- сбор показаний с теплосчетчиков;
- ведение архивов потребления ресурсов;
- формирование отчетов различного вида;
- осуществление технологического контроля параметров энергосбережения;
- мониторинг нештатных ситуаций.

Счетчики тепла «Пульсар» устанавливаются в трубопровод, обеспечивающий теплоснабжение объекта, и представляют собой компактный прибор, предназначенный для учета расхода тепловой энергии в квартире, частном доме, небольшом офисном или торговом помещении (рис. 1). Программное обеспечение PULSAR SET осуществляет подбор отопительных приборов, диаметров трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры; определяет настройки балансировочных клапанов, клапанов терморегуляторов на подводках к отопительным приборам; позволяет использовать несколько источников тепла в одном проекте, что применимо при проектировании, например, четырехтрубных систем [3].

Монитор нештатных ситуаций позволяет диспетчеру отслеживать аварии и протечки, возникающие на объектах в режиме реального времени, в том числе в виде мнемосхем.

Выводы

Цифровизацией в работе систем отопления является перевод информации в цифровую форму и создание высокоэффективных систем управления, позволяющих повысить эффективность экономики и качество жизни граждан за счет проектирования в новых МКД современных систем отопления с умными терморегуляторами и горизонтальной разводкой, позволяющей установить поквартирные автоматизированные счетчики тепловой энергии.

Для цифровизации в сфере теплоснабжения применяется следующее оборудование: специализированные контрольно-измерительные приборы и контроллеры для управления системами отопления, ГВС, насосами и т.д.;

датчики температуры, давления, комплекты термосопротивлений;

частотные преобразователи;

средства диспетчеризации: модемы, преобразователи интерфейсов, коммуникационные контроллеры [4].

Источники

[1] Семенов В.Г. Цифровизация ЖКХ. Тезисы для «Стратегии развития ЖКХ на период до 2035 года» Источник: Некоммерческое Партнерство «Российское тепло-снабжение», www.rosteplo.ru

[2] Запольская И. Н. Влияние индивидуальных водо-водяных подогревателей на потребление тепловой энергии многоквартирными домами / И.Н. Запольская // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 146-155.

[3] Горизонтальная разводка системы отопления в многоквартирном доме // Всё об отоплении 2022 [Электронный ресурс] URL: <https://teplosten24.ru/gorizontalnaya-razvodka-sistemy-otopleniya-v-mnogokvartirnom-dome.html>.

[4] Оморев Т. Т. Методика идентификации параметров магистральной линии распределительной сети по данным АСКУЭ / Т. Т. Оморев, Р. Ч. Осмонова, Б. К. Такырбашев, Ж. С. Иманакунова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 168-177.

[5] Программный комплекс «Пульсар» // Тепловодохран, 1997-2022 [Электронный ресурс] URL: <https://pulsarm.ru/programmnoe-obespechenie/programmnyy-kompleks-pulsar/>

[6] Варганова А.М. Повышение эффективности работы систем отопления // VI Всероссийская научно-практическая конференция «ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА» 104-1 // 8-10 декабря 2021г

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ Г. КАЗАНЬ

Вьюгова Ксения Дмитриевна¹, Зверева Эльвира Рафиковна²

^{1,2} ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань,
Российская Федерация

¹vjugova.k@yandex.ru, ²6elvira6@list.ru

Аннотация. С развитием науки и техники обостряется вопрос защиты окружающей среды. Растет загрязнение воздуха, окружающего человека, ввиду токсичных выбросов промышленных предприятий. Загрязнения воздушного бассейна предприятиями топливно-энергетического комплекса являются наиболее распространенным явлением. Особое место занимают выбросы оксидов азота, возникающие при сгорании любых видов органических топлив ТЭС. Целью данной статьи было исследование образующихся при горении топлива оксидов азота в котельной г. Казань. Был проведен расчет, по результатам которого сделаны выводы о количестве выбросов оксида азота, их соответствии ГОСТ 13. 38. 02- 2019.

Ключевые слова: оксиды азота, котельные агрегаты, тепловые электрические станции, защита окружающей среды.

CALCULATION OF THE AMOUNT OF NITROGEN OXIDE EMISSIONS FOR BOILER HOUSES IN KAZAN

Vyugova Ksenia Dmitrievna ¹, Zvereva Elvira Rafikovna ²

^{1,2} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

ova.k@yandex.ru, ²6elvira6@list.ru

Annotation. With the development of science and technology, the issue of environmental protection is becoming more acute. Air pollution surrounding humans is increasing due to toxic emissions from industrial enterprises. Pollution of the air basin by enterprises of the fuel and energy complex is the most common phenomenon. A special place is occupied by emissions of nitrogen oxides arising from the combustion of any types of organic fuels of thermal power plants. The purpose of this article was to study the nitrogen oxides formed during the combustion of fuel in the boiler room of Kazan. Gorenje. A calculation was carried out, based on the results of which conclusions were made about the amount of nitrogen oxide emissions, their compliance with GOST 13. 38. 02- 2019.

Key words: *nitrogen oxides, boiler units, thermal power plants, environmental protection.*

Введение

Охрана окружающей среды – одна из первичных задач современного человека. Развитие промышленности тесно коррелирует с вопросами выбросов вредных веществ в среду. Антропогенное воздействие, эвтрофикация – все это стало продуктами жизнедеятельности человека.

Одним из источников вредных выбросов, несомненно, является топливно-энергетический комплекс, а главенствующую роль занимают тепловые электрические станции. На ТЭС приходится около 70 % отпуска токсичных веществ, при производстве всего 20 % энергии. [1]

Особое внимание в энергетике уделяется выбросам CO_2 и NO_x , последнее из которых стало объектом данного исследования.

Оксиды азота – монооксиды и диоксиды ($NO_x = NO + NO_2$), образуются при сжигании всех видов топлива в котлах ТЭС. Стоит отметить, что оксиды поступают в атмосферу преимущественно в виде NO , однако большая часть выбросов (около 80 %) доокисляется в атмосфере до диоксидов. Источниками являются: азот, находящийся непосредственно в воздухе, а также азотосодержащие компоненты органической массы топлива.

Количество выбросов оксида азота зависит от множества факторов: видов топлива, способов организации топочных процессов, степени очистки уходящих газов. Здесь следует отметить, что количество выбросов строго регламентируется нормативно-технической документацией для каждой ТЭС и их совокупности. При превышении заданных норм проводится комплекс мероприятий, аппаратами которых являются: ступенчатое или стехиометрическое сжигание, оптимизация процессов горения.

На данный момент существуют множество способов снижения выбросов окисей азота. Приведем некоторые из них:

1. Рециркуляция продуктов сгорания, включающая в себя подвод топочных газов в зону горения. (Уменьшение концентрации NO_x объясняется снижением температуры горения из-за уменьшения скоростей цепных реакций, которые, в свою очередь, обуславливаются присутствием инертных газов.) [2,3]

2. Ступенчатое (обычно из 2-х ступеней) сжигание. Процесс горения здесь организуется, когда через горелки с топливом подается воздух, количество которого меньше стехиометрического, остальная же часть вводится в топочную камеру по длине факела.

3. Сгорание обогащенных смесей или деазотирование топлива. При уменьшении содержания азота в топливе на 18 %, количество выбросов снижается на 50 %.

Основная часть

С целью оценки соответствия регламентированного количества выбросов, был выполнен расчет котельной г. Казани, содержащей 4 котла типа ТГМ-84Б, имеющий П-образную компоновку и состоящий из топочной камеры и опускной конвективной шахты, разделенной на два газохода. Технические характеристики котла представлены в табл.1.

Таблица1.

Технические характеристики котлоагрегата ТГМ-84Б

Номинальная паропроизводительность	420 т/ч
Номинальное давление пара за котлом	13,72 МПа
Номинальное давление пара в барабане	15,20 МПа
Номинальная температура пара за котлом	560 °С
Номинальная температура питательной воды	230 °С

Схема котлоагрегата изображена на рис. 1.

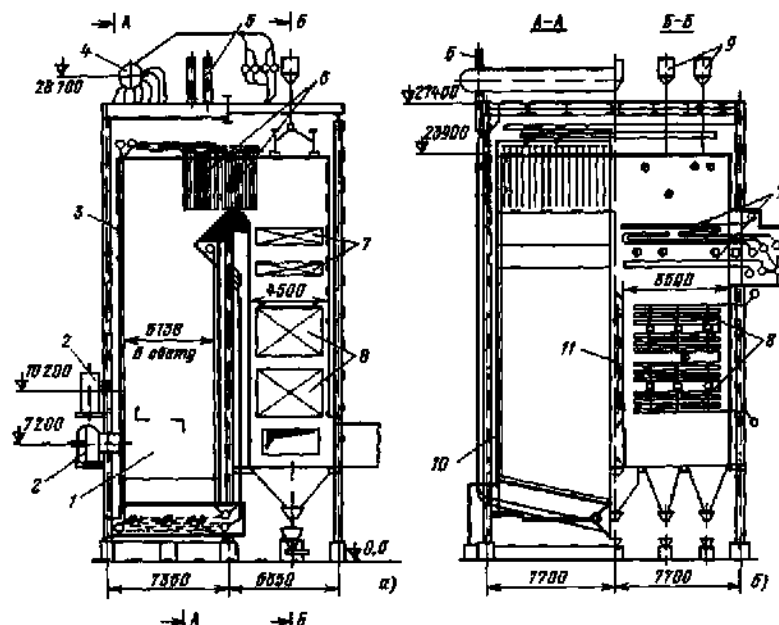


Рис.1. Газомазутный паровой котел ТГМ-84Б
а – продольный разрез, б – поперечный разрез

1 – топка, 2 – горелки, 3 – радиационный настенный пароперегреватель, 4 – барабан, 5 – устройства сепарации пара от влаги, 6 – ширмы пароперегревателя, 7 – конвективная часть пароперегревателя, 8 – водяной экономайзер, 9 – дробеструйная установка, 10 – боковой экран испарительной поверхности нагрева, 11 – двухсветный экран.

Топливо котельной – мазут.

Метод расчета выполнена согласно [4]. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Исходные данные для расчета выбросов котлоагрегата ТГМ-84Б

Наименование	параметр	Единица измерения
Фактический расход топлива	28,8	$\frac{m}{ч}$
Потери тепла от механической неполноты сгорания	2	%
Низшая теплота сгорания топлива	33,9374	$\frac{МДж}{кг}$
Фактическая производительность котла	116,7	$\frac{m}{ч}$
Степень рециркуляции дымовых газов	30	%
Температура горячего воздуха	268	°C
Доля воздуха, подаваемого в промежуточную зону факела	20	%

Суммарное количество оксидов азота NO_x в пересчете на NO_2 , выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, определяется по формуле:

$$M_{NO_x} = B_r \cdot Q_1^r \cdot K_{NO_2}^M \cdot \beta_t * \beta_\alpha \cdot (1 - \beta_z) \cdot (1 - \beta_\delta) \cdot k_n \quad (1)$$

где B_r – расчетный расход топлива на котел,

$$B_r = B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \quad (2)$$

где B – фактический расход топлива, (кг/с) ;

q_4 – потери тепла от механической неполноты сгорания ;

β_α – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов азота при сжигании мазута. Ввиду работы котла в соответствии с режимной картой $\beta_\alpha = 1$;

Q_1^r – низшая теплота от механической неполноты сгорания топлива ;

$K_{NO_2}^M$ – удельный выброс оксидов азота при сгорании мазута; (г/кг)

Для паровых котлов:

$$K_{NO_2}^M = 0,01 \cdot \sqrt{D} + 0,1 \quad (3)$$

где D – фактическая паропроизводительность котла;

β_t – безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения, определяется по формуле:

$$\beta_t = 1 + 0,02 \cdot (t_{зв} - 30) \quad (4)$$

При подаче газов рециркуляции в смеси с воздухом:

$$\beta_\delta = 0,17 \cdot \sqrt{r} \quad (5)$$

где r – степень рециркуляции дымовых газов ;

β_δ – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру;

$$\beta_{\delta}=0,018 \cdot \delta$$

(6)

где δ – доля воздуха, подаваемого в промежуточную зону факела;

k_n – коэффициент пересчета;

Для определения выбросов в тоннах в год:

$$k_n=10^{-3}$$

Выводы

При численном вычислении количество выбросов оксидов азота составило: $M_{NO_x}=176,8 \text{ т/год}$, что удовлетворяет ГОСТ Р 113.38.02 – 2019 [5].

Источники

[1] Ilamathi, Petchi Muthu K., Selladurai and Kulendran Balamurugan. “Predictive Modelling and Optimization of Power Plant Nitrogen Oxides Emission.” (2012).

[2] Мехтиев А. Д. Энергоустановка на базе свободнопоршневого двигателя и генератора возвратно-поступательного перемещения / А. Д. Мехтиев, Д. Л. Калужский, Е. Г. Нешина [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 178-188.

[3] Жуйков А.В., Кулагин В.А., Радзюк А.Ю. Способ уменьшения выбросов оксидов азота от котла БКЗ-75-39ФБ, работающего на ирша-бородинских углях// Промышленная энергетика. 2011. No8. С. 9-11.

[4] G. Jarquin-López, G. Polupan, M. Toledo-Velázquez, R. Lugo-Leyte, Analytical and experimental research for decreasing nitrogen oxides emissions, Applied Thermal Engineering, Volume 29, Issues 8–9, 2009, Pages 1614-1621.

[5] Генбач А. А. Пути повышения эффективности охлаждения камер сгорания и сопел ГТУ / А.А. Генбач, Д.Ю. Бондарцев, И.К. Илиев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 114-134.

[6] РД 34.02.305-98 Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС.

[7] ГОСТ Р 113.38.02-2019 Наилучшие доступные технологии. Методические рекомендации по оценке затрат предприятий электроэнергетики по снижению выбросов загрязняющих веществ для достижения ими технологических показателей наилучших доступных технологий.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИЙ

Гатауллина И.М.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия
ttolin@inbox.ru

***Аннотация.** Высокая надежность и экономичность энергоснабжения городов и промышленных объектов во многом зависит от своевременной оценки фактического технического состояния энергетических коммуникаций, самыми распространенными из которых являются различные трубопроводы. Своевременная и качественная оценка их технического состояния является приоритетным мероприятием обеспечения безаварийной работы и надежной эксплуатации таких энергосистем.*

***Ключевые слова:** энергетические коммуникации, диагностика, неразрушающий контроль, виброакустические колебания, теплоноситель, дефект.*

ON THE ISSUE OF ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF ENERGY COMMUNICATIONS

Gataullina I.M.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan
ttolin@inbox.ru

***Annotation.** The high reliability and efficiency of energy supply to cities and industrial facilities largely depends on the timely assessment of the actual technical condition of energy communications, the most common of which are various pipelines. Timely and high-quality assessment of their technical condition is a priority measure to ensure trouble-free operation and reliable operation of such power systems.*

***Key words:** energy communications, diagnostics, non-destructive testing, vibroacoustic oscillations, coolant, defect.*

Введение

Стремительное развитие новейших теплоэнергетических технологий однозначно очерчивает круг необходимых мероприятий, направленных на повышение надежности и безаварийности эксплуатации энергетического оборудования, среди которого различные энергетические трубопроводы являются одним из основных элементов.

Одним из наиболее востребованных элементов теплоэнергетического оборудования выступают различные энергетические коммуникации. Оценка технического состояния средств транспортировки тепловых носителей проводится различными методами, основанными на разных физических явлениях с разнообразным приборным обеспечением [1]. К основным методам относятся: проведение внутренней диагностики трубного пространства, проведение шурфовок, тепловой контроль с помощью контактного или бесконтактного термографирования, диагностика магнитометрическими методами, оценка прочностных характеристик и т.д. Однако необходимо отметить, что в этом случае происходит контроль только локальных участков, ограниченных конструктивными особенностями применяемых методов, при этом также существенными недостатками является необходимость вывода оборудования из режима эксплуатации наряду с высокой стоимостью применяемого оборудования, необходимости привлечения специально обученного технического персонала и длительного процесса получения результатов контроля [2].

Все это обуславливает актуальность проблемы диагностирования применением перспективных методов неразрушающего контроля, к которым относится анализ виброакустических колебаний стенок трубопроводов [3].

Основная часть

В процессе эксплуатации одной из возможных причин колебаний элементов и узлов энергетических коммуникаций могут быть различные динамические нагрузки. При этом вследствие взаимодействия внутреннего слоя трубопровода при относительном скольжении теплоносителя относительно микро-шероховатой неподвижной поверхности, возникает усталостный износ, который приводит к увеличению микротрещин в материале и увеличению уровня вибрации [4]. Оценка параметров этой вибрации позволяет оценить наличие и размер внутренних дефектов поверхности исследуемого трубопровода.

При проведении виброакустической диагностики вибрации в объекте являются не только помехой, которую необходимо подавить, но и источником полезной информации. В связи с этим возможно измерение параметров как акустических, так и вибрационных колебаний. Учитывая сказанное, измерению и анализу возможно подвергать и те и другие виды колебаний.

Вибрационные колебания стенок энергетических трубопроводов регистрируют с помощью вибродатчика, установленного непосредственно на объекте контроля. Возможна установка нескольких датчиков на определенном расстоянии, обеспечивающем нормальное прохождение вибрационного сигнала по стенкам трубопровода. Здесь все необходимые параметры извлекается из зарегистрированного упругого колебания оболочки трубопровода, которое распространяется во всей длине

объекта во время вибрационного воздействия. Таким образом обеспечивается достаточно протяженная область диагностики [5].

Регистрация параметров колебаний производится с помощью различных вибрационных датчиков, записанные сигналы обрабатываются различными методами.

Если полезный сигнал, получаемый с датчика, имеет слишком низкую амплитуду, необходимо его усилить. Для этого необходимо использовать различные усилители, такие как дифференциальные, основным преимуществом которого является в компенсации помех, в том числе синфазных. В настоящее время широко распространено применение вибрационных регистраторов со встроенным предусилителем, источником питания которого является сигнальный провод, что значительно упрощает работу с таким датчиком.

Что касается способов обработки полезного сигнала, то наиболее распространенным и хорошо изученным является спектральный анализ параметров вибрационных колебаний. Здесь под спектром вибрационных колебаний подразумевается временная совокупность зависимостей изменения частоты и амплитуды колебания в порядке возрастания собственных частот исследуемого колебания.

В тоже время под энергетическим спектром понимают спектр колебаний, в котором величинами, характеризующими гармонические составляющие колебаний, являются квадраты амплитуд скорости, характеризующие удельную энергию указанных составляющих. В итоге спектр образуется из собственных частот анализируемой линейной системы.

Возможно применение гармонического анализа взамен спектрального. В этом случае анализ параметров вибрации производится в построении суммы гармонических колебаний. При этом применяют понятие номера гармоники – как целое число, получаемое отношением частоты этой гармоники к анализируемой частоте.

В частном случае проведения диагностических операций при отдельных неисправностях применяют построение и анализ огибающей вибрационного сигнала. Здесь для надежного определения огибающей необходимо применять фильтрацию высокочастотной составляющей полезного сигнала и детектирования сигнала в области низких частот.

К информативным параметрам виброакустических сигналов, получаемым с помощью вибродатчика, относятся частота, амплитуда и фаза колебаний. В нашем случае используются первые два параметра, фаза не используется в связи с отсутствием эталонного сигнала [6].

Результаты и выводы

Экспериментальные исследования проводились на трубопроводе диаметром 72 мм и толщиной стенки 4 мм. В результате получена зависимость изменения

собственной частоты нагруженного дефектного и бездефектного трубопроводов. Наличие дефекта привело к снижению собственной частоты в диапазоне от 1500 до 6000 Гц на таких основных модах, как 3860 Гц и 4890 Гц.

В результате можно сделать вывод, что виброакустическая диагностика трубопроводов является одним из наиболее приемлемых способов неразрушающего контроля и оценки технического состояния протяженных энергетических коммуникаций.

Источники

[1] Оценка технического состояния подшипников качения виброакустическим методом / М. В. Акутин, Ю. В. Ваньков, А. Е. Кондратьев, Ю. Я. Петрушенко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – № 2. – С. 55-57.

[2] Митрофанов С. В. Разработка программного модуля внутростанционной оптимизации для целей краткосрочного планирования режима работы ГЭС / С. В. Митрофанов, А. Е. Светличная, А. Ю. Арестова, А. Г. Русина // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 156-167.

[3] Загретдинов, А. Р. Разработка прибора и методики ударно-акустического контроля многослойных композиционных конструкций / А. Р. Загретдинов, А. Е. Кондратьев, Ю. В. Ваньков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – № 9-10. – С. 97-104. – EDN RUHADR.

[4] Vankov Yu V and Kondrat'ev A E, 2004 Pribery i Sistemy Upravleniya (2) 45-53

[5] Разработка методики определения размера коррозионного поражения оболочек акустическим методом / Ш. Г. Зиганшин, Ю. В. Ваньков, А. Е. Кондратьев, С. П. Кузнецов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. – № 1(57). – С. 36-38. – EDN JWBVZB.

[6] Оморев Т. Т. Методика идентификации параметров магистральной линии распределительной сети по данным АСКУЭ / Т. Т. Оморев, Р. Ч. Осмонова, Б. К. Такырбашев, Ж. С. Иманакунова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 168-177.

[7] Improving the methodology for assessing the technical condition of equipment during the transportation of energy carrier in energy systems and complexes / S. O. Gaponenko, R. Z. Shakurova, A. E. Kondratiev, R. Dimova // E3S Web of Conferences : 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. – Kazan: EDP Sciences, 2019. – P. 01021. – DOI 10.1051/e3sconf/201912401021. – EDN UXIYTB.

[8] Загретдинов, А. Р. Аппаратно-программное обеспечение ударно-акустического контроля композиционных конструкций / А. Р. Загретдинов, А. Е. Кондратьев, Ш. Г. Зиганшин // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4-1(31). – С. 27.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФА В МИРОВОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ

¹Дремичева Елена Сергеевна, ²Зверева Эльвира Рафиковна, ³Эминов Абдысердар
^{1,2}ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Рос-
сийская Федерация

¹lenysha@mail.ru, ²belvira6@list.ru, ³kfu.kazan@mail.ru

Аннотация: в условиях кризиса нефтегазового комплекса в мире обостряются энергетические проблемы. В этой связи с целью решения экономических проблем и перехода на «зеленую» энергетику все более актуален становится поиск доступных возобновляемых экологических топливных источников. Это обуславливает возвращение интереса к торфу как к топливу. Поэтому возникла необходимость в инвентаризации торфяного фонда, а также оценке современного состояния торфяных ресурсов и перспектив развития отрасли в регионах. Цель работы заключается в определении перспектив торфа в биоэнергетике. Вопрос поиска энергетической перспективы и альтернатив нефтегазовой действительности в мире приобретает исключительную актуальность. Богатство Российской Федерацией нефтью и газом, однако снижение цен на черное золото активизируют необходимость поиска новых источников энергии и перехода на биоэнергетику.

Ключевые слова: торфяные ресурсы, анализ, обезвоживание, слои торфа, торф, биоэнергетика.

PROSPECTS FOR THE USE OF PEAT IN THE WORLD ENERGY BAL- ANCE

¹Dremicheva Elena Sergeevna, ²Zvereva Elvira Rafikovna, ³Eminov Abdyserdar.

^{1,2}Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

¹lenysha@mail.ru, ²belvira6@list.ru, ³kfu.kazan@mail.ru

Abstract: The conditions of the crisis of the oil and gas complex in the world, energy problems are aggravated. In this regard, in order to solve economic problems and switch to "green" energy, the search for affordable renewable environmental fuel sources is becoming increasingly important. This causes a return of interest in peat as a fuel. Therefore, there was a need for an inventory of the peat fund, as well as an assessment of the current state of peat resources and the prospects for the development of the industry in the regions. The purpose of

the work is to determine the prospects for peat in bioenergy. The issue of searching for promising prospects for the oil and gas industry in the world is becoming extremely relevant. The wealth of the Russian Federation in oil and gas, however, the decline in black gold prices will intensify the search for new energy sources and the transition to bioenergy.

Keywords: *peat resources, analysis, dehydration, peat layers, peat, bioenergetics.*

Введение

Установленные в 2015 г. Генеральной ассамблеей ООН цели устойчивого развития нацелены на улучшение благосостояния и защиту нашей планеты. Всего принято 17 целей устойчивого развития, и цель №7 касается энергетики, а именно обеспечения всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех.

Биоэнергетика – это отрасль альтернативной энергетики, основанная на использовании биотоплива, производимого из биомассы. В свою очередь, биомасса восстанавливается в виде вещества органического происхождения, включающее отходы сельского, лесного хозяйства и т.д.

Нами проведена оценка потенциала биомассы для наращивания энергетических мощностей. Из данного анализа следует, что в общем потенциале биомассы для наращивания энергетического потенциала наибольший удельный вес занимают солома зерновых культур (23,1 %), и энергетические культуры (ива, тополь, мискантус) – 21,1 %; а наименьший удельный вес – биогаз из сточных вод (0,8 %).

Основная часть

Оценка потенциала биомассы для наращивания биоэнергетических мощностей в Российской Федерации.

Россия относится к странам с высоким уровнем накопления торфа (более 35 % запасов торфа находится в недрах РФ). Основными источниками торфа выступают недра Западно-Сибирского экономического района (около 103,9 млрд т), Северо-Западного экономического района (около 19,8 млрд т), Уральского округа (около 9,1 млрд тонн), также значительные запасы расположены в Дальневосточном и Центральном (приблизительно 5,2 млрд тонн) экономических районах [5].

Далее была проведена оценка количество полученной от сжигания торфа энергии:

$$Q = m \cdot q, \quad (1)$$

где Q – энергия топлива (кВт); m – масса топлива (кг); q – удельная теплота сгорания (кВт/кг).

Эквивалентное количество природного газа, необходимого для получения такого же количества теплоты сгорания:

$$\rho \cdot q = \frac{Q}{V}, \quad (2)$$

где ρ – плотность топлива, V – объем топлива.

Для расчета экономии от сжигания торфа вместо сжигания природного газа использовалась формула:

$$C = P_{\text{пр.газ}} \cdot V, \quad (3)$$

где C – стоимость природного газа, необходимого для получения энергии; $P_{\text{пр.газ}}$ – цена за 1 м³ природного газа.

Выводы

Таким образом, пользуясь данной методикой можно оценить экономию предприятия от использования торфа производства в качестве топлива. Нами проведена оценка потенциала биомассы для наращивания биоэнергетических мощностей [4]. Следовательно, в общем потенциале биомассы для наращивания энергетического потенциала наибольший удельный вес занимают солома зерновых культур – 23,1%; энергетические культуры (ива, тополь, мискантус) – 21,1%; а наименьший удельный вес занимают биогаз из сточных вод – 0,8%. Учитывая вышеперечисленное, развитие энергетики оказывает значительное влияние на возможности реализации мер направленных на переход к сбалансированному развитию, сочетанию экономических, социальных и экологических приоритетов. Анализ топливной составляющей производства тепловой энергии и коэффициенты для расчета выбросов CO₂ в Российской Федерации брикетного торфа и фрезерного торфа указывает на возможности снижения углеродного следа, как при его производстве, так и его использования.

Учитывая высокую зависимость Российской Федерации от доходов нефтегазового комплекса, очевидно, что использование биомассы является серьезным средством не только усиления экономической безопасности страны, а снижения нагрузки на экологию Российской Федерации путем снижения углеродного следа. Учитывая вышеперечисленное развитие энергетики развитие торфяной промышленности оказывает значительное влияние на возможности реализации мер, направленных на переход к сбалансированному развитию, сочетанию экономических, социальных и экологических приоритетов.

Источники

[1] Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/energy/>.

[2] Тимофеева С. С. Термохимическая переработка низкосортного торфа на основе газификации / С. С. Тимофеева, Ю. В. Караева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 15-26.

[3] Распоряжение Правительства РФ от 01.06.2021 N 1447-р (ред. от 14.09.2021) «Об утверждении Плана мероприятий по реализации Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года»

[4] Дремичева Е. С. Перспективы использования загрязненного нефтепродуктами торфа в энергетике / Е. С. Дремичева, А. Эминов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 133-141.

[5] Технологическая Платформа «БИОЭНЕРГЕТИКА» Стратегическая Программа Исследований–2021. 2021. 227 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://tp-bioenergy.ru/upload/file/spi_bioenergy_2021.pdf.

[6] Дремичева Е.С., Эминов А. Перспективы использования загрязненного нефтепродуктами торфа в энергетике // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 2 (50). С. 133-141.

ПРОБЛЕМА НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА В СИСТЕМЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Дятлова¹ Д.В., Подыганова² К.Е., Савельева³ Д.С.

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»

¹dyatlovadarya89@gmail.com, ²Ksyhaway@yandex.ru, ³savelievadiana218@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена вопросам надежности и качества работы теплоэлектростанций и ее безопасности. На сегодняшний день эта тема является одной из наиболее актуальных в вопросах теплоэнергетики. В статье подробно рассматриваются наиболее пожароопасные отделения теплоэлектростанций и причины возникновения пожара в них. Приводится статистика аварий за последние 30 лет, а также их последствия. Предоставляются меры по сокращению рисков возникновения аварийных ситуаций на теплоэлектростанциях, предпринятые государством.

Ключевые слова: теплоэлектростанция, энергетика, авария, риск, пожар, оборудование.

RELIABILITY AND QUALITY PROBLEM IN THE HEAT POWER SYSTEM

Dyatlova¹ D.V., Podyganova² K.E., Savelyeva³ D.S.

^{1,2,3}Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan

¹dyatlovadarya89@gmail.com, ²Ksyhaway@yandex.ru, ³savelievadiana218@gmail.com

Annotation. The article is devoted to the issues of reliability and quality of operation of thermal power plants and its safety. To date, this topic is one of the most relevant in matters of thermal power engineering. The article discusses in detail the most fire hazardous departments of thermal power plants and the causes of a fire in them. The statistics of accidents over the past 30 years, as well as their consequences, are given. Measures are provided to reduce the risks of emergencies at thermal power plants, taken by the state.

Key words: thermal power plant, energy, accident, risk, fire, equipment.

Введение

Теплоэнергетика – одна из ведущих отраслей энергетики как в России, так и в мире. Россия занимает четвертое место по количеству выработанной электроэнергии в мире в 2020-ом году. Большая часть вырабатываемой электроэнергии приходится именно на теплоэнергетику. По статистике, в России суммарная установленная электрическая мощность тепловых электростанций ЕЭС России на 1 января 2018 года составляла

162,8 ГВт или 67,9 % от суммарной установленной мощности электростанций. Огромная доля городов нашей страны снабжается электроэнергией благодаря теплоэлектростанциям. Теплоэлектростанции расположены почти в каждом крупном городе страны, бесперебойно насыщая миллионы человек электричеством. Благодаря высокому развитию теплоэнергетики население получает огромные объемы электроэнергии на потребление, но и также получает снабжение теплом и горячей водой.

Основная часть

Важной проблемой теплоэнергетики является надежность и качество работы теплоэлектростанций. Теплоэлектростанции производят большую часть электроэнергии в России, обеспечивая города необходимой электроэнергией. Такая ответственность на теплоэнергетику обязует её быть одной из самых надежных отраслей по выработке электроэнергии, в противном случае возможны необратимые последствия. Безопасность теплоснабжения следует рассматривать как неотъемлемую и обязательную часть энергетической безопасности. И вопрос стоит не только о необходимости бесперебойной работы станций на протяжении длительного времени, а также о эффективности добычи электроэнергии и выбросе вредных веществ в окружающую среду.

Угрозой безопасности в теплоэлектростанциях является полиблочная компоновка, то есть, расположение всех энергоблоков в одном здании. При таком расположении энергоблоков высока вероятность возникновения и распространения пожара, что может привести к выходу из строя сразу нескольких агрегатов теплоэлектростанции. Основными составляющими объектами теплоэлектростанций, являющимися наиболее опасными и приводящие наибольшее поражающее действие на персонал, население и прилегающую территорию считаются система мазутоснабжения (мазутное хозяйство), цех зимоводоочистки с баками хиреагентов и система маслоснабжения теплоэлектростанции [5].

Основными причинами аварий на теплоэлектростанциях являются или связаны со следующими факторами:

1. Выход из строя фитинговых соединений
2. Ошибка оператора
3. Ослабление или разрушения из-за вибрации масляных трубопроводов
4. Аварии электрических компонентов

За последние тридцать лет в главных корпусах теплоэлектростанций произошло около тридцати крупных аварий с выходом из строя более одного энергоблока. Стоит ли говорить о более мелких аварийных ситуациях, которые возникают на теплоэлектростанциях. Произошедшие аварии нанесли немалый ущерб, так как поставили под удар не только жизнь и здоровье сотрудников теплоэлектростанций, но и население близлежащих районов. По статистике, около 72% от общего числа аварий возникают по

причине отказа в работе оборудования в машинных отделениях, около 23% в котельных отделениях, а в кабельных туннелях лишь 5% [4].

Машинные отделения являются местом сосредоточения наибольшей пожарной опасности так как в нем находятся системы смазки генераторов, большие объемы машинного масла, электрических обмоток генераторов и множество специализированной электрической аппаратуры и устройств. Основными причинами пожаров в машинных залах являются нарушение целостности систем смазки и регулирования турбоагрегатов, содержащих масло [1].

Котельный цех в себе хранит и использует большое количество топлива, что может являться причиной возникновения пожаров. Из-за сбоя систем топливоподачи могут возникнуть взрывы отложений угольной пыли на строительных элементах или в бункерах угля, а также могут возникать механические повреждения мазутопроводов, взрывы топлива в топке котла [3].

В целях сокращения вероятности возникновения аварийных ситуаций, согласно государственной программе Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» были осуществлены технические мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности тепло- и электростанциях, что включает в себя замену вывод из эксплуатации неэкономичного, небезопасного паросилового оборудования газовых тепловых станций и замена его новыми установками газотрубных и парогазовых технологий [2]. Модернизация и реконструкция действующих конденсационных и теплофикационных установок и станций с использованием современного энергоэффективного оборудования, что позволит существенно снизить риск появления пожаров и иных аварийных ситуаций.

Выводы

Таким образом, теплоэнергетика – это основополагающая всей энергетики России. Безопасность на теплоэлектростанциях является одним из важнейших аспектов стабильной работы станции и удачной ее эксплуатации. Основными причинами пожаров на теплоэлектростанциях являются выход из строя оборудования в машинном отделении из-за систем смазок генераторов, а также высокий риск возникновения пожара в котельном цехе из-за больших объемов топлива, использующих в цехе в процессе производства. Мерой для сокращения вероятности возникновения аварийных ситуаций является программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», позволяющий существенно сократить вероятность поломки оборудования, в следствие чего сокращение риска возникновения аварийных ситуаций.

Источники

[1] Волков А.В, Рыженков В.А., Парыгин А.Г., Волков Т.А. Повышение надежности и экономичности систем централизованного теплоснабжения на основе эффективного использования избыточного магистрального давления // Надежность и безопасность энергетики. - 2010. - №2(9). - С. 45-47.

[2] Зорина Т. Г. Совершенствование методологии оценки цифровой трансформации объединенной энергетической системы Республики Беларусь. Проблемы и перспективы / Т. Г. Зорина, С. Прусов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 99-113.

[3] Государственная программа Российской Федерации "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года" (утв. распоряжением Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. № 2446-р)// [Электронный ресурс]. (дата обращения: 13.09.19). URL:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_109625/1c6de4ecab11da862539d19b94ae677f09ba7caa/

[4] Гуменюк В.И., Николаева И.А. Пространственно-временные показатели опасности аварий на теплоэлектростанциях // Безопасность в чрезвычайных ситуациях. - Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2014. - С. 178-184. Тютин Р.А., Аввакумов Д.А. Повышение надежности систем теплоснабжения при реконструкции // Академическая публицистика. - 2018. - №12. - С. 71-74.

[5] Звонарева Ю. Н. Изменение параметров работы систем теплоснабжения при поэтапном внедрении АИТП / Ю. Н. Звонарева, К. С. Кузборская // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 109-118.

[6] Короткова Т.Г., Бушумов С.А., Ксандопуло С.Н., Солонникова Н.В., Кобелева М.М. Типовые сценарии возможных аварий на складе химводоочистки теплоэлектростанций // Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. - 2017. - №131. - С. 1602-1611.

[7] Хабибрахамов Э.И., Аксенов С.Г. Анализ обеспечения пожарной безопасности на теплоэлектростанциях // Студенческий форум. - 2021. - №32-2(168). - С. 41-44.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Зверев¹ Л. О., Злобин² В. Г., Зверева Э. Р.³, Липатов Д. В.⁴

^{1,2}Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, заведующий кафедрой

^{3,4}Казанский государственный энергетический университет

¹zverevleonid28@mail.ru, ²zlobin_v@list.ru, ³belvira6@list.ru, ⁴Lipatow_dv@mail.ru

Аннотация. В процессе эксплуатации надежность оборудования снижается вследствие изнашивания деталей, коррозии, усталости и старения материала и других вредных процессов, протекающих в технике. В связи с этим возникает необходимость в техническом обслуживании и ремонте. Обозначены способы устранения данных дефектов и изучены новые технологии. Описана высокая эффективность восстановления деталей энергетического оборудования при использовании триботехнических составов «СУПРОТЕК» на турбокомпрессоре ЦК-135/8.

Ключевые слова. Оборудование, надежность, дефект, материал, обработка, триботехнический состав, турбокомпрессор.

IMPROVING THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF POWER EQUIPMENT

Zverev¹ L. O., Zlobin² V. G., Zvereva³ E. R., Lipatov⁴ D.V.

^{1,2} Higher School of Technology and Energy of St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design, St. Petersburg, Russia

^{3,4} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

¹zverevleonid28@mail.ru, ²zlobin_v@list.ru, ³belvira6@list.ru, ⁴Lipatow_dv@mail.ru

Abstract. During operation, the reliability of the equipment decreases due to wear of parts, corrosion, fatigue and aging of the material and other harmful processes occurring in technology. In this regard, there is a need for maintenance and repair. The ways of eliminating these defects are indicated and new technologies are studied. The high efficiency of restoration of power equipment parts when using tribotechnical compositions "SUPROTEK" on the CC-135/8 turbocharger is described.

Keywords. equipment, reliability, defect, material, processing, tribotechnical composition, turbocharger.

Введение

В процессе эксплуатации надежность энергетического оборудования снижается вследствие изнашивания деталей, коррозии, усталости и старения материала и других нежелательных процессов, протекающих в оборудовании. Эти процессы вызывают появление различных неисправностей и дефектов, которые необходимо периодически и своевременно устранять.

При физическом износе происходит ухудшение эксплуатационных качеств оборудования – снижение производительности (мощности), повышение расхода эксплуатационных материалов и изделий. При определенном уровне физического износа оборудования дальнейшая его эксплуатация становится экономически нецелесообразной и неэффективной. Появляется опасность внезапного (аварийного) выхода оборудования из рабочего состояния с вытекающими отсюда потерями от нарушений производственного режима и расходов на последующий ремонт. Ухудшение эксплуатационных качеств в результате физического износа оборудования может быть преодолено проведением мероприятий по ремонту, модернизации и реконструкции [1].

В условиях ограниченности финансовых ресурсов необходимо снизить затраты на эксплуатационные издержки и ремонт оборудования. Снижение этих затрат возможно путем применения ремонтных работ с восстановлением изношенных деталей; путем упрочнения деталей различных агрегатов и механизмов в процессе эксплуатации [2].

Прочностные свойства деталей зависят от физико-механических характеристик их материала. Для создания поверхностных слоев с требуемыми физико-химическими и эксплуатационными характеристиками применяют различные методы обработки — механические, термические, электрофизические, электрохимические, химические и их сочетание. В результате формируются поверхностные слои толщиной от нескольких микрометров до 1 мм и более, с улучшенными характеристиками и противостоящие истиранию, повышенной температуре, коррозии, эрозии и другим факторам, инициирующим изнашивание рабочих поверхностей деталей [3].

Износ деталей связан с изменением геометрической формы и номинальных размеров. Для его устранения используют восстановление деталей, комплекс операций по устранению основных дефектов, обеспечивающих возобновление работоспособности и параметров, установленных в нормативно-технической документации [4-5].

Основная часть

Были проведены опытно-промышленные испытания триботехнических составов «СУПРОТЕК» на турбокомпрессоре ЦК-135/8.

Турбокомпрессор ЦК-135/8 предназначен для подачи воздуха в блоки разделения кислородных установок, а также для сжатия атмосферного воздуха, используемого для пневмооборудования, пневмоинструмента и технологических процессов в различных отраслях промышленности, включающие предприятия энергетики.

Проведенные испытания на машине трения показали, что в процессе обкатки образцов трения формируется слой, который отличается от исходной поверхности и типичной приработанной поверхности. Коэффициент трения после приработки образцов снижался с 0,1 до 0,005, а скорость изнашивания уменьшалась в 3-5 раз.

Новый слой формируется самой системой трения, при включении механизмов самоорганизации. Смазочная композиция компании «СУПРОТЕК» выполняет функцию инициатора качественного перехода системы трения в новое равновесное энергетическое состояние.

Возможны следующие способы внесения триботехнических составов «СУПРОТЕК»: заливка ТС «СУПРОТЕК» в маслозаливную горловину агрегата; нанесение концентрата ТС «СУПРОТЕК» на поверхности трения при разборке – сборке механизма; нанесение ТС «СУПРОТЕК» спреем на основе спирта с последующим его испарением; пробивка шприцом концентрата ТС «СУПРОТЕК» подшипниковых и др. узлов с пластичной смазкой.

При проведении промышленных испытаний эффект ТС «СУПРОТЕК» от обработки компрессоров оказался следующим:

- произошло увеличение ресурса деталей ЦПГ и КШМ до 2-х раз;
- параметры компрессора восстановились до номинальных значений по давлению и по производительности;
- наблюдалось снижение расхода электроэнергии до 15 %;
- уменьшился расход масла до 3 раз;
- шумы и вибрации снизились на 3 - 5 дБ.

Выводы

По результатам, полученным в ходе выполнения Программ опытно-промышленных испытаний триботехнических составов «СУПРОТЕК» и методики её применения на турбокомпрессоре ЦК-135/8 сделаны следующие выводы:

1. В результате обработки турбокомпрессора ЦК-135/8 триботехническими составами «СУПРОТЕК» произошло снижение коэффициента трения в тракте передачи энергии турбокомпрессорной установки, вследствие чего удельное потребление снизилось с 121,5 до 120,5 Вт/м³, что при нагрузках в 7000 м³/час и режиме работы 8700 час/год даст экономию 60 900 кВт·ч в год.

2. Общий уровень вибрации по турбокомпрессорной установке ЦК-135/8 после обработки снизился на 17,14%, что приводит к улучшению состояния уровня вибрации по агрегату.

3. Несмотря на то, что после обработки турбокомпрессорная установка работала в условиях более высокой входной температуры воздуха и при бóльшей производительности, температура на поверхности агрегатов либо незначительно поднялась, либо снизилась на 0,5 – 1%.

Таким образом, доказана высокая эффективность восстановления деталей энергетического оборудования триботехническими составами «СУПРОТЕК».

Источники

[1] Лялякин, В.П. Восстановление деталей - важный резерв экономии ресурсов / В.П. Лялякин // Вестник ОрелГАУ. 2011. №2(11). С. 95-97.

[2] Злобин, В.Г. Повышение эффективности котельных установок на жидком топливе / В.Г. Злобин, Л.О. Зверев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Том 22. № 4. С.24-32.

[3] Амосов, А.П. Наноматериалы технологии СВС для триботехнического применения. Обзор / А.П. Амосов // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2016. № 4. С. 17-33.

[4] Морозов, А.В. Экспериментальная оценка триботехнических характеристик эпилонированных материалов, работающих в резьбовых соединениях в условиях сухого трения / А.П. Амосов // Трение и износ. 2014. Т. 35. № 3. С. 236-244.

[5] Корнопольцев, В.Н. Новые трибологические композиционные материалы на основе политетрафторэтилена / В.Н. Корнопольцев, Д.М. Могнонов, О.Ж. Аюрова, С.Л. Буянтуев // Материаловедение. 2016. № 7. С. 31-35.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СТЕНОК ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Кондратьев Александр Евгеньевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
aekondr@mail.ru

Аннотация. В настоящее время особое внимание уделяется техническому состоянию энергетических трубопроводов с целью снижения аварийности эксплуатации и повышению их надежности. Проведение неразрушающего контроля коммуникаций также позволяет провести оценку остаточного ресурса, спрогнозировать сроки последующего ремонта или замены энергетических коммуникаций. Одним из важных этапов неразрушающего контроля является математическое моделирование поведения коммуникаций под нагрузкой.

Ключевые слова: техническая диагностика, неразрушающий контроль, математическое моделирование, колебание трубопровода

MATHEMATICAL MODELING OF OSCILLATIONS OF THE WALLS OF EN- ERGY PIPELINES

Kondratiev Alexander Evgenievich
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
aekondr@mail.ru

Annotation. Currently, special attention is paid to the technical condition of energy pipelines in order to reduce the accident rate of operation and increase their reliability. Non-destructive testing of communications also allows you to assess the residual resource, predict the timing of subsequent repair or replacement of energy communications. One of the important stages of non-destructive testing is the mathematical modeling of the behavior of communications under load.

Keywords: technical diagnostics, non-destructive testing, mathematical modeling, pipeline oscillation

Введение

Применение технической диагностики энергетических трубопроводов позволяет провести с большой степени достоверности оценку их технического состояния. Извест-

но значительное количество способов контроля, из которых наиболее приемлемым является неразрушающий контроль. Основным преимуществом неразрушающего контроля является физическая целостность объекта исследования, при этом есть возможность оценить степень его годности [1].

Из всего многообразия методов неразрушающего контроля наиболее приемлемым является метод колебаний. При динамической нагрузке трубопровода в результате взаимодействия потока теплоносителя с неподвижными стенками трубопровода возникают механические колебания [2]. Параметры этих колебаний зависят не только от свойств трубопровода, но и его состояния. Так, имеется возможность оценить степень чистоты внутренней поверхности энергетического трубопровода, а также наличие внутренних механических дефектов [3].

Основная часть

С целью определения информативного частотного диапазона проводится построение математической модели процесса колебания трубопровода. Для расчета частот собственных колебаний применяется программный комплекс ANSYS. Это наиболее удобная программная среда с универсальной программой конечно-элементного анализа [4]. С помощью этого программного комплекса возможно решение линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач деформации твердого тела с учетом теплопередачи, теплообмена и виброакустики [5].

С целью оценки влияния дефектов различного рода произведено математическое моделирование упругих колебаний стенок трубопровода. Модальный анализ проводился как на бездефектном трубопроводе, так и трубопроводе с различными механическими дефектами различных размеров.

Математическое моделирование проводилось на трубопроводе со следующими параметрами: диаметр трубопровода 72 мм, толщина стенок 4 мм. Результаты модального анализа собственных колебаний показаны в таблице 1. В этом случае моделирование дефекта не производилось, трубопровод считался условно исправным. Проведен расчет первых 50 собственных мод колебаний, в таблице показан наиболее информативный диапазон от 2867 Гц до 3148 Гц.

Таблица 1

Результаты расчета частоты колебаний бездефектного трубопровода

Номер моды колебания	Частота, Гц.
19	2867,8
20	3037,5

21	3053,9
22	3083,
23	3105,
24	3148,5

На рисунке показана наиболее характерная мода колебания на частоте 3053 Гц (Рис.1).

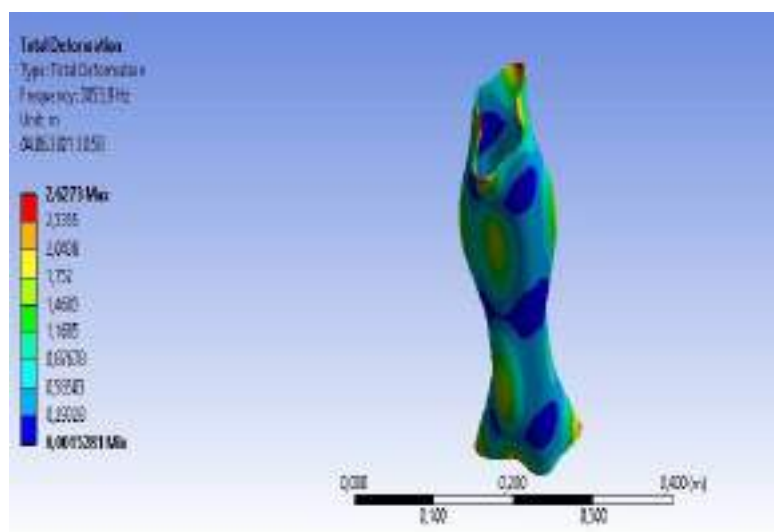


Рис. 1. Форма колебания 21 моды на частоте 3053 Гц.

Таким же образом проведен модальный анализ собственных колебаний исследуемого трубопровода диаметром 72 мм и толщиной стенки 4 мм, но с введенным дефектом. Дефект моделировался в виде продольной трещины длиной 5 мм, результаты показаны в таблице 2. Здесь также проведен расчет первых 50 собственных мод колебаний, в таблице показан наиболее информативный диапазон от 1605 Гц до 2798 Гц.

Таблица 2

Результаты расчета частоты колебаний трубопровода с дефектом

Номер моды колебания	Частота, Гц.
18	1605,3
19	2225,

20	2230,
21	2693,4
22	2707,3
23	2709,4
24	2723,3
25	2798,3

На рисунке показана наиболее характерная мода колебания на частоте 2230 Гц (Рис.2).

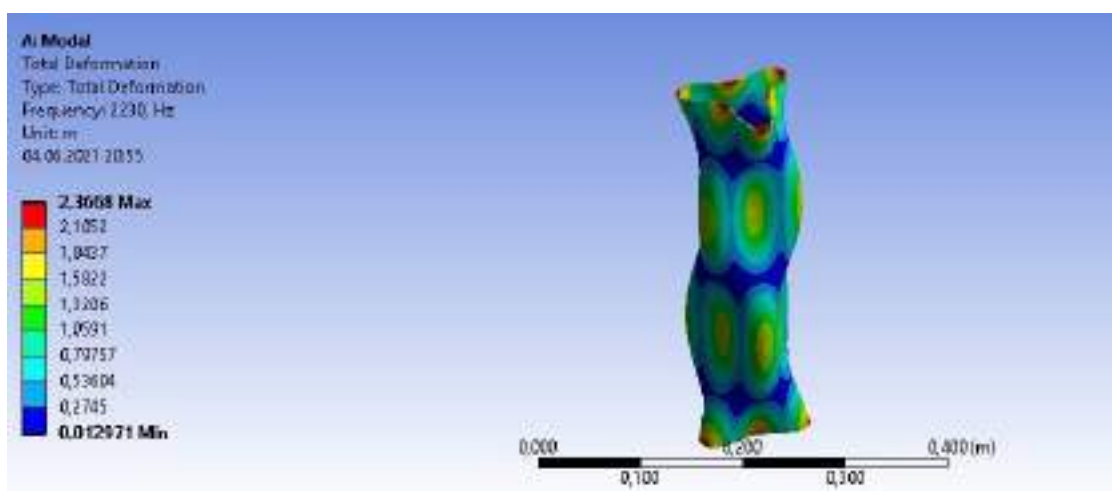


Рис. 2. Форма колебания 20 моды на частоте 2230 Гц.

Таким образом, для выбранного трубопровода рассчитана наиболее информативная частота колебаний, на основе которой возможно построение диагностической системы виброакустическим методом [6]. Сравнение частот колебаний дефектного и бездефектного трубопроводов позволяет сделать вывод, что основные моды колебания стенок исследуемого трубопровода при наличии дефекта смещаются в область более низких частот. При этом замечено, что снижение частотного диапазона напрямую связано с размером дефекта.

Источники

[1] Разработка методики определения размера коррозионного поражения оболочек акустическим методом / Ш. Г. Зиганшин, Ю. В. Ваньков, А. Е. Кондратьев, С. П.

Кузнецов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. – № 1(57). – С. 36-38. – EDN JWBVZB.

[2] Improving the methodology for assessing the technical condition of equipment during the transportation of energy carrier in energy systems and complexes / S. O. Gaponenko, R. Z. Shakurova, A. E. Kondratiev, R. Dimova // E3S Web of Conferences : 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. – Kazan: EDP Sciences, 2019. – P. 01021. – DOI 10.1051/e3s-conf/201912401021. – EDN UXIYTB.

[3] Колибаба В. И. Стоимостные модели в контроллинге устойчивого развития электроэнергетических компаний и кластеров / В. И. Колибаба, А. А. Морозова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 106-119.

[4] Vankov Yu V and Kondrat'ev A E, 2004 Pribery i Sistemy Upravleniya (2) 45-53

[5] Загретдинов, А. Р. Аппаратно-программное обеспечение ударно-акустического контроля композиционных конструкций / А. Р. Загретдинов, А. Е. Кондратьев, Ш. Г. Зиганшин // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4-1(31). – С. 27. – EDN TPMSOV.

[6] Оценка технического состояния подшипников качения виброакустическим методом / М. В. Акутин, Ю. В. Ваньков, А. Е. Кондратьев, Ю. Я. Петрушенко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – № 2. – С. 55-57. – EDN KPZDLZ.

[7] Оразбаев Б. Б. Исследование проблем моделирования и принятия решений при управлении установкой риформинга и подходы к решению / Б. Б. Оразбаев, М. Д. Кабибуллин, А. К. Жумадилаева и др. / Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 82-95.

[8] Загретдинов, А. Р. Разработка прибора и методики ударно-акустического контроля многослойных композиционных конструкций / А. Р. Загретдинов, А. Е. Кондратьев, Ю. В. Ваньков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – № 9-10. – С. 97-104. – EDN RUHUDR.

ВНЕДРЕНИЕ В РАБОТУ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПАССИВНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Майоров Егор Сергеевич

ФГБОУ «Казанский государственный энергетический университет»

timetolegend@gmail.com

***Аннотация.** Проблема увеличения выработки электроэнергии является одной из самых актуальных на сегодняшний день. Увеличение выработки мощностей возможно при улучшении основного процесса по выработке электроэнергии за счет создания новых видов турбин или путей генерации. К сожалению, данный вид улучшений не проходит быстро и требует большого количества времени в связи с большой инерционностью традиционностью энергетики. Системы же, которые не требуют изменения традиционного процесса генерации электроэнергии, будут пассивно генерировать электроэнергию, повышая при этом КПД электростанции. К таким системам можно отнести МГД-генератор и установки, работающие за счет эффекта Зеебека. Такие системы не повышают выработку на десятки процентов, их генерация составляет в районе 0.5-1% от генерации электростанции.*

***Ключевые слова:** ТЭС, АЭС, магнитогидродинамический генератор, эффект Зеебека, элемент Пельтье.*

INTRODUCTION OF PASSIVE POWER GENERATORS INTO OPERATION OF THERMAL POWER PLANTS

Mayorov Egor Sergeevich

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

timetolegend@gmail.com

***Abstract.** The problem of increasing power generation is one of the most pressing today. Increase in power generation is possible by improving the basic process of power generation by creating new types of turbines or generation paths. Unfortunately, this type of improvement is not quick and requires a lot of time due to the high inertia of traditional power generation. Systems that do not require changes to the traditional power generation process, however, will passively generate electricity while increasing the efficiency of the power plant. Such systems can include MHD-generators and installations that operate due to the Seebeck effect. Such systems do not increase generation by tens of percent, their generation is in the region of 0.5-1% of the power plant's generation.*

Key words: *TPP, NPP, magnetohydrodynamic generator, Seebeck effect, Peltier element.*

Введение

Системы пассивной генерации электроэнергии – системы, вырабатывающие электроэнергию параллельно от основной ветки генерации электроэнергии, не затрачивая при этом ресурсы, необходимые для основной ветки генерации. В данной статье будут рассмотрены такие пассивные системы генерации электроэнергии, как МГД-генератор и установка, генерация энергии которой основана на эффекте Зеебека, будут рассчитаны генерируемые мощности, сроки окупаемости, а также пути по повышению вырабатываемой электроэнергии.

Основная часть

МГД-генератор – установка, созданная Майклом Фарадеем в 1832, в основе которой лежит физический закон, который преобразует движение рабочего тела в магнитном поле в электроэнергию.

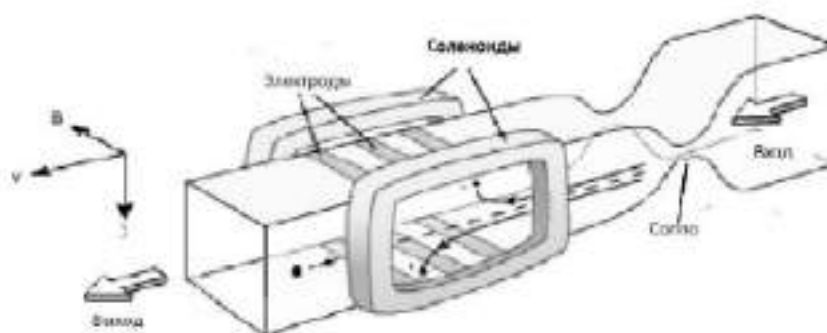


Рис. 1. Устройство МГД-генератора

Заряженные частицы под действием магнитного поля начинают вращаться по орбитам, радиус которой зависит от самой заряженной частицы и значения магнитной индукции, задаваемой магнитами. Вращаясь, заряженные частицы разноименных зарядов попадают на электроды, что порождает электрический ток [1]. Мощность данной установки, зависит от скорости потока, коэффициента ионизации, магнитной индукции, числа частиц в потоке и вычисляется по формуле:

$$F_n = B * k * W * N * e \quad (1)$$

где B - магнитная индукция, k - коэффициент ионизации, W - скорость рабочего тела, N - кол-во молекул, прошедшее через сечение за единицу времени, e - заряд электрона.

Рассчитаем мощность, вырабатываемую данной установкой при включении ее в схему АЭС.

Рабочим телом является жидкий металл - свинец, используемый на АЭС типа БН в качестве теплоносителя, из чего мы можем сделать вывод о его скорости, которая будет составлять 3-5 м/с. В расчетах примем коэффициент ионизации k равным 0,4-0,5.

Кол-во ионов, прошедших через магнитное поле, будет зависеть от скорости течения, геометрических характеристик сечения и будет рассчитываться по формуле:

$$N = \frac{m}{M} N_A \quad (2)$$

где m -масса жидкости, прошедшая через сечение за единицу времени, M -молярная масса свинца, N_A - число Авогадро. Так как поток движется с некой постоянной скоростью, разумно вести расчет через массовый расход, в результате чего мы и получим кол-во ионов, прошедших через сечение с учетом скорости потока.

$$N = \frac{G}{M} N_A \quad (3)$$

где G - массовый расход, определяемый по формуле $G = \rho SW$, где ρ - плотность свинца при температуре 527С, S - площадь сечения трубы и W - скорость потока.

Установка состоит из 2-х основных частей: 1- «врезанная» труба длиной 1 метр и толщиной стенок 5 см, 2- магниты, установленные на противоположных сторонах трубы. Чтобы магниты находились строго друг на против друга, нами было выбрано квадратное сечение трубы со стороной 250 мм. (см. рисунок 2).

Имея данные о геометрических характеристиках, можем приступить к расчету кол-ва ионов, прошедших через сечение, и значения силы Лоренца. Подставляя значения в формулу (3) предварительно рассчитав значение объемного расхода получим:

$$N = 94,7 * 10^{25}$$

Магниты же, используемы в установке, могут принимать различные значения магнитной индукции. Их выбор будет влиять на экономическую составляющую внедрения, а именно на срок окупаемости.

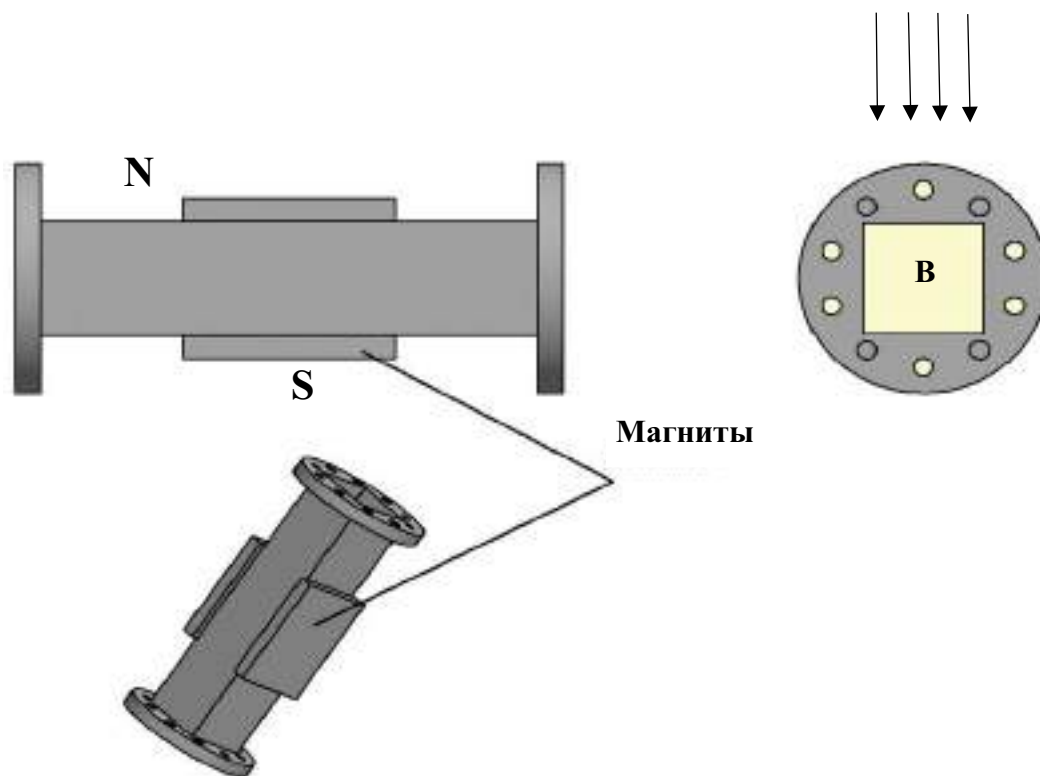


Рис. 2. Установка

Для расчета берутся неодимовые магниты (Nd2Fe14B) со значением магнитной индукции в 42 Тл. Значение же силы Лоренца, действующее на ионы в вакууме и рассчитываемое по формуле (1) будет равно:

$$F_{\text{л}} = 43 * 0,4 * 5 * 94,7 * 10^{26} * 1,6 * 10^{-19} = 130 \text{ ГН}$$

В связи с тем, что большое кол-во молекул будет сталкиваться под действием магнитного поля, некоторое кол-во энергии будет переходить из кинетической в тепловую, что повысит значение температуры, но уменьшит значение скорости проводника. Помимо этого, плотность свинца крайне высока, из-за чего магнитного поля магнитов с индукцией в 42 Тл будет недостаточно для обеспечения достаточной подвижности всех ионов для их попадания на электроды, поэтому для расчётов примем, что на электроды попадут ионы лишь с пограничных слоев, что составит 0,5-0,6% от их общего числа.

К тому же при расчете силы Лоренца большую роль играет среда, в которой находятся ионы. Свободный пробег электронов, находящихся в вакууме примерно в 1000 раз больше свободного пробега электронов, находящихся в свинце, что приведет к более вероятному столкновению заряженных частиц, примем, что в результате движения не столкнется около 1-го процента движущихся частиц. Приняв во внимание вышеописанные поправки, значение силы Лоренца будет равно:

$$F'_{\text{л}} = F_{\text{л}} * 0,005 * 0,001 = 0,65 \text{ МН}$$

Тогда сила тока будет рассчитываться по формуле [2]:

$$I = \frac{F'_l}{B * d} = 61 \text{ кА} \quad (4)$$

Рассчитаем значение ЭДС, возникающее между электродами:

$$\varepsilon = B * W * d * \sin \alpha \quad (5)$$

где d - расстояние между электродами.

Подставив значения получим:

$$\varepsilon = 42 * 5 * 0.25 = 52.5 \text{ В}$$

Для расчета мощности установки нужно рассчитать внутреннее сопротивление МГД-генератора, которое будет состоять из сопротивления свинца и сопротивления стенок нержавеющей стали.

Сопротивление свинца будет рассчитываться по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (6)$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление при температуре 527С, l - длина проводника, S - площадь поперечного сечения проводника.

Подставив значения, получим:

$$R = \frac{21 * 10^{-8} * 0.25}{0.25 * 1} = 40 * 10^{-8} \text{ Ом}$$

Сопротивление стенок нержавеющей стали рассчитаем по той же формуле и соответственно получим:

$$R_{cm} = 20 * 10^{-8} \text{ Ом}$$

Получим значения мощности установки с учетом потерь на внутреннее сопротивление:

$$P = I\varepsilon - I^2 R - I^2 R_{cm} = 3,1445 \text{ МВт}$$

Примем во внимание потери мощности на нагрев проводников в цепи, что в связи с их большой длиной будет составлять примерно 12 %. Тогда мощность с учетом потерь на сопротивление проводника будет составлять:

$$P = 7,264 * 0.88 = 2,7672 \text{ MBm}$$

Рассчитаем напряжение в цепи:

$$U = \frac{P}{I} = 46$$

Объем капитальных затрат состоит из 2-х магнитов стоимостью 24000р и врезной конструкции (затраты на электроды включены с стоимостью врезной конструкции) – 60000р. С учетом тарифа на электроэнергию данное внедрение окупится менее чем через неделю.

Малый срок окупаемости противопоставляется затратам, которые последуют в процессе монтажа и увеличении систем безопасности АЭС.

Из-за того, что заряженные частицы вовремя вращения сталкиваются, поток начинает двигаться медленнее при этом его температура будет расти. Насколько сильно будет происходить изменение параметров сказать на данном этапе невозможно. Повышение показателей будет напрямую зависеть от коэффициента ионизации, который может изменяться со временем цикла рабочего тела. Рассчитать коэффициент ионизации невозможно, но возможно узнать эмпирически, устанавливая термопары внутри потока перед входом в МГД-генератор и после.

Еще одной проблемой при установке МГД-генератора может стать избыточное напряжение в местах местных потерь. Переход из трубы круглого сечения в трубу квадратного сечения приведет к увеличению потерь давления на входе и выходе из МГД-генератора. Также изменение давления может привести к кавитации, которая может стать одной из причин аварий. Решить данную проблему можно заменив трубу квадратного сечения на трубу с сечением многоугольника. Данное решение приведет к уменьшению потерь на напоре, но увеличит затраты на отливку электродов и монтаж магнитов, ведь они должны находиться строго параллельно, для увеличения значения ЭДС.

Установка, для генерации электрической энергии за счет эффекта Зеебека, представляет собой систему из элемента Пельте, радиатора и системы присоединения элемента к трубе, по которой проходит нагретое рабочее тело. Разница температур между горячей и холодной поверхностью создаст в элементе термоЭДС, что приведет к возникновению тока в элементе [3]. Один из примеров элементов Пельте представлен на рисунке 3

Сегодня элемент Пельте используется в различных электрических схемах и радиоэлектронике, но свое применение в энергетике не нашел. Виной тому диапазон температур, при котором может элемент использоваться.

Для примера возьмем трубу теплоносителя, выходящую из ЦНД, теплоноситель в которой имеет температуру от 70-110С. При подсоединении элемента Пельте к трубе теплоносителя возникнет разность температур между горячей и холодной стороной элемента что вызовет эффект Зеебека, что создаст мощность в элементе. Заводские

элементы, которые производятся для электрических схем выдают напряжение в 66В и силу тока в 2.5А.

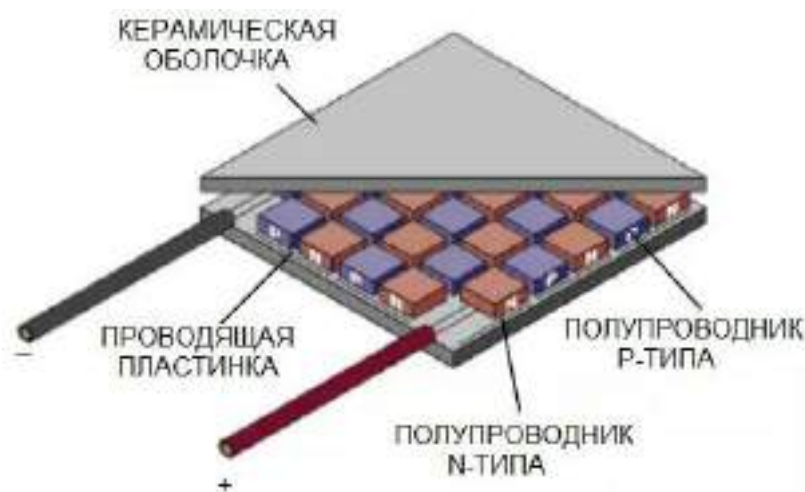


Рис. 3. Принципиальная схема элемента Пельте

Система, которая будет давать достаточно электроэнергии для использования в собственных нуждах, должна состоять из сотен элементов, параллельно соединенных под одной керамической пластиной.

К сожалению работа такой системы будет идти в противовес основному циклу ТЭС, отнимая нужно тепло из труб теплоносителя ЦНД.

Но данная система хорошо себя проявит в случаях, где требуется бесперебойная работа местных нагрузок (насосы и т.д.). В таком случае потребуются термостойкие пары полупроводников с температурой плавления 600 и выше. К примеру, можно взять теллурид висмута и станнид магния. Возможны и другие пары полупроводников. Для определения качества термоэлемента используют показатель добротности:

$$Z = \frac{\alpha^2 \cdot \sigma}{\lambda} \quad (7)$$

где α - коэффициент термоэлектродвижущей силы, σ -удельная электропроводность, λ -удельная электропроводность.

Чем выше показатель добротности, тем больше будет возможный перепад температур, при котором элемент Пельте будет выдавать максимальную мощность. Разница температур может быть высчитана по формуле:

$$\Delta T_{max} = 0,5Z \cdot T_c^2 \quad (8)$$

где Z- коэффициент добротности, T_c - температура холодной стороны.

Выводы

Использование систем пассивной генерации электроэнергии не является оптимальным решением при дефиците электроэнергии, а является точечным. Если брать в сравнение МГД-генератор и установку с элементом Пельтье, то последний имеет большее кол-во условий, при котором он будет работать не в убыток всей электрогенерирующей системы. В противовес этому можно сказать что установка с элементом Пельтье и может выдавать пассивную мощность даже при малом количестве термоэлементов. Такие установки могут использоваться как автономные батареи для прожекторов или малых насосов на ТЭС. МГД-генератор в свою очередь менее универсален и может быть использован там, где есть движение проводящего рабочего тела (вода, жидкий металл). С другой стороны, МГД-генератор может генерировать в сотни раз больше электроэнергии, которая может быть направлена как на собственные нужды или отдана в сеть, так и быть поставщиком электроэнергии в малом производстве водорода через электролизёры.

Источники

- [1] Енохович А. С. Справочник по физике и технике. М.: Просвещение, 1983. 255с.
- [2] Сафин А. Р. Использование ферритовых магнитов в синхронных двигателях с постоянными магнитами / А. Р. Сафин, Е. И. Грачева, К. В. Ranjan, Т. И. Петров // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 47-55.
- [3] Электростатический способ обогащения урана А.И. Минибаев, С.М. Власов // Материалы докладов VII Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения» / Под общ. ред. канд. техн. наук Э.Ю. Абдуллазянова. В 4-ч т.; Т. 2. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т., 2012. – 250 с.
- [4] Савенко А. Е. Оптимизация схемы присоединения рассредоточенных источников электроэнергии к распределительным электрическим сетям Темрюкского района / А. Е. Савенко, А. Г. Рыбин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 76-85.
- [5] Рыжов К. В. 100 великих изобретений. – М.: Вече, 2001. – 528с

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕХНИЧЕСКУЮ ВОДУ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НАКИПИ НА ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ КОТЕЛЬНЫХ И ТЕПЛООБМЕННЫХ АГРЕГАТОВ

Мехтиев¹ А.Д., Сарсикеев² Е.Ж., Герассименко³ Т.С., Нурабай⁴ Ж.Б.

^{1,2,3,4}«Казахский агротехнический университет им.С.Сейфуллина»

¹barton.kz@mail.ru, ²sarsikeyev.ermek@yandex.ru, ³gerko883@gmail.com,

⁴zhibek.nurabay29@gmail.com

Аннотация. В статье приводится обзор перспективного метода предотвращения отложений на нагревательной поверхности котельных агрегатов и теплообменников. Рассмотрен подход в практической реализации магнитной обработки оборотной воды в системы водоподготовки, для устранения накипи солей жёсткости. Накипь является причиной выхода из строя нагревательных элементов бойлеров, стиральных машин, электрических чайников и другого оборудования, предназначенного для нагрева воды. Накипь формируется путем осаждения карбоната на поверхности нагрева в виде белого налета и постепенно увеличивается, превращаясь в довольно прочный слой, препятствующий теплообмену. Цель исследований заключается в изменении качественного состава воды после магнитного (электромагнитного) воздействия и создание экспериментального образца устройства предназначенного для регулирования показателя жесткости воды и pH, используемой для котельных и теплообменных агрегатов систем трубопроводов. Для проведения исследований специально разработан лабораторный стенд позволяющий производить обработку воды с помощью постоянных и электрических магнитов. Эксперименты проводились как с использованием постоянных магнитов, когда их число можно выбирать от 10 до 40 шт. Также использовались электромагниты постоянного и переменного тока, мощность создаваемого магнитного поля регулировалась при помощи источников питания. Проведенные исследования показали, что магнитное (электромагнитное) поле способно влиять на поток воды и изменять ее показатель pH, жёсткость и содержание в ней кислорода, а также существенно снизить процесс образования накипи на поверхностях нагрева.

Ключевые слова: вода, магнитная обработка, жесткость воды, системы охлаждения, электронагреватели.

INVESTIGATION OF THE MAGNETIC EFFECT ON PROCESS WATER TO REDUCE SCALE ON THE HEAT EXCHANGE SURFACES OF BOILER HOUSES AND HEAT EXCHANGE UNITS

Mehtiev¹ A.D., Sarsikeev² E.Zh., Gerassimenko³ T.S., Nurabay⁴ Zh.B.

«Kazakh Agrotechnical university named after S.Seifullin», Kazakhstan

¹barton.kz@mail.ru, ²sarsikeev.ermek@yandex.ru, ³gerko883@gmail.com,

⁴zhibek.nurabay29@gmail.com

Annotation. *The article provides an overview of a promising method for preventing deposits on the heating surface of boiler units and heat exchangers. An approach is considered in the practical implementation of magnetic treatment of recycled water in water treatment systems to eliminate the scale of hardness salts. Scale is the cause of failure of heating elements of boilers, washing machines, electric kettles and other equipment designed for heating water. Scale is formed by precipitation of carbonate on the heating surface in the form of a white plaque and gradually increases, turning into a fairly strong layer that prevents heat exchange. The purpose of the research is to change the qualitative composition of water after magnetic (electromagnetic) exposure and to create an experimental sample of a device designed to regulate the water hardness index and pH used for boiler houses and heat exchange units of pipeline systems. A laboratory stand has been specially developed for conducting research, which allows water treatment with the help of permanent and electric magnets. The experiments were carried out both using permanent magnets, when their number can be selected from 10 to 40 pcs. Electromagnets of direct and alternating current were also used, the power of the created magnetic field was regulated using power sources. The conducted studies have shown that the magnetic (electromagnetic) field is able to influence the flow of water and change its pH, hardness and oxygen content in it, as well as significantly reduce the process of scale formation on heating surfaces.*

Keywords: *water, magnetic treatment, water hardness, cooling systems, electric heaters.*

Введение

Образование накипи на различных поверхностях нагрева теплообменных аппаратов, котельных агрегатов, бойлеров и другого теплоэнергетического оборудования, достаточно острая. Так как в центральном Казахстане вода имеет достаточно высокую жёсткость. Накипь приводит к снижению эффективности работы теплоэнергетического оборудования и снижает его ресурс работы, а также приводит к перерасходу топлива, потраченного на нагрев воды. Для регулирования жёсткости воды используются химические реагенты, которые позволяют бороться с этим негативным явлением. Отложение солей жёсткости можно встретить не только в промышленном

оборудовании, но и в быту. Накипь является причиной выхода из строя нагревательных элементов бойлеров, стиральных машин, электрических чайников и другого оборудования, предназначенного для нагрева воды. Накипь формируется путем осаждения карбоната на поверхности нагрева в виде белого налета и постепенно увеличивается, превращаясь в довольно прочный слой, препятствующий теплообмену.

В основе идеи научной работы лежит создание экспериментального образца комплексного магнитного (электромагнитного) устройства, предназначенного для уменьшения жесткости воды на этапах водоподготовки с последующим ее использованием для нужд энергетики и водоснабжения с целью снижения негативного влияния солей жесткости. Использование магнитного и электромагнитного устройства в качестве дополнительного средства позволит снизить используемое количество химических реагентов и тем самым снизить их вредное влияние на экологию.

Цель исследований заключается изменения качественного состава воды после магнитного (электромагнитного) воздействия и создание экспериментального образца устройства предназначенного для регулирования показателя жесткости воды и pH, используемой для котельных и теплообменных агрегатов систем трубопроводов

Важным показателем качества воды является жесткость воды, характеризующаяся наличием ионов кальция и магния. Этот показатель измеряется преимущественно в моль/м³, мг-экв/л и характеризуется четырьмя диапазонами: если вода имеет в своем составе 0-4 мг-экв/л, то она считается мягкой; если 4-8 мг-экв/л – вода считается средней жесткости; 8-12 мг-экв/л - жесткая вода и более 12 мг-экв/л – вода считается очень жесткой [1].

Проведенные предварительные исследования позволили сформировать основную идею и гипотезу проекта связанные с использованием электромагнитного поля для изменения свойств воды и ее очистки. В статьях [2-5] приведены основные предварительные результаты исследований. Предварительными результатами является разработка и практическая апробация электромагнитного устройства для обработки технической воды, применяемой на Карагандинской ТЭЦ–3. Новизна предложенных технических решений подтверждена патентами [6,7], там же можно ознакомиться с основными принципами обработки технической воды. Существуют несколько традиционных способов, используемых в настоящее время для снижения концентрации солей жесткости. К ним относятся: дистилляция; использование реагентов; термическое умягчение; катионирование; электродиализ; обратный осмос. Все эти методы достаточно изучены и применяются в зависимости от условий и уровня загрязнения воды. Данные методы имеют определенную сложность, так как по большей мере требуют использование химических реагентов, которые впоследствии загрязняют окружающую среду и требуют значительных материальных затрат на обработку 1 м³ воды [1-7].

Литературный анализ

Литературный анализ показал, что данный научный вопрос уже рассматривался ранее, имеются положительные результаты и опыт использования в различных областях деятельности человека [8,9]. Большая часть статей посвящена решению проблемы образования накипи на поверхностях нагрева и разработки методов защиты этих поверхностей и очистки. В статьях отражены различные направления по концепции водоподготовки, с использованием устройств, работающих на постоянных магнитах или электромагнитах [10]. Под действием электромагнитного поля происходит образование центров кристаллизации и уменьшается концентрация растворенных в воде ионов солей жесткости. Образовался мелкодисперсионный кристаллический осадок, который выпал в виде шлама. После обработки воды количество образовавшейся накипи на поверхностях нагрева сокращается [8-10]. Проведенный анализ мировой литературы показал [11], что достаточно остро стоит проблема образования накипи на поверхностях нагрева и трубопроводов систем водоснабжения причиной чего является высокий показатель жесткости воды. Ежегодно во всем мире интерес к электромагнитной и магнитной обработке воды возрастает, это подтверждает объем публикаций [12]. Положительным моментом является, что данный способ является экологически чистым и позволяет сократить или полностью исключить использование химических реагентов, применяемых для борьбы с образованием накипи [13].

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований специально разработан лабораторный стенд позволяющий производить обработку воды с помощью постоянных и электрических магнитов. Эксперименты проводились как с использованием постоянных магнитов, когда их число можно выбирать от 10 до 40 шт. Также использовались электромагниты постоянного и переменного тока, мощность создаваемого магнитного поля регулировалась при помощи источников питания. Для экспресса контроля использован цифровой измеритель pH и TDS с точностью 0,01. Для измерения силы магнитного поля был использован гауссометр TD8620 (измеритель Теслы) с осевым зондом, точность 0-2400mT 2%.

Для точного определения параметров обработанной и не обработанной воды использовалось оборудование Агроэкологической испытательной лаборатории при НАО «Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина». Испытательная лаборатория, аккредитованная по стандарту KZ.T.01.2238 в области контроля продукции (объектам) «Питьевая вода». Имеющиеся приборы позволяют с высокой точностью оценить параметры жесткости и pH фактор (согласно ГОСТ 31867- 2012, ГОСТ 31869-2012, ГОСТ 31862-2012, СТ РК 1322-2005, СТ РК ГОСТ Р 51592-2003). Вес замеры производились ежедневно в течении одного месяца для повышения степени

достоверности результатов и их точности. Контроль параметров проб воды проводился до и после проведения магнитной (электромагнитной) обработки. На рисунке 1 показан лабораторный стенд и приборы, используемые для измерения параметров магнитной обработки воды.

Рис.



1.

Лабораторный стенд и приборы, используемые для измерения параметров магнитной обработки воды.

Схема лабораторного стенда для магнитной (электромагнитной) обработки воды представлена на рисунке 2. Вода перекачивалась из емкости 1 в емкость 6 при помощи насоса, при этом она проходила через 2-5 модулей с постоянными магнитами и медной немагнитной трубки. Каждый модуль содержит 20 неодимовых магнитов N52 диаметром 15 мм и толщиной 5 мм. Диаметр медной трубки равен 8 мм. Производительность насоса работающего от сети постоянного тока 12 В, регулировалась при помощи управляемого блока питания. Скорость движение жидкости по трубкам составляла от 0,01 до 3 л / мин. После обработки вода сливалась из емкости 6 и паковалась в герметичную тару для отправки в лабораторию. Перед проведением эксперимента часть воды из емкости 1 помещалась в бутылки и тоже отправлялась в лабораторию для определения начальных параметров.

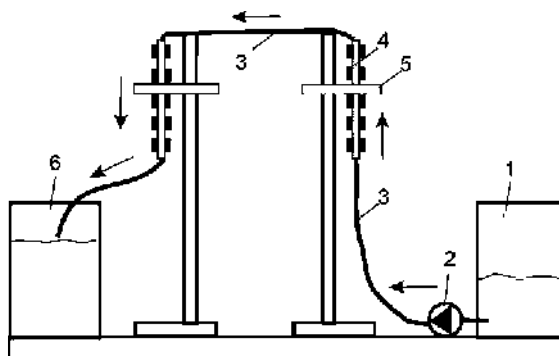


Рисунок 2 - Схема лабораторного стенда для магнитной (электромагнитной) обработки воды.

На рисунке 2 позициями обозначены: 1 – емкость с необработанной водой; 2 – насос для перекачки; 3 - пластиковая трубка для соединения; 4 – модуль с постоянными магнитами и медной немагнитной трубки; 5 – штатив для закрепления модуль с постоянными магнитами; 6 – емкость для обработанной воды.

Для проведения производственных испытаний создан образец, который находится на Карагандинской ТЭЦ-3. В нем используются электромагниты постоянного тока и импульсные катушек. Планируется проведение исследований процессов электромагнитного воздействия на питательную воду котельного агрегата (рисунок 4). Для снижения риска получения заведомо ложных результатов и исключения ошибок в измерениях параметров обрабатываемой воды планируется использовать возможности химической лаборатории Карагандинской ТЭЦ-3 (ТОО Караганда Энергоцентр). Для установки использована электромагнитная система двигателя посто-янного тока и, в частности, его катушки основных полюсов. Всего использовано 4 катушки, две снизу и две сверху. Внешний вид экспериментальной установки приведен на фотографии, рисунок 4.



Рис. 4. Опытный образец

Результаты лабораторных исследования системы электромагнитной обработки воды

Усредненные значения параметров воды и результаты ее магнитной обработки, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры воды до и после обработки

Параметры, ед измерения	До электромагнитной обработки	После электромагнитной обработки
рН	7,98	8,38
Карбонаты	512	418
Общая жёсткость	9,5	7,45
Сухой остаток	612	628

Также проведенные исследования образовавшейся накипи на поверхности электрического трубчатого нагревательного элемента стенда, которые подтвердили исследования других ученых, что перерасход электрической энергии или топлива котельного агрегата увеличивается с увеличением слоя накипи. При нагревании 30 литров необработанной электромагнитом воды, перерасход топлива по сравнению с обработанной в течение часа, составил около 11% при общей толщине накипи 2 мм. Данный слой образовался в пределах 600 циклов кипячения необработанной воды. При проведении опыта вода была предварительно обработана, следующим образом, мощность электромагнита составила 200 Вт, вода прогонялась в течение часа по кольцевому трубопроводу через электромагнитное поле и сбрасывалась в бак, от куда снова закачивалась в трубопровод. Результаты исследований приведены на рисунке 3.

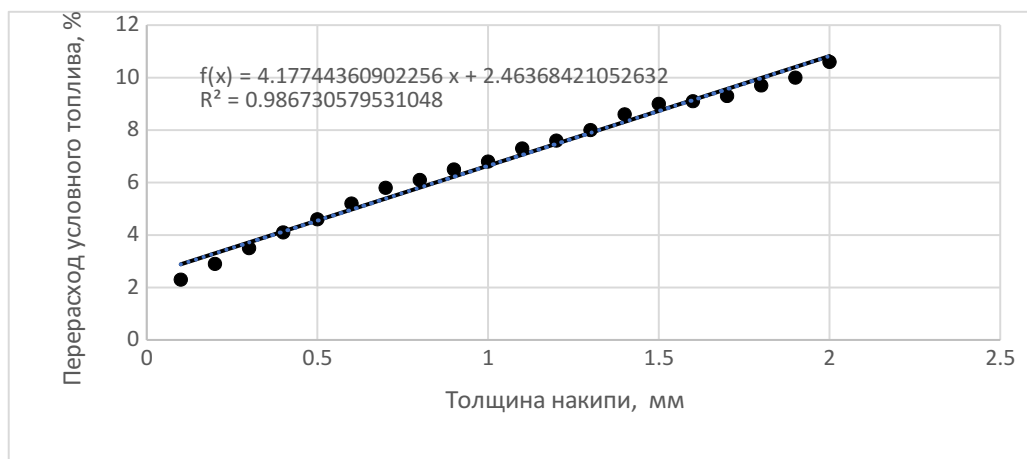


Рис. 3. Увеличение энергозатрат при увеличении слоя накипи на поверхности электронагревателя

Вывод

Проведенные исследования показали, что магнитное (электромагнитное) поле способно влиять на поток воды и изменять ее показатель pH, жёсткость и содержание в ней кислорода, а также существенно снизить процесс образования накипи на поверхностях нагрева. Физико-химический состав обработанной воды электромагнитным полем имеет иные показатели жесткости и щелочности воды, а также содержание хлоридов, сульфатов, кальция, железа, кислорода, магния. Электромагнитное поле ускоряет процесс кристаллизации солей жёсткости интенсифицирует развитие процесса шламообразования, благодаря чему ускоряется их осаждение и способствует удалению из жидкости разного рода взвесей. Также возможно достижение эффекта самоочистки поверхностей, имеющих слой накипи. Рекомендуется использование электромагнитов постоянного тока, так как это наиболее эффективный вариант при минимальных материальных вложениях, так как есть

возможность использования не пригодных для эксплуатации двигателей постоянного тока. Учитывая низкую стоимость энергии собственных нужд ТЭЦ, данный способ может составить конкуренцию системе химической водоподготовки.

Источники

[1] СТ РК 1514-2006. Вода питьевая. Методы определения жесткости. [Электронный ресурс].-URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293739/4293739488.htm>

[2] А.Д. Мехтиев, Е.Ж. Сарсикеев, М.К. Ибраев, Е.Г. Нешина, А.Д. Алькина, Е.Н. Биличенко. Использование генераторов электромагнитного поля для предотвращения образования накипи на поверхностях нагрева // Механика и технологии / Научный журнал. 2021. №2(72). С.94-105. (<http://journal.tarsu.kz/public/mehan/2/94-105-100>)

[3] Мехтиев А.Д., Сарсикеев Е. Ж., Жумажанов С. К., Герасименко Т. С. Снижение уровня твердых отложений на теплообменных поверхностях котельных агрегатов при помощи электрогидродинамического активатора воды. Вестник науки казахского агротехнического университета имени С.Сейфуллина № 1 (112) 2022, 361 - 370. DOI 10.51452/kazatu.2022.1(112).842

[4] A.D. Mekhtiyev, YE.ZH. Sarsikeyev, A.V. Atyaksheva, A.D. Atyaksheva, T.S. Gerassimenko, A.D. Alkina. Method of preventing deposits on the inner surface of circulating water pipelines of fer-roalloy electric furnace cooling systems // METALURGIJA 60(2021) 3-4, pp. 321-324. (<https://hrcak.srce.hr/256098>)

[5] Иманов Ж.Ж., Мехтиев А.Д., Исакова А.М. Аппараты электромагнитной обработки воды технологических циклов тепловых электрических станций. // Булатовские чтения. Сборник статей-2020

[6] Таджикибаева А.А., Такибаева А.Т., Мехтиев А.Д., Югай В.В., Алькина А.Д., Амиров А.Ж., Калиаскаров Н.Б., Есенжолов У.С., Жумабекова Б.М., Даниярова А.Т. Электромагнитное устройство для предупреждения солевых отложений в теплообменной аппаратуре. // Патент на полезную модель № 3955. Оpubл. 23.10.2018.

[7] Даниярова А.Т. Мехтиев А.Д., Югай В.В., Алькина А.Д., Демец О.В., Калиаскаров Н.Б., Есенжолов У.С., Амиров А.Ж., Таджикибаева А.А., Жумабекова Б.М. Устройство для предотвращения образования накипи // Патент на полезную модель № 3769. Оpubл. 23.10.2018.

[8] Prokof'ev A.B. Magnitno-impul'snaya obrabotka materialov (MIOM): monografiya / A.B. Prokof'ev i dr. – Samara: ANO «Izdatel'stvo SNTs», 2019. – 140 s.

[9] А.Р. Bessonova, I.E. Stas'. Vliyanie vysokochastotnogo elektromagnitnogo polya na fiziko-khimicheskie svoystva vody i ee spektral'nye kharakteristiki // Polzunovskiy vestnik. – 2008. - № 3, s. 305-309

[10] Sergio Martínez Moya, Nuria Boluda Botella. Review of Techniques to Reduce and Prevent Carbonate Scale.// Water 2021, 13(17), 2365; <https://doi.org/10.3390/w13172365>

[11] Mark Landefeld, Extension Educator, Agriculture and Natural Resources, Monroe County Jeff Bettinger, Lead District Conservationist, Natural Resources Conservation Service. Water Effects on Livestock Performance. [Электронный ресурс].-URL: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/ANR-13>

[12] 12-29-2014 How Water Quality Affects Your Plants. [Электронный ресурс].-URL: <https://blog.1000bulbs.com/home/how-water-quality-affects-your-plants>

[13] Water quality for livestock Page last updated: Friday, 16 July 2021. [Электронный ресурс].-URL: <https://www.agric.wa.gov.au/livestock-biosecurity/water-quality-livestock>

КОГЕНЕРАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

¹Онгар Булбул, ²Мергалимова Алмагуль Каирбергеновна, ³Смагулова Гулдана Кашкинбаевна, ⁴Нурмадиева Эльмира Амиржановна

¹ Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (КазННТУ), г. Алматы, Казахстан

² НАО «Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина», г. Нур-Султан, Казахстан

^{3,4} НАО "Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева", г. Алматы, Казахстан

¹b.ongar@satbayev.university, ²almagul_mergalimova@mail.ru, ³gu.smagulova@aes.kz,
⁴e.nurmadieva@aes.kz

Аннотация. На водном транспорте технологии комбинированной выработки тепловой и электрической энергии (технологии когенерации) используются уже значительное время. Известно [1], что на судах различного назначения имеются в составе энергетической установки блоки утилизации тепловой энергии (БУТ). БУТ энергетических установок судов позволяют утилизировать тепловую энергию охлаждающей жидкости и отработанных газов их двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Для автомобильного и железнодорожного транспорта подобные технологии снабжения их тепловой и электрической энергией только начинают развиваться. Когенерация или комбинированное производство тепло и электроэнергии (ТЭЦ) определяется как последовательное производство двух различных форм полезной энергии из одного первичного источника энергии, обычно механической энергии и тепловой энергии. Механическая энергия может использоваться либо привода генератора переменного тока для производства электроэнергии, либо для вращающегося оборудования, такого как двигатель, компрессор, насос или вентилятор, для предоставления различных услуг. Тепловая энергия может использоваться либо для непосредственного технологического процесса, либо для косвенного производства пара, горячей воды, горячего воздуха для осушителя или охлажденной воды для технологического охлаждения. Когенерация предоставляет широкий спектр технологий для применения в различных сферах экономической деятельности. Общий коэффициент использования топлива установок комбинированного производства тепловой и электрической энергии может достигать 85-90 % [2]

Ключевые слова: когенерация, когенерационная установка, оборудование когенерационных установок, паровой котел, биомасса, биогаз, дизельное топливо, тепловая энергия.

COGENERATION TECHNOLOGY AND COMBINED HEAT AND ELECTRICITY

¹Ongar Bulbul, ²Mergalimova Almagul Kairbergenovna, ³Smagulova Guldana Kashkinbaevna, ⁴Nurmadieva Elmira Amirzhanovna

¹ Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev (KazNITU),
Almaty, Kazakhstan

² NJSC "Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin", Nur-Sultan, Kazakhstan

^{3,4} NJSC "Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev", Almaty, Kazakhstan

¹b.ongar@satbayev.university, ²almagul_mergalimova@mail.ru, ³gu.smagulova@aes.kz,.

⁴e.nurmadieva@aes.kz

Annotation. In water transport, technologies for the combined generation of heat and electricity (cogeneration technologies) have been used for a considerable time. It is known [1] that ships for various purposes have thermal energy recovery units (HRUs) as part of the power plant. ECUs of power plants of ships make it possible to utilize the thermal energy of the coolant and exhaust gases of their internal combustion engines (ICE). For road and rail transport, such technologies for supplying them with thermal and electrical energy are just beginning to develop. Cogeneration or combined heat and power (CHP) is defined as the sequential production of two different forms of useful energy from a single primary energy source, usually mechanical energy and thermal energy. Mechanical energy can either be used to drive an alternator to generate electricity, or it can be used to power rotating equipment such as a motor, compressor, pump, or fan to provide a variety of services. Thermal energy can be used either for the direct process or for the indirect production of steam, hot water, hot air for the dryer, or chilled water for process cooling. Cogeneration provides a wide range of technologies for application in various areas of economic activity. The overall fuel utilization factor of combined heat and power plants can reach 85-90% [2]

Key words: cogeneration, cogeneration plant, cogeneration plant equipment, steam boiler, biomass, biogas, diesel fuel, thermal energy.

Введение

В настоящий момент топливно-энергетический комплекс Казахстане переживает кризисное состояние. Основное проявление кризиса заключается в том, что обыденным

явлением становится нарушение и перебои снабжения отдельных регионов и потребителей топливом, электрической и тепловой энергией.

Одним из наиболее перспективных решений сложившейся ситуации является развитие малой энергетики. Большим потенциалом здесь обладает процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии - когенерация, которая помимо всего прочего дает возможность для развития экономики страны.

Целью данной работы является показать актуальность и целесообразность использования когенерации.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Изучить основные элементы когенерационной установки;
2. Изучить разновидности установок;
3. Показать сравнительные характеристики разных типов установок;

Когенерация — это комбинированное производство тепла и электроэнергии. На электростанции с применением технологии когенерации топливо используется для получения двух форм энергии — тепловой и электрической. Приставка «ко» в слове когенерация и означает комби. Проще говоря когенераторная установка это тепловая электростанция.

Когенераторные электростанции более эффективны в сравнении с электростанциями производящими только электрическую энергию.

С технологией когенерации появляется реальная возможность использовать тепловую энергию, которая обычно улетучивается в атмосферу через градирни и вместе с дымовыми газами.

При использовании эффекта когенерации существенно возрастает общий коэффициент использования топлива (КиТ). Применение когенерации в значительной степени сокращает затраты на приобретение топлива.

Понятие «когенерация» и когенерационные установки (мини-ТЭЦ) и Схема когенерационных установок

Когенерация — это не отдельная технология, а комплексная энергетическая система, которую можно модифицировать в зависимости от потребностей конечного потребителя энергии.

Теплоэлектростанции первого поколения существовали десятилетиями – в 1996 г. в Дании 48% потребности в электроэнергии и 38% потребности в тепле покрывалось за счет когенерационных установок. Тем не менее, реструктуризация производства энергии облегчает для промышленности рассмотрение когенерационных установок с возможностью продажи избыточной электроэнергии в распределительную сеть.

В отличие от традиционной централизованной выработки электроэнергии местной компанией, системы когенерации располагаются на объектах пользователя или рядом с ними и полностью или частично удовлетворяют потребности пользователя.

Традиционное производство электроэнергии преобразует в среднем только около трети потенциальной энергии топлива в электричество, выделяя при этом значительное количество тепла [3].

Система когенерации улавливает это отработанное тепло, достигая полной эффективности системы от 75% до 85%, и преобразует его в полезную тепловую энергию для горячего водоснабжения, стерилизации, обогрева, охлаждения и даже сушки. Делает это более эффективно, экономично, надежно и с меньшим вредом для окружающей среды, чем централизованное производство электроэнергии.

Когенерационная установка (рисунок 1) обычно состоит из основного двигателя для производства электроэнергии и генератора для утилизации тепла пара. Это поможет вам в выборе типа первичного двигателя для системы и в выборе соответствующего размера. Наибольшая энергоэффективность достигается при работе устройства с полной нагрузкой. Следовательно, следует избегать ситуаций работы с частичной нагрузкой или длительных простоев, которые могут возникнуть в результате использования агрегатов увеличенного размера.

Когенерационные системы стремительно развиваются и производители предлагают агрегаты с широким диапазоном мощностей – от десятков мегаватт до 1 киловатта. Много усилий было направлено на развитие технологий малой когенерации. Они в основном основаны на эффективности цикла Ренкина или цикла паровой турбины, цикла поршневого двигателя или цикла газовой турбины.

Когенерация обеспечивает:

- Производство электрической и/или механической энергии на территории ее потребления;
- Использование отработанного тепла для отопления, охлаждения, сушки или технологических целей;
- Бесшовная интеграция систем с различными технологиями, тепловыми приложениями и видами топлива в существующую инфраструктуру здания. Две наиболее распространенные конфигурации системы когенерации;
 - Газовая турбина или двигатель с рекуперацией тепла;
 - Паровой котел с паровой турбиной.

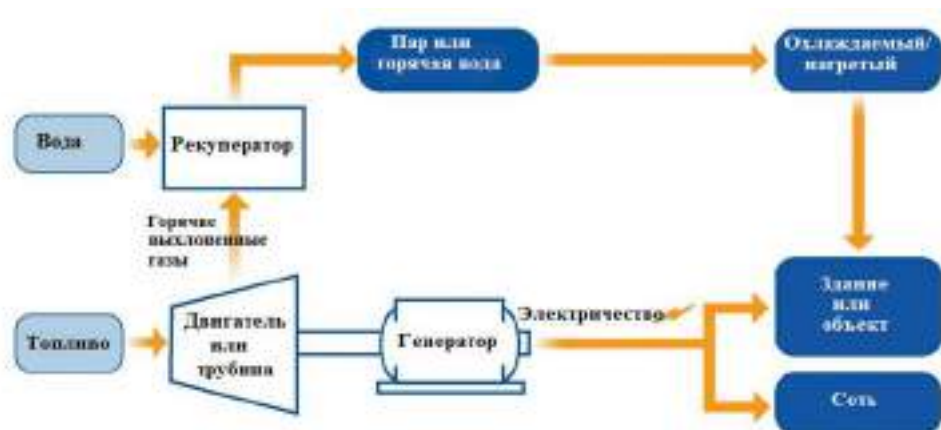


Рис. 1. Газовая турбина или двигатель с рекуперационной установкой

Газотурбинные или поршневые когенерационные системы вырабатывают электроэнергию путем сжигания топлива (природного газа или биогаза) для выработки электроэнергии, а затем используют установку для повторного использования тепловой энергии путем улавливания тепла потока выхлопных газов системы сгорания [4]. Это тепло преобразуется в полезную тепловую энергию, обычно в виде пара или горячей воды. Газотурбинные двигатели идеально подходят для крупных промышленных или коммерческих приложений когенерации, требующих достаточного количества электрической и тепловой энергии.



Рис. 2. Схема модуля когенерации с паровой турбиной

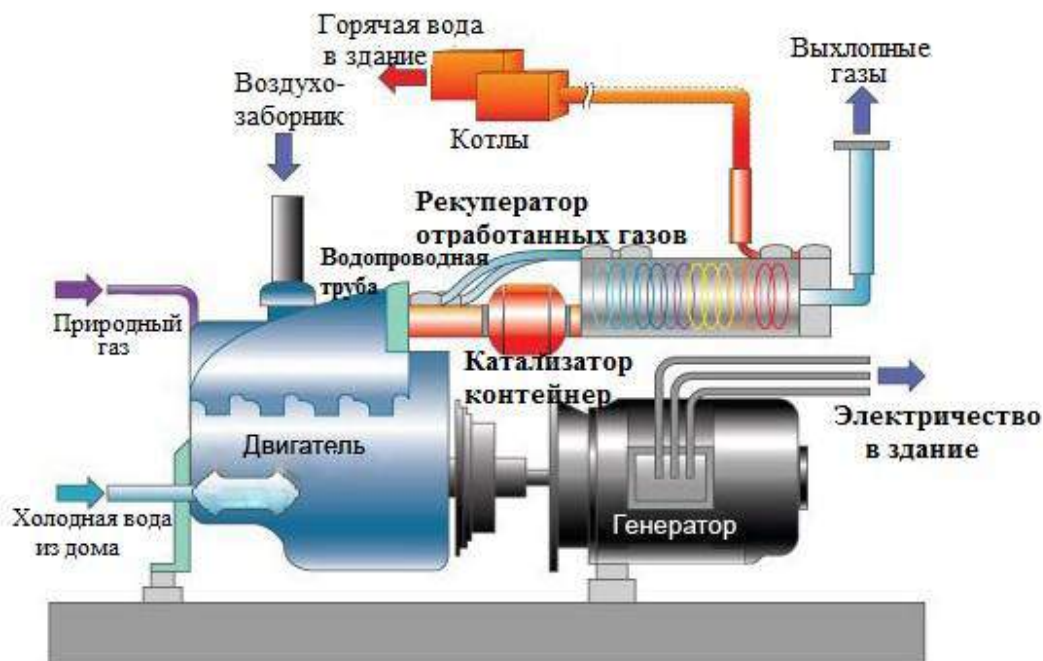


Рис. 3. Паровой котел с паровой турбиной.

Паровые турбины (рисунок 2 и рисунок 3) обычно вырабатывают электроэнергию как побочный продукт производства тепла (пара), в отличие от газовых турбин и поршневых когенерационных систем, где тепло является побочным продуктом производства электроэнергии (рисунок 4). Системы когенерации на основе паровых турбин обычно используются в промышленных процессах, где твердое топливо (биомасса или уголь) или отходы легко доступны для топлива котловой установки. Газовые и паровые турбины больше подходят для производств, где есть устойчивый и высокий спрос на пар высокого давления, например в деревообрабатывающей и бумажной промышленности, а также на предприятиях нефтехимии. Газовые двигатели в основном используются в установках мощностью 1-3 МВт в отраслях, где есть потребность в паре низкого давления и/или горячей воде, например, в пищевой промышленности. Паровые турбины используются там, где есть избыток пара [5-6].



Рис. 4. Раздельное производство электроэнергии и тепла

Источником энергии в основном является природный газ, хотя в некоторых конфигурациях могут использоваться отходы, биомасса, биогаз, дизельное топливо, бензин, уголь и жидкое топливо. Коэффициент производства «электроэнергия-тепло» улучшается с прежнего значения 0,5 до нынешних 0,6–0,7 и продолжает повышаться до 1,0 при общем КПД 80%. Простой срок окупаемости ТЭЦ может варьироваться от 1,5 до 10 лет, в среднем 4,5 года.

Улучшения в автоматическом мониторинге и управлении позволяют большинству систем ТЭЦ работать без постоянного персонала на станции, один человек может обслуживать несколько агрегатов [7]. Для газовых микротурбин (мощностью 500 кВт и менее) и с топливными элементами характерны новые разработки. Их компактный размер позволяет устранить потери при передаче и распределении за счет расположения источника энергии/тепла близко к месту использования.

Капитальные затраты на микро турбины в настоящее время превышают те системы, которые используют поршневые двигатели в качестве первичных двигателей. Однако более высокая начальная стоимость этих систем компенсируется их практически необслуживаемой конструкцией [8]. Их общая эффективность увеличивается еще больше, потому что турбина, компрессор и постоянный магнит установлены на одном валу, что позволяет избежать механических потерь.

Таблица 1.

Сравнение малогабаритных когенераторов [1].

Технология	К.п.д., %			
	NO _x , ppm	Нагревать	Эл. энергия	Общий
Турбина 1 МВт - природный газ	< 20	60 - 65	20 - 25	85 – 90
Поршневая турбина мощностью 1 МВт - природный газ	108	50	35 - 40	85 – 90
Новая газовая турбина комбинированного цикла (без трансмиссии и распределения)	n/a	n/a	55	55
Энергетическая система (включая передачу и распределение)	n/a	n/a	30	30
Новый промышленный газовый котел	24	85	n/a	85
Средний установленный промышленный котел	120	65		75 – 85
Паровая турбина с противодавлением	n/a	65		75 - 85
Топливные элементы	0,05	-	50	-

Топливные элементы преобразуют химическую энергию непосредственно в электричество. Они фактически не загрязняют окружающую среду, бесшумны и не требуют особого ухода. Промышленные установки включают топливные элементы с фосфорной кислотой мощностью 200 кВт и недавно представленную энергоустановку с протон обменной мембраной мощностью 250 кВт. Тем не менее, тепловая мощность относительно низкая (80 ° C), в будущем ожидается увеличение до 150 ° C, что должно облегчить производство пара.

Выводы

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что очевидной необходимостью для Казахстана является развитие систем совместного производства электрической и тепловой энергии. Эти системы, по сравнению с существующими монопольными тарифами, позволяют существенно снизить затраты на потребляемую энергию, а также решить важную проблему пиковых нагрузок и недостатков централизованных систем.

Когенерационные установки имеют большой ресурсный потенциал, а так же преимущества в надежности, диапазоне мощностных ресурсов. Очевидным является и то, что монопольное владение электроэнергетическим рынком, подкрепленное технико-правовыми нормами и существующей практикой ставит российского промышленного, сельскохозяйственного и гражданского потребителя в безвыходное положение, вынуждая его к приобретению когенерационных установок.

Источники

[1] Жаров А. В., Павлов А. А., Фавстов В. С., Горшков Р. В. Экспериментальное изучение характеристик дизельной когенерационной установки транспортного средства // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–5. – С. 971–977

[2] Ольховский Г.Г. Совершенствование технологий комбинированной выработки электроэнергии и тепло на ТЭЦ росси //Новости теплоснабжения. – 2003. №10.

[3] Дубин В.С. Сопоставление систем централизованного и децентрализованного энергоснабжения в современных условиях России. Часть 1. /Промышленная энергетика, №9, 2015.

[4] Григорьев А. В. Малая энергетика в России (состояние и перспективы развития) // Электросистемы, №4(16)/2006.

[5] Кривобок А.Д. Микро турбинные установки для автономных мини-ТЭС // Электросистемы, №4(16)/ 2006.

[6] Асеев С. Н., Курунов Ю.С. Повышение эффективности работы ГТУ-ТЭЦ в условиях переменных нагрузок // Энергосбережение в городском хозяйстве. Мат. III-й российской научн.-тех. Конф., 04.2001. — Ульяновск: улгту, 2001.

[7] Лешкович В.В., Николаев Н. Н., Николаев Ю. Н. Особенности оценки показателей энергоэффективности когенерационных установок // Энергосбережение, №7/2007.

[8] Петриченко Д. А., Папкин И.А. Конструкция системы преобразования энергии отработавших газов для когенерационных энергоустановок // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5.

ҚАТТЫ ОТЫННАН ЖАНҒЫШ ГАЗ АЛУДЫ ЗЕРТТЕУГЕ АРНАЛҒАН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ҚОНДЫРҒЫ

М.Б. Сатымғалиева¹, Г.Ә. Әкімбек², Б.К. Алияров³ М.С. Коробков⁴

^{1,2,3,4}Г. Даукеев атындағы Алматы энергетика және Байланыс университеті

¹mo.satymgaliyeva@aes.kz, ²g.akimbek@aes.kz, ³b.aliyarov@aes.kz,

⁴m.korobkov@aes.kz

Аннотация. Мақала ұсынылып отырған қондырғыда қатты отыннан жанғыш газдардың бөлінуін зерттеуге арналады. Бұл қондырғыда әртүрлі температурада зерттеулер жүргізілді, сонымен қатар қатты отындардан бөлінген жанғыш газдардың шығарылуы анықталды. Табиғи газды немесе көмірді негізгі отын ретінде пайдаланатын барлық жылу электр станцияларында отынды тұтандыру үшін мазут қолданады, ол қымбат отын түріне жатады. Мазут, отын ретінде, бірқатар сөзсіз қасиеттерге ие екендігі анық, бірақ айтарлықтай маңызды кемшіліктері де бар. Мазутты тасымалдау кезінде қатып қалмау үшін белгілі бір температурада ылғи қыздырылып отырылады, сонымен қатар, станцияларда сақтауда қыздыру үшін арнайы аккумуляторлар арқылы қатып қалмауы қадағаланып тұрады. Мазут бағасының жоғары болуы, оның тапшылығы, техникалық-экономикалық сипаттағы бірқатар келеңсіз салдарлар, оны эксплуатациялаудағы қиындықтар көмірмен жұмыс істейтін қазандық агрегаттарының отын балансындағы мазут үлесін азайтуды керек етеді. Осыған байланысты қазандық агрегаттарының алауын жағу және жарықтандыру кезінде мазутты бағасы төмен сұйық отынмен немесе көмірді қыздыру кезінде алынатын газ тәріздес жанғыш ұшпа заттармен ауыстырудың өзектілігі айқындалады. Зерттеу нәтижесі экология, экономика және энергетика салаларында өте тиімді жаңалық болады деген сенімдеміз.

Түйінді сөздер: ЖЭС, мазут, отын, газдандыру, қондырғы, экономика, энергия үнемдеу.

EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR STUDYING THE RECOVERY OF FUEL GAS FROM SOLID FUEL

Satymgaliyeva¹ M.B., Akimbek² G.A., Aliyarov³ B.K., Korobkov⁴ M.S.

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeeva

¹mo.satymgaliyeva@aes.kz, ²g.akimbek@aes.kz, ³b.aliyarov@aes.kz,

⁴m.korobkov@aes.kz

Abstract. *The article is devoted to the study of the process of separation of combustible gases from solid fuel in the proposed installation. This installation was used to conduct research at different temperatures, and also determined the release of combustible gases separated from solid fuel. All thermal power plants using natural gas or coal as their main fuel use fuel oil, which is an expensive type of fuel, for ignition. It is clear that fuel oil, as a fuel, has a number of undeniable properties, but there are also significant drawbacks. Fuel oil is always heated to a certain temperature so as not to freeze during transportation, and is also controlled by special accumulators for heating during storage at stations. The high price of fuel oil, its shortage, a number of negative technical and economic consequences, difficulties in its operation make it necessary to reduce the share of fuel oil in the fuel balance of coal-fired boilers. In this regard, the importance of replacing fuel oil with cheap liquid fuel or gaseous combustible volatile substances obtained by heating coal during ignition and ignition of boiler units has been determined. We believe that the result of the study will be a very useful innovation in the field of ecology, economics and energy.*

Key words: *CHP, fuel oil, fuel, gasification, plant, economics, energy saving.*

Kipicne

Дүние жүзіндегі көмір қоры орасан зор. Мұнай мен табиғи газбен салыстырғанда олар кең таралған. Экономикалық тұрғыдан алынатын көмір қоры 1 триллион тоннаға жуық деп бағаланады, бұл қазіргі қарқынмен 200 жылға жуық аралыққа жетеді [1].

Энергияның әртүрлі түрлерін жан-жақты салыстыру көмір болашақтың отыны болып қала береді деген қорытындыға әкеледі. Осыған байланысты қатты отынды тек жағып қана қоймай одан газ алу жолдарын қарастыру қажет.

Қазіргі таңда жыл сайын көптеген ғылыми конференциялар өтуде. Солардың бірі 2021 жылғы Париж келісімі, ол болашақта арзан технологияларға және декарбонизацияға бағытталған.

Жаңа технологияларға көшу ұзақ кезеңдерді қамтитындықтан, болашақтың энергиясына жаңаша көзқарас пен мемлекеттердің алдына қойылған міндеттерін қысқа мерзімде орындау мүмкін емес. Еліміздің энергетика нарығының жаңа стратегиялары аралас режимде электр және жылу энергиясын өндіруге бағытталған. Осыған байланысты жоғарыда айтылғандай арзан технологияларды жандандыру керек [3]. Осы ұсынылып отырған қондырғы арқылы энергия мен уақытты үнемдеп, арзан технология көзі ретінде қарастырамыз. Өзімізден шыққан қондырғылар қолдауды қажет етеді.

Қазіргі таңда жылу энергетикасында ұнтақ көмір қазандықтарын жағу кезінде және ұнтақ көмір алауының жануын (жарықтандыруын) тұрақтандыру үшін мазут немесе табиғи газ қолданылады. Бұл мақсаттарға әлемде жылына 50 млн тоннадан астам мазут жұмсалады. Энергетикалық көмір сапасының кеңінен төмендеуі ЖЭС-та

мазут шығынын көбейтуге әкеп соқтырады, осы орайда мұнай өңдеудің тереңдеуі мазут өндірісін төмендетеді [4].

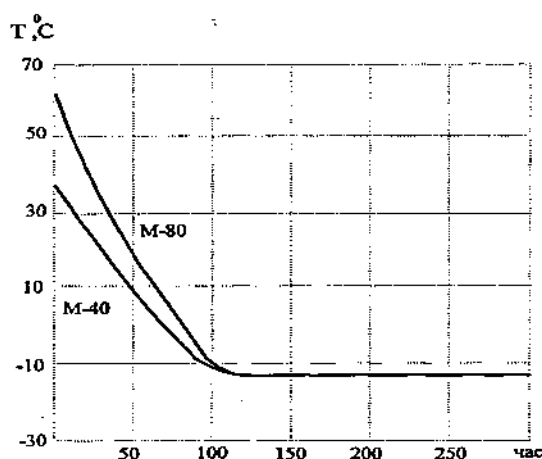
Мазутты пайдаланудағы көрсетілген проблемалар шағын энергетикада, қуаттылығы 35-75 т/сағ болатын турбулентті, құйынды шаң-көмір жанарғылары бар қазандықтар пайдаланылатын станцияларда одан да өткір өзекті мәселе болып отыр. Көптеген жылыту қазандықтары ауыспалы жылу жүктемесі бар режимде жұмыс істейді, оларда бір күн ішінде жүктеме қазандықтың толық қуатының 50-ден 100% - ға дейін өзгеруі мүмкін, ондай жағдайда шаң-көмір жанарғыларының мазутты жарықтандыруы барлық уақытта қажет болады. Осылайша, мазут қосымша емес, екінші негізгі отынға айналып отыр. Мазутты осындай көп тұтыну кезінде отынның екі түрін жағудан қазандықтардың экологиялық - экономикалық көрсеткіштерінің нашарлауы одан да арта түспек. Мазут бағасының жоғары болуы, оның тапшылығы, техникалық-экономикалық сипаттағы бірқатар келеңсіз салдарлар, оны эксплуатациялаудағы қиындықтар көмірмен жұмыс істейтін қазандық агрегаттарының отын балансындағы мазут үлесін азайтуды қарастыру мәселесі тек Қазақстанда емес, әлемдік масштабта шешімі табылуы қажет өзекті міндетке айналды [12].

Бұл тақырыпты көптеген ғалымдар зерттеген, бірақ біз ұсынып отырған қондырғының артықшылықтары бар. Осыған дейінгі қондырғылардан ерекшелігі, қондырғыда отын бөлшектерінің фракциясы бірдей температурада болуы және тәжірибе жүргізуге кететін уақыт пен энергия үнемділігі болып отыр. Бұл өзіне кететін шығынды төмендетеді деген сөз.

Қазандықтарды жағу және олардағы шаң көмір алауын жарықтандыру кезінде мазут шаруашылығын пайдалану шығындарын ескере отырып, ЖЭС-те мазутты тасымалдау мен сақтаудың техникалық-экономикалық сипаттамаларын анықтайық. ЖЭС-терге жағу мазуты негізінен темір жолмен көлемі 50 және 61 м³ болатын цистерналармен жеткізіледі. Мазут оны құрайтын коллоидтардың қозғалғыштығының төмендеуіне байланысты қалыңдайды. Мазуттың қозғалғыштығының жоғалуы ондағы ерітілген қатты көмірсутектердің (парафиндер мен церезиндер) бөлінуі мен кристалдануына байланысты болады [9]. Осыған байланысты парафинді мазут тіпті оң температурада да ағып кете алмайды. Мазуттың қату температурасы, мысалы, маркасы М-100 $T_3=25^{\circ}\text{C}$, парафин құрамының өсуімен қату температурасы $T_3=52^{\circ}\text{C}$ жетеді [10,11]. Цистерналар жолда мазутты қыздыруға арналған құрылғылармен жабдықталмағандықтан, цистерналарды құю кезіндегі температурасы 60-75°C болған мазут жолда айтарлықтай тасымалдау қашықтығында салқындайды да, оның температурасы қату температурасынан төмендеп кетеді.

1-суретте ауа температурасы -15°C кезінде жүріс уақытына байланысты көлемі 50 м³ цистерналарда М-40 және М-80 маркалы мазуттардың температурасын төмендету кестелері келтірілген [12]. 1-суреттен 75 және 90 сағат өткеннен кейінгі

цистерналардағы мазуттың температурасы 0°C-қа тең болғандығын көруге болады, ал 150 сағаттан кейін сыртқы ауаның температурасына жеткен.



1-сурет. М-40 және М-80 маркалы мазуттардың кәдімгі және термос цистерналарында тасымалдау барысындағы температураларының төмендеу кестесі

1-кестеде ТМД және Қазақстанның әртүрлі климаттық белдеулері үшін жылдың суық мезгілінде тұтынушыға жеткізілген цистерналардағы мазут температурасы бойынша статистикалық деректер келтірілген [13].

1-кесте.

Жылдың суық мезгілінде цистерналардағы мазут температурасы бойынша орташаланған деректер

ТМД аймағы	Климаттық белдеу	Цистернадағы мазуттың температурасы, °C		
		Төмен тұтқырлықты	Парафинді	Жоғары тұтқырлықты
Европалық бөлік	Солтүстік	-10	-2	-7
	Орта	-5	+2	-3
	Оңтүстік	0	+5	-2
Сібір	Солтүстік	-16	-5	-10
	Оңтүстік	-12	-3	-7
Қазақстан	Солтүстік	-15	-6	-9

Осының бәрінен жылу электр станциялары күрделі климаттық жағдайларға байланысты цистерналардан мазутты ағызу қиындықтарына тап болатындығын көруге болады. Ағызуға қымбат жылу энергиясының белгілі бір мөлшері өз қажеттіліктеріне жұмсалады, бұл тұтынушыларға жылу энергиясын беру үлесін азайтады және

өндірілетін жылу мен электр энергиясының құнын арттырады. Осыған байланысты қазандық агрегаттарының алауын жағу және жарықтандыру кезінде мазутты бағасы төмен сұйық отынмен немесе көмірді қыздыру кезінде алынатын газ тәріздес жанғыш ұшпа заттармен ауыстырудың өзектілігі айқындалады.

Көмірді жағу алдында термиялық өңдеу газ тәрізді жанғыш өнімді алуға мүмкіндік береді, ол тез тұтанады, ал алынған алау оттықты жылытуы мүмкін. Мысалы, Магнитогорск металлургия зауытының орталық электр станциясында ондаған жылдар бойы қазандар 1000 ккал/м^3 шамасында жанудың меншікті жылуы бар домна газында қызады.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, зерттеудің негізгі мақсаты - қазандықтарды жағудың ғылыми-техникалық және техникалық-экономикалық негіздемесі мен жанғыш заттарды алу үшін көмірді алдын-ала термиялық өңдеу жүйелерін қолдана отырып мазутсыз жағу технологиясын әзірлеу. Қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін қазақстандық көмірдің үш түріне: Шұбаркөл, Екібастұз және Қаражыра және т.б. отындарымен эксперименттік зерттеу жүргізу қажет:

1) белгілі бір температура диапазонында көмірді қыздыру кезінде ұшпа жанғыш заттардың массалық шығуын анықтау.

2) көмірді қыздыру нәтижесінде алынған жанғыш газдың жану құрамы мен жылуын міндетті анықтау.

3) көмірді қыздырудың энергетикалық және экономикалық тұрғыдан неғұрлым қолайлы температурасын анықтау.

4) қыздыру уақыты мен жылдамдығының жанғыш газдардың сандық және сапалық құрамына әсерін зерттеу.

Табиғи газ, отын ретінде, мазутқа қарағанда маңызды артықшылықтарға ие: оның жоғары калориялық мәні бар, оны жағуға дайындаудың және пешке жеткізудің қарапайым технологиясы бар, бұл шығындарды айтарлықтай азайтады. Сондай-ақ, табиғи газ мазутпен салыстырғанда таза отын болып табылады. Табиғи газ - органикалық заттардың анаэробты ыдырауы кезінде жер қойнауында пайда болған газдардың қоспасы. Табиғи газ пайдалы қазбаларға жатады. Табиғи газдың негізгі бөлігін метан (CH_4) құрайды - 92-ден 98% - ға дейін. Табиғи газдың құрамына метанның ауыр гомологты көмірсутектері де кіруі мүмкін: этан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}). сондай-ақ басқа көмірсутекті емес заттар: сутегі (H_2), күкіртсутек (H_2S), көмірқышқыл газы (CO_2), азот (N_2), гелий (жоқ). Таза табиғи газдың түсі мен иісі жоқ. Иіс арқылы ағып кетуді анықтау үшін газға аз мөлшерде жағымсыз иісі бар заттар қосылады (шіріген қырыққабат, жаңа піскен шөп, шіріген жұмыртқа) (одоранттар деп аталады). Көбінесе одорант ретінде этилмеркаптан қолданылады (16 текше метрге 1000 г табиғи газ).

Қазіргі уақытта өндірілетін көмір негізінен жылу электр станцияларында жағылады. Көмір негізінде электр энергиясының 20%-дан астамы өндіріледі,

металлургиялық кокстың 100% - ы өндіріледі және коммуналдық-тұрмыстық шаруашылық пен халықтың сұранысының 50% - ы қанағаттандырылады.

Әлемдік технологиялық трендтерді талдау көмірді терең өңдеу және кешенді пайдалану технологияларын енгізуді көздейтін индустриялықтан постиндустриалды дамуға көшу табалдырығында екенін көрсетеді. Қазақстанда елеулі қорлары бар, елдің барлық дерлік аумағында шоғырланған көмір кен орындарының көп мөлшерінің болуы табиғи газды, электр энергиясын, сондай-ақ сұйық отын мен химиялық өнімдерді алмастырғышты ала отырып, көмірді қайта өңдеу технологияларының дамуын өзектендіреді. Бұл ретте елдің отын-энергетикалық теңгеріміне көмірді тереңдете қайта өңдеу өнімдерін енгізу, энергия ресурстарының шикізат базасын едәуір кеңейту, елдің экономикалық қауіпсіздігіне нұқсан келтірмей көмірсутектер мен оларды тереңдете қайта өңдеу өнімдерінің экспортын қамтамасыз ету мүмкін болады. Қазіргі уақытта Қазақстанда және шетелде электр энергиясын алу үшін энергетикалық өнімдерді өндіру мақсатында, сондай-ақ бағалы химиялық өнімдерді алу мақсатында көмірді терең өңдеу бойынша ғылыми жұмыстар жүргізілуде. Қазіргі уақытта көмірді пайдаланудың синтез-газ, метанол, сұйық отын және басқа да тапшы өнімдерді алуды көздейтін екінші бағыты ерекше өзекті болып табылады. Бұл көмірді көмірсутегі шикізатын алудың сенімді балама көзі ретінде, әсіресе оларды тұтыну көлемінің өсуіне және қосымша барлаудың төмен қарқынына байланысты мұнай мен газдың таусылып жатқан қорлары аясында қарауға мүмкіндік береді.

Көмірді терең өңдеудің перспективалы бағыты көмірді жерасты газдандырудың ұңғымалық технологиясы (ПГУ) болып табылады, ол жер асты жағдайында көмірдің толық емес тотығу реакцияларын көмір қабаттарының пайда болу орнында жүзеге асыруды қамтамасыз етеді, оның сипаттамалары бойынша табиғиға ұқсас газ бетінде тиісті өңдеуден кейін алынады. Бұл ретте ПГУ газы синтез-газ, метанол, аммиак, карбамид және басқа да бағалы химиялық өнімдерді алу үшін шикізат болып табылуы мүмкін. Синтез газы метанолға, мотор отынына немесе сутегі алу үшін химиялық өңдеу үшін қолданылады. ПГУ станциясымен, энергия қондырғысымен және синтез блогымен бірге кәсіпорындарды тау-кен энергетикалық-химиялық кешен ретінде сипаттауға болады. Шикізат көзі ретінде 45% деңгейіне дейін оттегімен байытылған үрлеуді қолдану арқылы алынған газ қарастырылды.

Көмірді қайта өңдеудің перспективалық процестері - технологиялары жетілдіріліп жатқан үшінші буын процестері құрамындағы плазмохимиялық процестер белгілі бір орын алып отыр. Плазмохимиялық процестердің жоғары селективтілігі, шикізаттың әр түрін қайта өңдеу мүмкіндігі, негізгі жабдықтың шағын өлшемдері, толық автоматтандыру мүмкіндігі, күл, күкірт және азот оксидтері мен басқа да зиянды заттардың қоршаған ортаға шығарылуының болмауы қатты отынды (тас және қоңыр көмір, тақтатас, шымтезек) қайта өңдеудің бұл әдісін өте перспективалы етеді.

Синтез-газ (синтез газ, оның ішінде энергетикалық газ) алу арқылы көмірді плазмалық газдандырудың жоғары температуралық процесі - бұл күрделі гетерогенді физика-химиялық процесс, онда көміртегі мен оның қосылыстарының газдандырушы реагенттермен (оттегі, су буы және т.б.) бірқатар химиялық өзара әрекеттесуі жүзеге асырылады. Плазмалық газдандыру плазма түзетін газдың диссоциациясы кезінде радикалдар мен иондардың пайда болуымен сипатталады, бұл көлем бірлігінде энергияның жоғары концентрациясы кезінде физика-химиялық процестердің жоғары жылдамдығын тудырады [14].

Қатты отын бөлшектері бар екі фазалы плазмалық газ жүйелеріндегі химиялық түрлендірулер өте күрделі және әр түрлі реакцияларды қамтиды: ұшпа өнімдерді шығарумен қатты отынның деструкциясы, шығарылған өнімдердің «газ - қатты дене» түріндегі газ фазалық реакциясы. Көмірді плазмохимиялық газдандыру өнеркәсіптік қолдану үшін орынды, ол метанол өндіру үшін экологиялық таза отын мен шикізат алуға мүмкіндік береді.

Көмірді қайта өңдеудің газ тәріздес өнімдерін ғана емес, сонымен бірге қатты қалдықты да ұтымды пайдаланса, плазманы газдандырудың экономикалық тиімділігін айтарлықтай арттыруға болады. Мысалы, оны резеңке бұйымдарға толтырғыш ретінде пайдалану мүмкіндігі, ауыз суды тазартуға арналған адсорбент немесе оның негізінде ферросилиций, карбосилиций, техникалық кремний және т. б. сияқты құнды материалдарды алу мүмкіндігі.

Қазіргі уақытта көмірді газдандырудың бірнеше ондаған технологиялары бар. Әрқайсысы процестің температуралық режимі (1000-нан 2000 градусқа дейін), қысым, тотығу (ауа, оттегі, су буы), реакторлардың құрылымдық шешімдері, шикізатты дайындаумен (көмір, көмір эмульсиясы, шаң тәрізді көмір және т. б.) ерекшеленеді. [15, 14, 16, 17].

Тәжірбие нәтижесінде құрамында көміртегі тотығы (CO), сутегі, азот, метан, көмірқышқыл газы көп немесе аз болатын газ алу мүмкіндігі бар. Тиісінше, бұл өнімдерді химия өнеркәсібінде немесе жылу мен электр энергиясын өндіру үшін пайдалануға болады.

Газдандыру үшін әдеттегі қазандық қондырғыларында пайдалануға тиімсіз, құрамында күкірт мөлшері жоғары төмен сапалы көмірлерді пайдалануға болады. Соған қарамастан, бұл технологияның бірқатар кемшіліктері бар. Бұл технологияны 60-80 жылдары іс жүзінде қолдануды тоқтатқан. Біріншіден, оның калориялық мәні бойынша синтез-газ табиғи газдан кем дегенде екі есе төмен. Екіншіден, көмірден құнды өнімдерді алу үшін өте күрделі және қымбат технологияларды қолдану қажет.

Техникалық нәтижеге қол жеткізу үшін қазандық агрегаттарын майсыз жағу әдісі алаудың жануын тұрақтандыру және жанатын отынды дайындау арқылы жүзеге асырылады. Пайдалы модельге сәйкес қосымша жағу құрылғысында жылыту жолымен және оттегісіз көмірден алынатын жанғыш ұшпа заттар жағу отыны болып табылады,

бұл ретте бөлінген жанғыш ұшпалы заттар тікелей қазандыққа желдеткішпен (компрессормен) беріледі, ал тұтатқаннан кейін белгілі бір қысым кезінде одан әрі жинақталуы мүмкін алаудың жануын сақтау үшін қолданылатын газ қоймасы - рессиверге жіберіледі.

Эксперименттік зерттеулердің әдістемесі

Зерттеудің мақсаты: ұсынылған қондырғыда қатты отынды газдандыру арқылы алынған газды тұтандыру үшін қолданылатын мазутпен алмастыру және бұл қондырғы Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университетінің «Жылуэнергетикалық қондырғылар» кафедрасының зертханалық стенд ретінде оқу процесіне енгізу жұмыстарын қарастыру.

Ғылыми зерттеудің жаңалығы келесідей:

- қазандық агрегаттарын мазутсыз, көмірді термоөңдеу кезінде алынатын ұшпа жанғыш заттармен жағу тәсілі әзірленді және патентпен қорғалды;
- қазандық агрегаттарын сығылған табиғи газбен жағу тәсілі әзірленді, патентке өтінім берілді;
- мазутсыз жағу технологиясында пайдалану мүмкіндігіне қазақстандық көмірдің үш түрі эксперименттік зерттелді;
- көмірден ұшпа жанғыш заттардың шығуының температураға, қыздыру уақыты мен жылдамдығына тәуелділігі туралы эксперименттік деректер алынды;
- қажетті жану жылуы бар ұшпа жанғыш заттарды алу үшін көмірді қыздыру температурасының оңтайлы, энергетикалық және экономикалық тұрғыдан неғұрлым қолайлы диапазоны айқындалды.

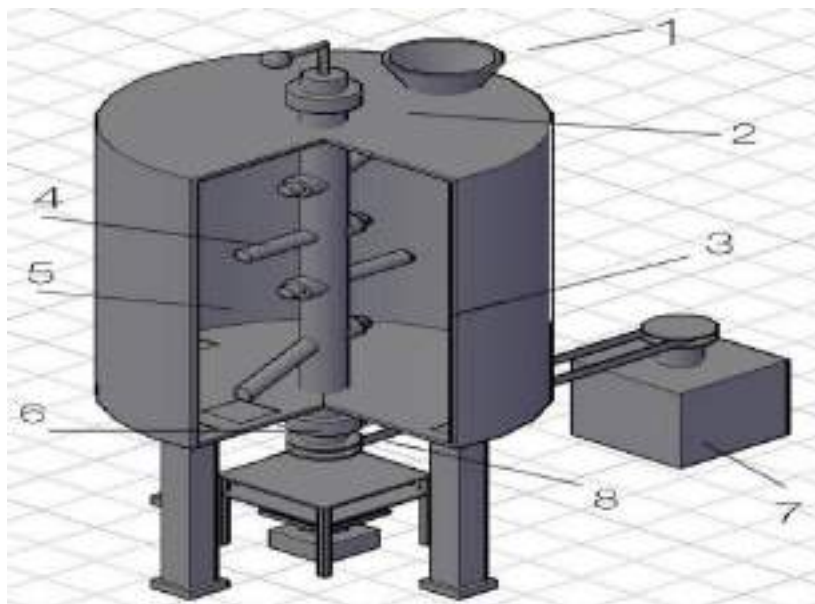
Зерттеу міндеттері:

- көмір тозаңды қазандық агрегаттарын мазутты мазутсыз жағудың қолданыстағы әдістеріне талдау жүргізу.
- сығылған және сұйытылған табиғи газбен жануды салыстырмалы талдау жүргізу.
- қолда бар артықшылықтарды ескере отырып, сығылған табиғи газды жағу технологиясын жасау.
- көмірден алынатын ұшпа жанғыш заттармен мазутсыз жағу технологиясын әзірлеу.
- қазақстандық көмірдің үш түріне мазутсыз жағу технологиясында қолданылатын ұшпа жанғыш заттарды алу мүмкіндігіне эксперименттік зерттеу жүргізу:
- ұшпа жанғыш заттардың шығуының көмірдің температурасына, жылдамдығына және қыздыру уақытына тәуелділігін алу.
- көмірді жылыту нәтижесінде алынған жанғыш газдың жану құрамы мен жылуын анықау.

– алынған тәуелділіктерге сүйене отырып, көмірді қыздырудың энергетикалық және экономикалық тұрғыдан ең қолайлы температурасын анықтау.

Ұсынылған қондырғының сипаттамасы

Қатты отыннан бөлінетін жанғыш газдарды зерттеу және анықтау үшін жалпы көрінісі 2-суретте көрсетілген желдетілмеген диірменге ұқсас қондырғы ұсынылады.



2-сурет. Тәжірибе қондырғысының сұлбасы

Қондырғы сипаттамасы:

1-тиев люгі

2,6-ыстыққа төзімді подшипниктер

3-құбырлы электржылытқыштар (ТЭН)

4-түрлі градустарда орнатылған цилиндрлі ұстағыштар

5-бункер

7-электрқозғалтқышы

8-ішкі қозғалыс білігі

Қатты отыннан бөлінетін жанғыш газдарды анықтау үшін жасалған қондырғыда эксперимент жүргізу кезінде бөлшектердің температурасы бірдей болуы маңызды. Атап айтқанда, белгілі бір уақыт өткеннен кейін қатты отыннан бөлінген жанғыш газдарды бөліп, оны газдағышпен анықтау. Отын бөлшектерінің өзара қозғалыс жылдамдығы мен температурасын қадағалау зерттеу параметрлерінің бірі болып табылады.

Газдандыру қондырғысы бойынша көптеген зерттеулер мен ғылыми жұмыстармен танысып, бұл қондырғының басқа газдандыру қондырғыларынан айырмашылығы - зерттелген көмірдің көлемі бір уақытта қызып, электр қуаты мен тәжірибе уақытын үнемдейтініне көз жеткіздік.

Газдандыру бойынша тәжірибелер жүргізу үшін қондырғыны герметикалық және 600⁰С жоғары қыздыру мүмкіндігімен жасау қажет және отын бөлшектері газдандыру барысында бір орында тұрмай, айналып, үнемі қозғалыста тұру керек. Қондырғыға қолданылатын метал түрі: Болат 20 және Х12МФ.

Тәжірибе нәтижелері. Осы қондырғыда М.Б. Сатымғалиева 4 курс оқып жүргенде ғылыми-зерттеу жұмысын жүргізіп, студенттің ғылыми-зерттеу жұмысы СҒЗЖ-2022 Республикалық конкурсына жіберілді және аталған студент Қазақстан ЖОО студенттері арасында үздік жұмыс үшін "Қатты отыннан жанғыш газдардың бөлінуін зерттеу" тақырыбы бойынша І дәрежелі министрлік дипломымен мадақталды. Енді осы жұмысты одан әрмен жалғастырып, терең зерттеу үстіндеміз. Қондырғы бойынша патент және енгізу актісін алу көзделуде. Осыған дейінгі зерттеулер алғаш құрастырылған қондырғымен жасалған болатын [5], біраз кемшіліктер тудырған соң қайта өңдеп жаңашаланған осы қондырғыны ұсынып отырмыз. Нақты нәтижелерге қол жеткізу үшін көптеген зерттеулер жүргізетін боламыз.

Қорытынды

Қорытындылай келе, ұсынылып отырған қондырғы отынды газдандыруға арналған тиімді және арзан технология болмақ. Қондырғы өз кезегінде энергияны үнемдеп, одан алынған жанғыш газ станцияда мазутты алмастырады деп қарастырылады, сонымен бірге мазутты пайдалану барысындағы барлық қиындықтар алынып тасталынады. Шын мәнінде, станция бір отынға айналады, ал станцияда қолданылатын көмір негізгі және жанғыш отын болады. Егер көмірдің жылу техникалық сипаттамалары сәйкес келмесе жанғыш газдарды алу үшін станцияға ұшпа заттары жоғары басқа көмір түрлерін әкелуге болады деген болжам жасап отырмыз.

Нәтижесінде, бұл қондырғы зертханалық жағдайда сенімді нәтиже алуға мүмкіндік береді.

Пайдаланылған әдебиеттер

- [1] Мировая электроэнергетика 1994 №2
- [2] Чокин Ш.Ч., Сартаев Т.С. Шкрет А.Ф. Энергетика и электрификация Казахстана, т.1. Алматы, Наука, 1985 257 с
- [3] Әкімбек Г.Ә. Сусымалы заттарының абразиялығын зерттеу әдісі мен эксперименттік қондырғы ұсыну.
- [4] Алияров Б.К., Мерғалимова А.К. О преимуществах использования газа для растопки котлоагрегатов. Материалы 1 международной научно-практической конференции «Современные тенденции котлостроения», Барнаул, 2017

- [5] Г.Ә. Әкімбек, М.Б. Сатымғалиева, Б.К. Алияров, Б.Б. Бахтияр. Исследование выделения горючих газов из твердого топлива. Том 121 № 2 (2022): Вестник КазАТК
- [6] Лебедев Б.П., Файбисович Д.Л. Электроэнергетика мира в 1995 году // Электрические станции. 1998. - №8. – С.65-70
- [7] Бабий В.И., Куваев Ю.В. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с
- [8] Сакипов З.Б., Мессерле В.Е., Ибраев Ш.Ш. Электротермохимическая подготовка углей к сжиганию. Алма-Ата: Наука. КазССР, 1993. – 259 с
- [9] Смирнов Е.К. Слив высоковязких грузов из железнодорожных цистерн. –М.: Трансжелдориздат, 1949. 151 с
- [10] Рябов В.Д. Химия нефти и газа – М.: Техника, 2004. – 228 с
- [11] Эрих В.Н., Расина М.Г., Рудин М.Г. Химия и технология нефти и газа. – Л.: Наука, 1985
- [12] Папок К.К., Семенидо Е.Г. Моторные топлива, масла и жидкости. М.: Гостоптехиздат, 1957
- [13] Геллер З.И. Мазут как топливо. М.: Недра, 1965
- [14] Vladimir E. Messerle and Alexandr B. Ustimenko. Plasma Gasification of Coal with the Extraction of Valuable Components of the Mineral Mass. Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies, 2016, 9 (8), 1311-1313
- [15] Dexiang Zhang. Thermal Decomposition of Coal. COAL, OIL SHALE, NATURAL BITUMEN, HEAVY OIL AND PEAT – Vol. I
- [16] YulongZhaoaShixueWang. Analysis of thermoelectric generation characteristics of flue gas waste heat from natural gas boiler, Energy Conversion and Management 148, 2017 (820-829)
- [17] D. Reid, J.E. Cabe, M.D. Bearden. PNNL Coal Gasification Research. Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington, July 2010

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Сафаров¹ И.М., Баймурзин² А.Х.

^{1,2} ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет», г. Казань, Россия

¹ildarsafarov@mail.ru, ²albertkhamitovich@gmail.com

Аннотация. Эффективность работы систем контроля теплоснабжения в системе ЖКХ на сегодняшний день является ключевой задачей. В статье представлена автоматизированная комплексная система управления и контроля температуры горячего водоснабжения в рамках программы энергосберегающих технологий. Устройство системы представляет из себя симбиоз промышленных контроллеров с интерфейсом Ethernet 100 Base-T, RS-232 и RS-485 и программного обеспечения, реализованного на архитектуре CoDeSys.

Ключевые слова: Система контроля, энергоснабжение, параметры теплоносителя, промышленный ПЛК, программное обеспечение.

HOT WATER TEMPERATURE KEEPING SYSTEM

Safarov¹ I.M., Baimurzin² A.K.

^{1,2} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

¹ildarsafarov@mail.ru, ²albertkhamitovich@gmail.com

Annotation. The efficiency of heat supply control systems in the housing and communal services system is a key task today. The article presents an automated integrated system for controlling and monitoring the temperature of hot water supply within the framework of the energy-saving technologies program. The device of the system is a symbiosis of industrial controllers with Ethernet 100 Base-T, RS-232 and RS-485 interfaces and software implemented on the CoDeSys architecture.

Key words: Control system, power supply, coolant parameters, industrial PLC, software

Введение

Системы автоматического управления с каждым годом занимают все больше места в различных сферах человеческой жизни. Они позволяют оптимизировать решение множества насущных задач. В данной работе, для решения задачи оптимизации контро-

ля теплоснабжения в системе ЖКХ, была разработана автоматизированная система контроля и управления параметрами теплоносителя в системе горячего водоснабжения. Основу предложенного решения составляют промышленные логические контроллеры со встроенным интерфейсом Ethernet 100 Base-T, RS-232 и RS-485, а также программное обеспечение, разработанное посредством инструментального программного комплекса промышленной автоматизации - CoDeSys.

Основная часть

В настоящее время автоматические системы управления задействованы в самых разнообразных сферах народного хозяйства, способствуя решению широкого спектра производственных задач. Особенно это актуально для автоматического поддержания температуры горячего водоснабжения, обратной воды в системах приточной вентиляции, а также для регулирования температуры теплоносителя в центральных или блочных тепловых пунктах.

Существует множество различных технических решений для каждой из вышеупомянутых систем, которое позволяет изменять значения транспортируемой рабочей среды. Одним из таких решений являются аналоговые системы автоматического управления запорно-регулирующим клапаном (КЗР).

В таких системах коэффициенты регулирования исполнительного механизма зависят от производителя исполнительного механизма, от датчика, что делает систему неразделимой и далеко не универсальной. Следует также отметить, что не все такие системы имеют возможность дистанционного управления и требуют для этих целей использование множества преобразующих блоков на разных участках цепи, усложняя тем самым структуру системы.

Одним из наиболее универсальных решений данной задачи является использование пропорционально-интегрально-дифференцирующего-регулятора (далее ПИД-регулятор) для управления КЗР с электроприводом и дискретным управлением (рис. 1).

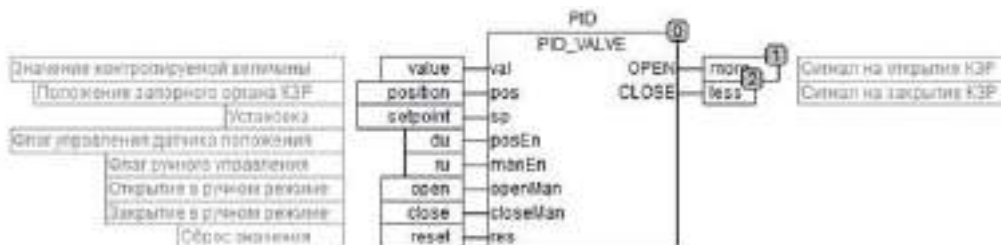


Рис.1.ПИД-регулятор для управления КЗР

Данное решение является актуальным, ввиду того, что система универсальна и позволяет удаленно контролировать и изменять значение установки контролируемой величины, в частности, температуры, кроме того, при наладке ПИД-регулятора, си-

система позволит дистанционно изменять его коэффициенты. Есть возможность интегрировать систему в уже существующие устаревшие КЗР без датчиков положения штока, посредством изменения программы или путем добавления в старую систему нового программируемого логического контроллера с данным решением, что позволит значительно сэкономить время и ресурсы на переустановку системы. Быстрое и качественное регулирование процесса за счет ПИД-блока так же является преимуществом данного решения.

Для представления полной визуализации, был смоделирован процесс регулирования горячего водоснабжения (ГВС) центрального теплового пункта, где вход VAL ПИД-регулятора получает значения, снятые с датчика температуры циркулирующей цепи (рис.2).

Величина постоянной температуры составляет 63 С°. Чтобы подобрать постоянную интегрирования, коэффициент пропорциональности и постоянную дифференцирования PID блока , необходимо воспользоваться эмпирическим методом.

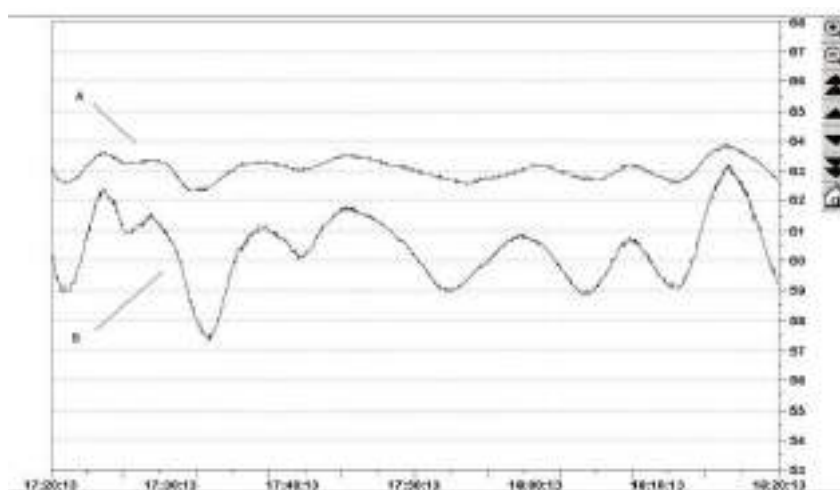


Рис. 2. поддержания температуры в среде CoDeSys 2.4

Дискретность отсчета $d=200$ мс.

A – значения, снятые с датчика температуры ГВС. B – входные значения, снятые с датчика температуры циркулирующей цепи.

Таблица 1

Приблизительные расходы на модернизацию системы

КЗР не меняется			КЗР заменяется		
Требуемые ресурсы	Кол-во раб. ед. (ч.)	Оплата раб. вр. (руб.)	Требуемые ресурсы	Кол-во раб. ед. (ч.)	Оплата раб. вр. (руб.)

Инженер	3	700	Проектировщик	3	700
			Конструктор	3	700
			Слесарь	6	1 500
			КЗР		25 000
			Логистика	3	700
			Бухгалтерия	3	700
Итог					
		700			29 300

Чтобы рассчитать размер оплаты труда персонала, участвующего в модернизации, необходимо использовать следующую формулу:

$$\frac{C_{ЗП}}{C_{РЧМ}} K_{СН} K_{ДЗ} \quad (1)$$

где $C_{ЗП}$ – средняя заработная плата в республике Татарстан (44 965 руб.);
 $C_{РЧМ}$ – среднее число рабочих часов в одном месяце; $K_{СН}$ – коэффициент отчислений на социальные нужды; $K_{ДЗ}$ – дополнительная заработная плата.

Выводы

В заключение можно сказать, что предложенная система значительно сократит персонал на обслуживание одного объекта, а также повысится уровень контроля и сокращения времени доступа к данным.

Источники

[1] Русяева Е. Ю, Салтыков С. А. Концептуальные основы теории активных систем, их развитие в теории управления организационными системами: тенденции и перспективы // Проблемы управления. 2017. №4. <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-teorii-aktivnyh-sistem-ih-razvitie-v-teorii-upravleniya-organizatsionnymi-sistemami-tendentsii-i-perspektivy>

[2] Мозжечков В. А., Савин А. С. Компьютерное моделирование электроприводов трубопроводной арматуры // Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. №5-1. <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-modelirovanie-elektroprivodov-truboprovodnoy-armatury>

[3] Гапоненко С. О. Метод повышения эффективности тепловой изоляции трубопроводов / С. О. Гапоненко, Р. А. Фазлиев, М. В. Калинина // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 142-147

[4] Софиева Ю. Н., Абрамов К.В. Применение пакета моделирующих программ ChemCAD в учебнотренировочных комплексах для изучения систем автоматизации ректификационных установок // ИВД. 2012. №1.

[5] Мозжечков В. А., Холматов А. З. Автоматическое управление моментом силы уплотнения электроприводной трубопроводной арматуры // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. №9. <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomaticheskoe-upravlenie-momentom-sily-uplotneniya-elektroprivodnoy-truboprovodnoy-armatury>

[6] Кнауб, В. В. Преимущества и проблемы развития автоматизации технологических процессов / В. В. Кнауб // Студенческий форум. – 2021. – № 4-1(140). – С. 53-55.

[7] Зверева Э. Р. Исследование механизма влияния многофункциональной присадки к котельному топливу / Э. Р. Зверева, В. П. Плотникова, Г. Г. Сафина [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 89-99.

[8] Калайтанов, В. В. CoDeSys - инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации / В. В. Калайтанов // Young Science. – 2014. – Т. 1. – № 3. – С. 7-9.

[9] Сафин, И. Н. Визуализация и программирование в codesys на примере терморегулятора / И. Н. Сафин, К. С. Семенова, Л. Ф. Хуснутдинова // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии : материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, приуроченной к 60-летию высшего нефтегазового образования в Республике Татарстан, Альметьевск, 26–29 сентября 2016 года / Альметьевский государственный нефтяной институт. – Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2016. – С. 182-183.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНОВКИ ПОРИСТЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПРОДУВКЕ ВОЗДУХОМ

Соловьева Ольга Викторовна ¹, Соловьев Сергей Анатольевич ², Мурзаев Александр Сергеевич ³, Шакурова Розалина Зуфаровна ⁴, Гилязов Альберт Ильдарович ⁵, Голубев Ярослав Павлович ⁶

^{1,2,3,4,5,6}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

¹*solovyeva.ov@kgeu.ru*, ²*solovev.sa@kgeu.ru*, ³*shakurova.rz@gmail.com*, ⁴*erodonov@list.ru*,
⁵*keni82590@gmail.com*, ⁶*yar.8991@mail.ru*

Аннотация. Фильтрация через пористые и волокнистые фильтры различных материалов является одним из самых распространенных способов очистки газов. В работе проведены экспериментальные исследования перепада давления в пористых фильтрах с различной пористостью ($\varepsilon=0,75$ и $\varepsilon=0,58$). Воздушные фильтры в количестве от 2 до 5 штук располагались в канале последовательно, слитно или дискретно, в последнем случае расстояние между фильтрами равнялось высоте фильтра (1 см) и оставалось неизменным. Исследования проводились при следующих скоростях воздушного потока: 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 м/с. Результаты исследований показали, что при дискретном расположении фильтров перепад давления снижается относительно слитного расположения. Эта разница увеличивается при повышении скорости воздушного потока и увеличения количества фильтров. При увеличении пористости фильтра отличие между перепадами давления при дискретном и слитном расположениях фильтра уменьшается.

Ключевые слова: фильтр, пористость, дискретное расположение, перепад давления, фильтрация.

STUDY OF THE INFLUENCE OF POROUS FILTERS LAYOUT ON PRESSURE DROP DURING AIR BLOWING

Soloveva Olga Viktorovna ¹, Solovev Sergey Anatolievich ², Murzaev Alexander Sergeevich ³,
Shakurova Rozalina Zufarovna ⁴, Gilyazov Albert Ildarovich ⁵, Golubev Yaroslav Pavlovich ⁶

^{1,2,3,4,5,6} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan

¹*solovyeva.ov@kgeu.ru*, ²*solovev.sa@kgeu.ru*, ³*shakurova.rz@gmail.com*, ⁴*erodonov@list.ru*,
⁵*keni82590@gmail.com*, ⁶*yar.8991@mail.ru*

Annotation. Filtration through porous and fibrous filters of various materials is one of the most common methods of gas purification. We carried out the experimental studies of

the pressure drop in porous filters with different porosities ($\varepsilon=0.75$ and $\varepsilon=0.58$). Air filters in the amount of 2 to 5 pieces were located in the channel sequentially, continuous or discretely, in the latter case, the distance between the filters was equal to the height of the filter (1 cm) and remained unchanged. The studies were carried out at the following air flow rates: 0.25; 0.5; 0.75; 1; 1.25 m/s. The results of the research showed that with a discrete arrangement of filters, the pressure drop decreases relative to the continuous arrangement. This difference increases as the airflow rate increases and the number of filters increases. With an increase in the porosity of the filter, the difference between the pressure drops at discrete and continuous arrangements of the filter decreases.

Key words: filter, porosity, discrete arrangement, pressure drop, filtration.

Введение

Волокнистые фильтры нашли широкое применение при очистке воздуха, промышленных газов и аэрозолей [1,2]. Такие фильтры представляют собой набор волокон, ориентированных в основном поперек движению потока газа. Основными характеристиками фильтров являются эффективность улавливания и перепад давления, создаваемый фильтром [3-5]. Для повышения эффективности фильтрации, как правило, увеличивают плотность фильтра, что ведет и к повышению перепада давления, а значит и мощности, необходимой для прокачки потока газа через фильтр. Чем большее сопротивление потоку создает фильтр, тем ниже его энергоэффективность. Таким образом, перед исследователями встает проблема оптимизации структуры фильтра таким образом, чтобы повысить эффективность улавливания частиц и сохранить низкий перепад давления.

Одним из способов повышения эффективности фильтрации является оптимизация расположения волокон, изменение диаметра волокна и плотности упаковки. Ориентация волокон является важной характеристикой, влияющей на перепад давления. В случае, когда волокна ориентированы поперек потока, создается максимальный перепад давления, в случае ориентации по направлению потока – минимальный. В реальных моделях фильтров волокна, как правило, расположены под разными углами к потоку, что обеспечивает высокую эффективность улавливания частиц и относительно небольшой перепад давления [6]. Помимо структурных параметров фильтра на эффективность фильтрации и перепад давления влияют размер твердых частиц, а также условия эксплуатации (температура потока, скорость фильтрации, влажность). Исследованием характеристик фильтрации под влиянием вышеперечисленных параметров занимались многие исследователи [7-12].

Сао и др. [13,14] провели численные многопараметрические исследования эффективности фильтрации и перепада давления в волокнистом фильтре при различных диаметрах волокна (от 15 до 20 мкм), скоростях потока воздуха (0,1; 0,3 м/с) и диаметрах твердых фильтруемых частиц (от 0,1 до 0,9 мкм). Результаты

исследований показали, что повышение диаметра частиц и скорости потока воздуха приводит к увеличению эффективности фильтрации и перепада давления. В свою очередь, увеличение диаметра волокна привело к снижению эффективности фильтрации на 5-10%, но не оказало существенного влияния на перепад давления.

Суо и др. [15] разработали волокнистый фильтр из муллитовой керамики и исследовали эффективность улавливания частиц пыли и перепад давления. Разработанный фильтр имеет высокую пористость (73%) и низкую плотность (0,64 г/см³). Фильтр показал высокую эффективность улавливания крупных частиц пыли (от 3 до 10 мкм) – 97%. Для частиц меньшего размера, 1 и 0,5 мкм, эффективность улавливания составила 87% и 82% соответственно. Авторы провели исследования на довольно низкой скорости потока – 1,25 м/мин, перепад давления на такой скорости составил менее 100 Па. Необходимо проводить дальнейшие исследования эффективности улавливания и перепада давления при больших скоростях воздушного потока.

Thomas и др. [16] разработали модель для прогнозирования перепада давления и эффективности фильтрации в нетканых фильтрах. Авторы исследовали как меняются характеристики фильтрации по мере загрузки фильтра. Результаты исследований показали, что по мере загрузки фильтра перепад давления увеличивается. Эффективность фильтрации растет по мере загрузки фильтра до достижения определенной собранной массы частиц (1 г/м²), после эффективности фильтрации остается неизменной из-за образования слоя частиц (корки) на поверхности фильтра.

Zhou и др. [17] численно исследовали характеристики фильтрации в волокнистом фильтре из стекловолокна в условиях синусоидального потока. Авторы выяснили, что увеличение скорости потока приводит к увеличению перепада давления. Исследования эффективности фильтрации показали интересные результаты: при увеличении размеров частиц пыли от 0,01 до 0,1 мкм эффективность фильтрации уменьшается от 100% до 40% и продолжает снижаться. При увеличении размера частиц до 1 мкм и выше эффективность фильтрации снова начинает возрастать. Такое поведение связано с тем, что воздушный поток движется синусоидально.

Анализ литературы по теме исследования показал, что ученые изучали влияние структуры фильтра, скорости потока и размера твердых частиц на эффективность улавливания и перепад давления. Целью нашего исследования является определение влияния компоновки пористых фильтров на перепад давления при продувке воздушным потоком.

Материалы и методы

В исследовании использовались волокнистые фильтры с пористостью $\varepsilon=0,58$ и $\varepsilon=0,75$. Фотографии фильтров представлены на рисунке 1.

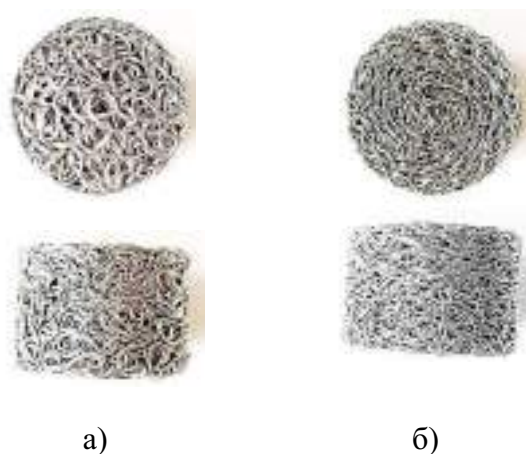


Рис.1. Исследуемые образцы фильтров: (а) фильтр со значением пористости $\epsilon=0,58$; (б) фильтр со значением пористости $\epsilon=0,75$.

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 2.

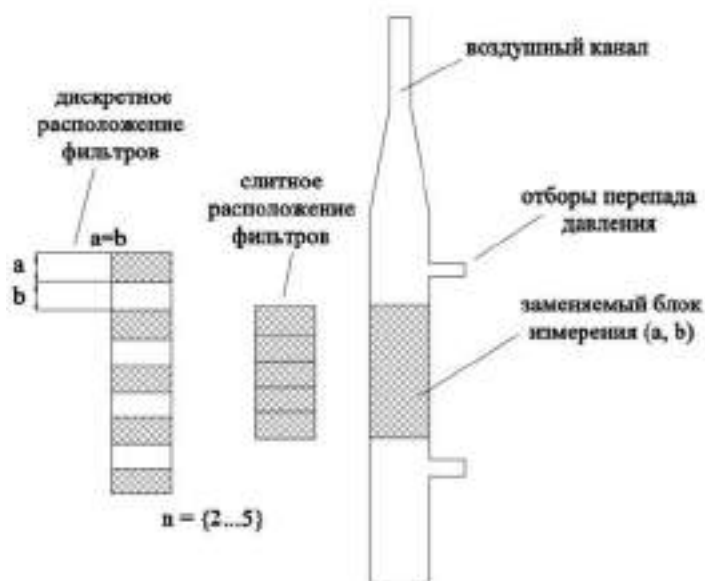


Рис. 2. Схема экспериментальной установки в случае дискретного и слитного расположения фильтров.

Экспериментальные исследования проводились при различных расположениях вставок (слитное или дискретное). Подача воздуха канал осуществлялась с помощью компрессора, скорость воздушного потока измерялась ротаметром. Исследования проводились при следующих скоростях потока: $v = 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25$ м/с. На каждой скорости проводилось по 5 измерений, результаты усреднялись. Количество пористых вставок варьировалось от 2 до 5. При слитном расположении пористые

фильтры располагались последовательно, без расстояния между ними. При дискретном расположении фильтры располагались также последовательно, но на фиксированном расстоянии друг от друга (1 см), равном толщине фильтра.

Результаты и обсуждения

В процессе исследований измерялось давление в канале до пористого фильтра и после него. Измерения перепада давления проводились с помощью дифманометра Testo 510i. Результаты измерений для фильтров с пористостью $\varepsilon=0,75$ представлены на рисунке 3. Сплошными линиями представлены результаты для слитного расположения фильтров, штриховыми – для дискретного расположения.

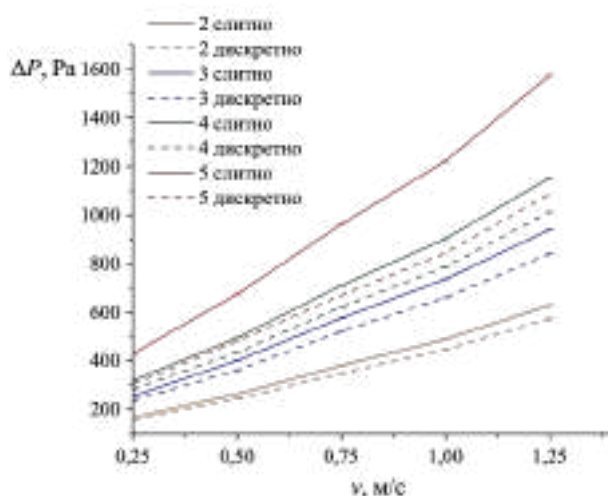


Рис. 3. Изменение перепада давления от скорости потока для фильтров с пористостью $\varepsilon=0,75$.

При дискретном расположении фильтры показывают меньший перепад давления, чем в случае слитного расположения, и это различие увеличивается с повышением скорости потока воздуха. Такое поведение наблюдается для всех исследованных диапазонов количества вставок и на всех скоростях потока воздуха. Например, при скорости потока воздуха $v=0,25$ м/с для случая двух фильтров разница между перепадами давления при дискретном и слитном расположениях составила 9,6 Па. При скорости $v=1,25$ м/с было получено наибольшее отличие в перепадах давления для слитного и дискретного расположения фильтров – 366,6 Па. С увеличением количества фильтров в канале разница между перепадами давления в случаях слитного и дискретного расположений увеличивается. В таблице 1 представлены значения уменьшения перепада давления при дискретном расположении фильтров относительно слитного расположения, в процентах.

Таблица 1

Снижение перепада давления при дискретном расположении фильтров с пористостью $\varepsilon=0,75$ относительно слитного расположения, в процентах.

Количество фильтров	Скорость потока, м/с				
	0,25	0,5	0,75	1	1,25
2	5,8%	6,5%	8,4%	8,6%	8,8%
3	6,9%	10,0%	9,5%	10,4%	10,7%
4	11,1%	12,1%	12,5%	12,8%	13,2%
5	22,3%	28,7%	29,5%	30,9%	31,0%

Далее проанализируем результаты измерений фильтров с пористостью $\varepsilon=0,58$ (Рис.4). На графиках мы снова наблюдаем уменьшение перепада давления в случае дискретно расположенных фильтров. Например, рассмотрим случай с пятью фильтрами. При скорости 0,25 м/с разница в перепадах давлений в случае слитного и дискретного расположений составляет 299 Па. При скорости 1,25 м/с разница в перепадах давлений составила уже 911 Па. В целом, как и в случае с фильтром с пористостью $\varepsilon=0,75$, увеличение скорости приводит к увеличению разницы между перепадами давления при слитном и дискретном расположениях фильтров. Фильтры с меньшей пористостью ($\varepsilon=0,58$) показали бóльшее снижение перепада давления при дискретном расположении.

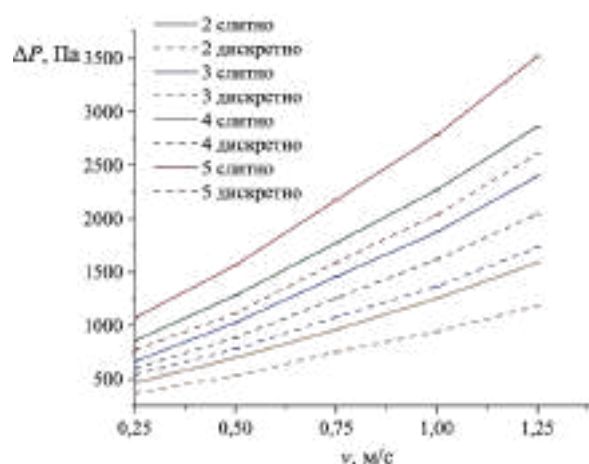


Рис. 4. Изменение перепада давления от скорости потока для фильтров с пористостью $\varepsilon=0,58$.

В таблице 2 приведены значения уменьшения перепада давления при дискретном расположении фильтров относительно слитного расположения, в процентах, для фильтра с пористостью $\varepsilon=0,58$. Анализ результатов, представленных в таблицах 1 и 2 показал, что уменьшение пористости фильтра приводит к большему снижению перепада давления при дискретном расположении фильтров относительно слитного расположения. Так, для фильтра с пористостью $\varepsilon=0,58$ в случае трех фильтров снижение перепада давления при дискретном расположении относительно слитного составляет 27,8 % при скорости потока 1,25 /с. При тех же условиях фильтр с пористостью $\varepsilon=0,75$ показал снижение перепада давления 10,7 %. При увеличении количества фильтров и скорости потока воздуха фильтры как с пористостью $\varepsilon=0,58$, так и с пористостью $\varepsilon=0,75$ показывают примерно близкие значения снижения перепада давления при дискретном расположении. Так, например, при количестве фильтров $n=5$ и скорости потока воздуха 1,25 м/с снижение перепада давления составило: для фильтров с пористостью $\varepsilon=0,58$ – 33,9%, для фильтров с пористостью $\varepsilon=0,75$ – 31%.

Таблица 2

Снижение перепада давления при дискретном расположении фильтров с пористостью $\varepsilon=0,58$ относительно слитного расположения, в процентах.

Количество фильтров	Скорость потока, м/с				
	0,25	0,5	0,75	1	1,25
2	20,8 %	21,8 %	22,1 %	24,6 %	25,6 %
3	22,8 %	24,2 %	26,0 %	27,0 %	27,8 %
4	28,6 %	29,3 %	29,8 %	29,9 %	30,7 %
5	30,2 %	31,2 %	31,9 %	32,8 %	33,9 %

Необходимо отметить, что экспериментальные исследования перепада давления при движении воздуха через пористые волокнистые фильтры показали уменьшение измеренного перепада давления для всех случаев дискретного расположения фильтров относительно слитного расположения. Такой эффект может быть связан с сильным турбулентным режимом течения воздуха между фильтрами в случае их дискретного расположения. В области приближения потока воздуха к первому фильтру можно считать, что молекулы газа в среднем движутся параллельно оси симметрии воздушного канала. На выходе из фильтра потоки воздуха не параллельны оси

симметрии канала, и для выравнивания общего потока требуется пройти некоторое расстояние. При дискретизации материала фильтры недостаточно далеко друг от друга расположены, и поток воздуха не успевает выровняться при движении между ними. Можно сделать вывод, что при небольших значениях пористости фильтра дискретизация с образованием ступенчатого движения воздуха способствует снижению общего сопротивления, несмотря на увеличение общей длины образца.

Выводы

Проведены экспериментальные исследования перепада давления при прохождении воздушного потока через волокнистые фильтры со значениями пористости $\varepsilon=0,75$ и $\varepsilon=0,58$. Исследования проводились для случаев слитного и дискретного расположения пористых фильтров, количество фильтров варьировалось от 2 до 5, скорости воздушного потока составляли: 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 м/с. Результаты исследований показали, что при дискретном расположении фильтров наблюдается меньший перепад давления, чем при слитном расположении. Отличие в перепаде давления при дискретном и слитном расположениях растет при увеличении скорости потока и количества фильтров. Пористость фильтра также оказывает влияние на сопротивление потоку: фильтры с большей пористостью $\varepsilon=0,75$ показали меньшие отличия в перепаде давления между дискретным и слитным расположением фильтров (при $n=2;3$). С увеличением количества фильтров ($n=4;5$) и скорости потока пористость материала уже не оказывает большого влияния на величину снижения перепада давления при дискретном расположении фильтров относительно слитного расположения.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>.

Источники

- [1] Chaudhuri J., Boettcher K., Ehrhard P. Pressure drop in fibrous filter—Representative domain size and effect of fibre orientation //Chemical Engineering Science. – 2021. – Т. 246. – С. 116865.
- [2] Bai H. et al. Theoretical model of single fiber efficiency and the effect of microstructure on fibrous filtration performance: A review //Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2020. – Т. 60. – №. 1. – С. 3-36.
- [3] Soloveva O. et al. Study of the Influence of Porous Structure on the Efficiency of Emulsion Separation in Wastewater Purification on Transport //Transportation Research Procedia. – 2022. – Т. 61. – С. 402-409.
- [4] Soloveva V. et al. Determination of the effective porosity of a single filter fiber //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2094. – №. 2. – С. 022075.

- [5] Soloveva O. V. et al. Experimental study of pressure drop in porous structures created on the basis of Kelvin cells //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2022. – T. 1076. – №. 1. – C. 012078.
- [6] Chaudhuri J. et al. Pressure drop in fibrous filters //European Journal of Mechanics-B/Fluids. – 2019. – T. 76. – C. 115-121.
- [7] Chernyakov A. L., Kirsh A. A. Pressure Drop and Aerosol-Particle-Collection Efficiency of Polydisperse Fibrous Filters //Colloid Journal. – 2018. – T. 80. – №. 3. – C. 331-338.
- [8] Abdolghader P. et al. Airborne nanoparticles filtration performance of fibrous media: A review //Science and Technology for the built Environment. – 2018. – T. 24. – №. 6. – C. 648-672.
- [9] Sadeghifar H. Maximizing the transport properties of two-dimensional fibrous materials //Materials Today Communications. – 2022. – T. 32. – C. 103897
- [10] Hsiao T. C. et al. Modeling of the Transitional Pressure Drop of Fibrous Filter Media Loaded with Oil-coated Particles //Aerosol and Air Quality Research. – 2019. – T. 19. – №. 7. – C. 1625-1635.
- [11] Sadeghifar H. An optimized microstructure to minimizing in-plane and through-plane pressure drops of fibrous materials: Counter-intuitive reduction of gas diffusion layer permeability with porosity //Journal of Power Sources. – 2018. – T. 385. – C. 100-113.
- [12] Zhang Y. et al. Prediction of flow characteristics in fibrous porous medium using a novel modeling algorithm and lattice Boltzmann method //Chemical Engineering Science. – 2020. – T. 221. – C. 115647.
- [13] Cao B. et al. Investigation of the filtration performance for fibrous media: Coupling of a semi-analytical model with CFD on Voronoi-based microstructure //Separation and Purification Technology. – 2020. – T. 251. – C. 117364.
- [14] Cao B. et al. Pressure drop model for fibrous media in depth filtration: Coupling simulation of microstructure and CFD porous media during dust loading //Building and Environment. – 2021. – T. 202. – C. 108015.
- [15] Cuo Z. et al. Highly porous fibrous mullite ceramic membrane with interconnected pores for high performance dust removal //Ceramics International. – 2018. – T. 44. – №. 10. – C. 11778-11782.
- [16] Thomas D. et al. Composite fibrous filters for nano-aerosol filtration: Pressure drop and efficiency model //Separation and Purification Technology. – 2019. – T. 215. – C. 557-564.
- [17] Zhou B. et al. Filtration performance of glass fibrous air filter media under sinusoidal flow condition //Building and Environment. – 2020. – T. 183. – C. 107182.
- [18] Соловьева О.В., Соловьев С.А., Зарипова Р.С., Тюрина М.М., Чупаев А.В. Численное моделирование движения газовзвеси в трубе с пористой границей / Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 4. С. 115-118.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТИПА И РАЗМЕРА ЯЧЕЕК ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ПЕН НА ВЕЛИЧИНУ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Соловьева Ольга Викторовна ¹, Соловьев Сергей Анатольевич ², Мурзаев Александр Сергеевич ³, Шакурова Розалина Зуфаровна ⁴, Гилязов Альберт Ильдарович ⁵, Голубев Ярослав Павлович ⁶

^{1,2,3,4,5,6}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

¹solovyeva.ov@kgeu.ru, ²solovev.sa@kgeu.ru, ³shakurova.rz@gmail.com, ⁴erodonov@list.ru,
⁵keni82590@gmail.com, ⁶yar.8991@mail.ru

Аннотация. Полиуретановые пены активно применяются для тепловой изоляции зданий и трубопроводов. Теплоизолирующие свойства материала определяются его теплопроводностью, которая, в свою очередь, зависит от морфологических параметров пены. Проведены экспериментальные исследования теплопроводности полиуретановых пен с различными типами ячеек (открытые, закрытые, смешанные) и их размерами. Задача исследования состояла в определении параметра (тип ячейки или размер), вносящего основной вклад в изменение теплопроводности пенополиуретана. Результаты исследований показали, что в случае близких размеров ячеек исследуемых образцов, пены с закрытыми ячейками обеспечивают меньший коэффициент теплопроводности. В случае, когда размеры ячеек образцов пен различны, пены с ячейками меньшего размера обеспечивают меньший коэффициент теплопроводности, независимо от типа ячейки.

Ключевые слова: пенополиуретан, теплопроводность, ячейка, открытая ячейка, закрытая ячейка, тепловая изоляция, тепловые потери.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE TYPE AND SYZE OF POLYURETHANE FOAM CELLS ON THE THERMAL CONDUCTIVITY VALUE

Soloveva Olga Viktorovna ¹, Solovev Sergey Anatolievich ², Murzaev Alexander Sergeevich ³, Shakurova Rozalina Zufarovna ⁴, Gilyazov Albert Ildarovich ⁵, Golubev Yaroslav Pavlovich ⁶

^{1,2,3,4,5,6} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan

¹solovyeva.ov@kgeu.ru, ²solovev.sa@kgeu.ru, ³shakurova.rz@gmail.com, ⁴erodonov@list.ru,
⁵keni82590@gmail.com, ⁶yar.8991@mail.ru

Annotation. *Polyurethane foams are actively used for thermal insulation of buildings and pipelines. The heat-insulating properties of the material are determined by its thermal conductivity, which, in turn, depends on the morphological parameters of the foam. Experimental studies of the thermal conductivity of polyurethane foams with different types (open, closed, mixed) cells and their sizes have been carried out. The task of the study was to determine the parameter (cell type or size) that makes the main contribution to the change in the thermal conductivity of polyurethane foam. The research results showed that in the case of similar cell sizes of the studied samples, closed-cell foams provide a lower thermal conductivity. In the case where the cell sizes of the foam samples are different, foams with smaller cells provide a lower coefficient of thermal conductivity, regardless of the type of cell.*

Key words: *polyurethane foam, thermal conductivity, cell, open cell, closed cell, thermal insulation, heat loss.*

Введение

В настоящее время около 75% производимой в мире электроэнергии получают путем сжигания ископаемого топлива (уголь, газ), что привело к масштабным экологическим проблемам. Возникла необходимость в сокращении потребления ископаемых ресурсов. Одним из направлений в решении этой проблемы является сокращение тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий и сооружений, а также при транспортировке теплоносителей по трубопроводам. Снижение тепловых потерь достигается путем применения теплоизоляционных материалов с низкой теплопроводностью, например: пенополиуретана, минеральной ваты, стекловаты, аэрогеля и т.д. [1,2]. Пенополиуретан (ППУ) получил наиболее широкое распространение ввиду невысокой стоимости производства, простоты монтажа, долговечности и низкой теплопроводности.

Пенополиуретан является пористым материалом, и его тепловые и гидравлические свойства могут изменяться в зависимости от таких параметров, как пористость, тип ячеек (закрытые, открытые, смешанные), размер ячеек и плотность пены [3-5]. Исследованием теплоизоляционных свойств пенополиуретана, а также влияния его морфологических параметров на теплопроводность занимались многие ученые [6-12]. Нермата и др. [6] провели численные исследования по определению теплопроводности полиуретановых пен с различными типами ячеек: открытые и закрытые. Результаты исследований показали, что при одинаковой объемной доле изменение типа ячеек приводит к изменению величины теплопроводности. Пена с закрытыми ячейками имеет меньшую теплопроводность, нежели пена с открытыми ячейками. Таким образом, доля открытых и закрытых ячеек в пене со смешанным типом ячеек оказывает значительное влияние на тепловые свойства. Sun и др. [7] провели численные исследования вынужденного конвективного теплообмена в пене в масштабе пор [8]. Авторы построили несколько моделей пористых сред с различными

значениями пористости (0,82, 0,87 и 0,9) и плотностей пор (10, 20, 40 PPI). Авторы исследовали влияние пористости и плотности пор на характеристики теплопередачи и пришли к выводу, что увеличение пористости пены и плотности пор приводит к улучшению теплопередачи. Skibinski и др. [9] провели численные исследования влияния размера пор на теплопроводность пен с открытыми ячейками. Модели пористых сред создавались с помощью тесселяции Лагерра-Вороного, а перенос тепла моделировался методом конечных элементов. Авторы пришли к выводу, что при неоднородном распределении пор по размерам наблюдается меньшая эффективная теплопроводность [10]. Таким образом, лучшую тепловую проводимость имеют пены с однородным распределением пор по размерам.

Zhang и др. [11] провели численные исследования влияния пористости на эффективную теплопроводность шести различных моделей пористых структур, построенных методом тесселяции Вороного. Результаты исследований показали, что по мере увеличения пористости теплопроводность материала снижается.

Kurańska и др. [12] экспериментально исследовали тепловые свойства полиуретановой пены с открытыми ячейками, модифицированной полиолом с различным содержанием. Результаты исследований показали, что добавление полиола приводит к образованию открытых ячеек меньшего диаметра, благодаря чему теплопроводность пены снижается.

Обзор литературы показал, что исследователями изучались вопросы влияния пористости, плотности пор и размеров ячеек на значение теплопроводности пены. Наша работа направлена на определение параметра, который в большей степени влияет на теплопроводность ППУ.

Материалы и методы

Исследования проводились на шести образцах полиуретановых пен, различающихся по типу ячеек (открытые, закрытые, смешанные) и их размеру. В таблице 1 приведены параметры исследованных образцов, на рисунке 1 приведены их фотографии.

Таблица 1

Параметры исследованных образцов полиуретановых пен

№	Название образца	Тип ячеек	Размер ячеек, мм
1	ППУ1	открытый	3,1
2	ППУ2	открытый	0,73
3	ППУ3	закрытый	6,3

4	ППУ4	смешанный	3,3
5	ППУ5	смешанный	3,4
6	ППУ6	смешанный, закрытые ячейки и открытые каналы	0,7 2,5

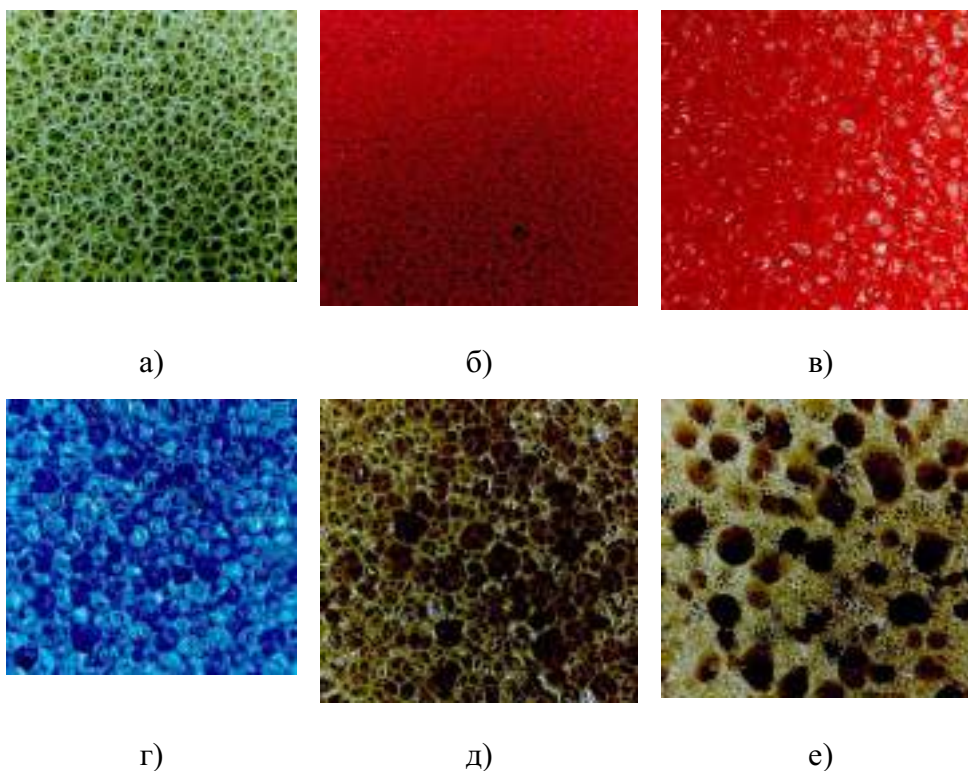


Рис. 1. Фотографии исследованных образцов полиуретановых губок: а) образец ППУ1; б) образец ППУ2; в) образец ППУ3; г) образец ППУ4; д) образец ППУ5; е) образец ППУ6.

На рисунке 2 представлена схема экспериментальной установки по измерению теплопроводности полиуретановых пен. На схеме позициями обозначены: 1 – индукционный нагреватель; 2 – алюминиевая плита; 3 – исследуемый образец пенополиуретана; 4 – тепловая изоляция; 5 – датчик плотности теплового потока; 6 – термопары; 7 – измеритель теплового потока; 8 – измеритель температуры.

Исследуемый образец (3) с трех сторон окружен изоляцией (4), при этом коэффициенты теплопроводности изоляции и исследуемого образца имели близкие значения. На образец сверху укладывалась алюминиевая пластина (2), обеспечивающая равномерный нагрев образца. На пластину, в свою очередь, устанавливался

индукционный нагреватель (1). Измерения проводились при следующих температурах нагревателя: 50, 100, 120, 150, 200, 220 и 240 °С. Одна из термопар (6) крепилась между алюминиевой пластиной и исследуемым образцом. Вторая термопара крепилась снизу, между образцом и теплоизоляцией. Таким образом, измерялась температура нагрева образца и температура поверхности пены с противоположной стороны. Датчик плотности теплового потока (5) устанавливался между образцом пены и изоляцией. Коэффициент теплопроводности образцов определяли с помощью закона Фурье.

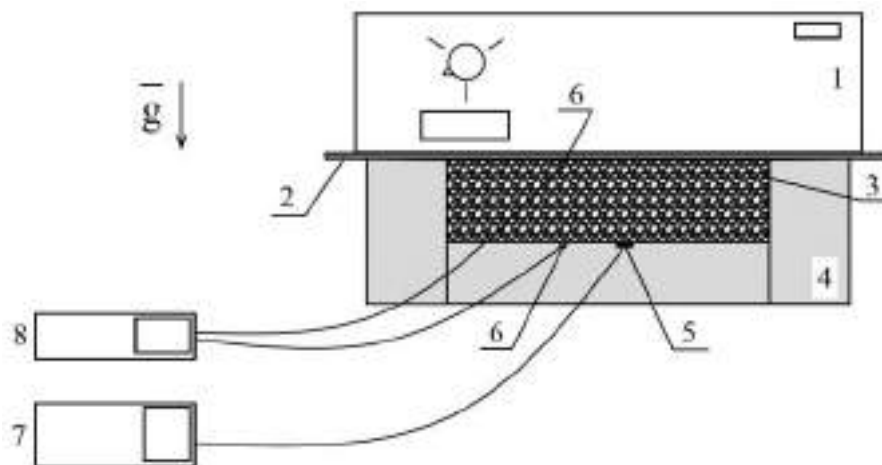


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для измерения теплопроводности полиуретановых пен.

Известно, что в пористых материалах передача тепла осуществляется: теплопроводностью матрицы, теплопроводностью газа внутри ячеек, конвективными потоками и излучением. Таким образом, общую теплопроводность полиуретановой пены можно записать как [13]:

$$\lambda_p = \lambda_m + \lambda_g + \lambda_c + \lambda_r \quad (1)$$

где λ_p – общая теплопроводность пены, λ_m – теплопроводность полиуретановой матрицы, λ_g – теплопроводность газа внутри ячеек, λ_c – передача тепла конвекцией, λ_r – передача тепла излучением. Величины теплопроводностей матрицы и газа внутри ячеек напрямую зависят от размера ячеек и плотности пены. Передача тепла конвекцией зависит от типа ячеек: открытые ячейки не препятствуют распространению конвективных потоков, в отличие от закрытых ячеек. Однако, из литературы [14] известно, что в случае, когда размер закрытых ячеек превышает 4 мм, внутри каждой закрытой ячейки возникают конвективные потоки, что приводит к интенсификации теплообмена и увеличению общей теплопроводности пены. В нашей работе исследуется пена с закрытыми ячейками (6,3 мм). Для исключения влияния конвекции

в открытых и закрытых ячейках, нагрев образцов пены осуществлялся сверху. Наконец, теплообмен излучением также зависит от размера ячейки. Из работы [15] известно, что увеличение размера ячейки приводит к росту передачи тепла излучением.

Результаты и обсуждения

Принято полагать, что в отличие от пен с открытыми ячейками, закрытые ячейки имеют меньшую теплопроводность, так как препятствуют распространению конвективных потоков. В нашем исследовании нагрев образцов ППУ осуществлялся сверху для того, чтобы исключить влияние конвекции. Такой способ измерения теплопроводности является традиционным. Результаты измерений представлены на рисунке 3.

Самые высокие значения теплопроводности (от 0,045 до 0,055 Вт/м·К) во всём исследованном диапазоне температур показал образец с закрытыми ячейками 6,3 мм (ППУ3), что можно объяснить большим вкладом теплопередачи излучением [15]. Пены с открытыми ячейками (ППУ1 и ППУ2) показали большое различие в теплопроводности: пена с более крупными ячейками (3,1 мм) показала высокие значения теплопроводности (от 0,044 до 0,050 Вт/м·К). Пена с маленькими ячейками (0,73 мм) показала самые низкие значения теплопроводности среди всех исследованных образцов пенополиуретана: от 0,028 до 0,030 Вт/м·К. Такие различия также объясняются большой разницей в размерах ячеек, и соответственно вклада излучения в общую теплопроводность.

Пены со смешанными ячейками (ППУ4, ППУ5, ППУ6) показали примерно близкие значения теплопроводности. Размер ячеек образца ППУ 5 (3,4 мм) немного превышает размеры образца ППУ4 (3,3 мм), что объясняет чуть более высокие значения теплопроводности образца ППУ5. Интересно отметить, что образец ППУ6, имеющий отличную от других пен морфологию, показал значения теплопроводности на том же уровне, что и другие образцы со смешанными ячейками. Несмотря на наличие маленьких закрытых ячеек (0,7 мм), данный образец показал неожиданно более высокие значения теплопроводности, что можно объяснить наличием крупных (2,5 мм) каналов, которые увеличивают вклад теплопроводности излучением [15].

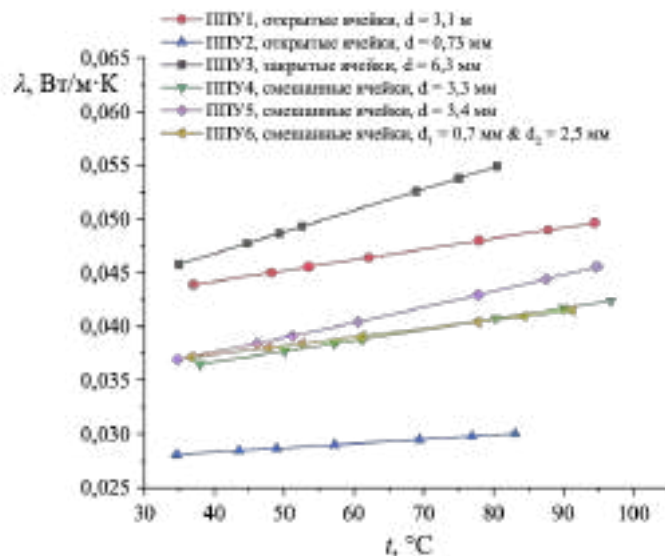


Рис.3. График теплопроводности образцов полиуретановых губок в зависимости от температуры.

На рисунке 4 приведена диаграмма эффективных теплопроводностей исследованных образцов полиуретановых пен при температуре $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Согласно диаграмме, наибольшие значения теплопроводности ($0,049\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) соответствуют образцу ППУ3 с закрытыми ячейками $6,3\text{ мм}$. Чуть меньшие значения ($0,045\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) показала пена с открытыми ячейками ППУ1, размеры которой составляют $3,1\text{ мм}$. Размеры ячеек пены ППУ3 более чем в 2 раза превышают размеры ячеек ППУ1, и несмотря на это мы наблюдаем совсем небольшие различия в значениях теплопроводности этих пен. Такое поведение можно объяснить различием в типах ячеек. Закрытые ячейки (Рис. 1, в) состоят из распорок, или по-другому струт, а также стенок, отделяющих одну ячейку от другой. Открытая ячейка образца ППУ1 состоит только из распорок (Рис. 1,а). В случае с закрытыми ячейками наличие стенок приводит к некоторому снижению теплопередачи излучением из-за того, что часть тепла поглощается материалом матрицы (стенками и распорками). В открытых ячейках излучение распространяется более свободно, при этом происходит незначительное поглощение тепла матрицей (распорками).

Наименьшие значения теплопроводности ($0,029\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) показал образец ППУ2 с открытыми ячейками размером $0,73\text{ мм}$, что объясняется низким вкладом излучения в общую теплопроводность.

Пены со смешанными ячейками (ППУ4, ППУ5, ППУ6) показали близкие значения теплопроводности $0,0377$; $0,039$ и $0,0382\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ соответственно, что объясняется близкими размерами ячеек.

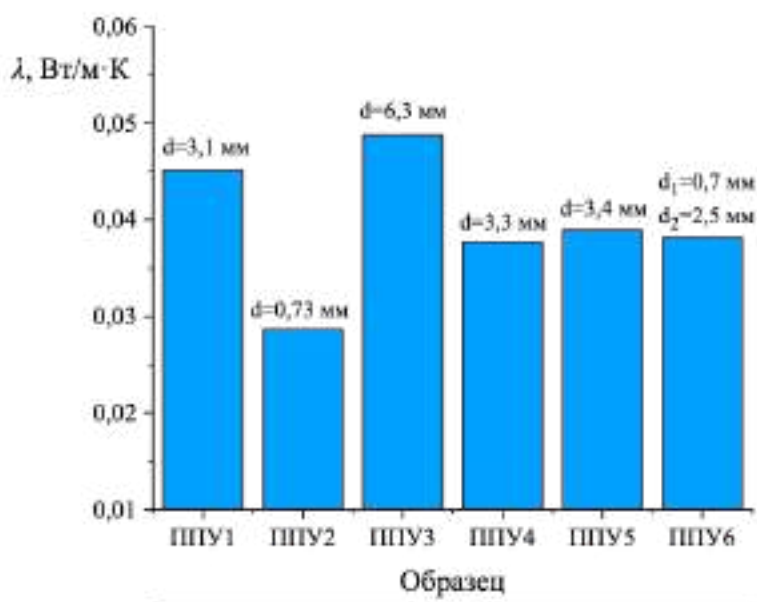


Рис. 4. Теплопроводности исследуемых образцов губок при $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Выводы

Проведены экспериментальные исследования теплопроводности шести образцов пенополиуретана с различными типами (открытые, закрытые, смешанные) и размерами ячеек (от 0,7 до 6,3 мм). Результаты исследований показали, что параметром, вносящим наибольший вклад в изменение теплопроводности, является размер ячеек: пены с маленькими ячейками независимо от типа ячеек будут иметь низкие значения теплопроводности. В то время как пены с крупными ячейками (6,3 мм) имеют более высокие значения теплопроводности. В случае, когда пены имеют близкие по размеру ячейки, на значение теплопроводности будет оказывать влияние уже тип ячеек. В нашей работе мы сравнили пены со смешанными ячейками близких размеров (3,3 мм; 3,4 мм), однако в одном из образцов преобладало количество открытых ячеек (ППУ5), в другом – закрытых ячеек (ППУ4). Образец с преобладанием открытых ячеек показал немного более высокие значения теплопроводности.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>.

Источники

[1] Cao Z. J. et al. Polyurethane foams with functionalized graphene towards high fire-resistance, low smoke release, superior thermal insulation //Chemical Engineering Journal. – 2019. – Т. 361. – С. 1245-1254.

- [2] Nazeran N., Moghaddas J. Synthesis and characterization of silica aerogel reinforced rigid polyurethane foam for thermal insulation application //Journal of Non-Crystalline Solids. – 2017. – Т. 461. – С. 1-11.
- [3] Solovev S. et al. Influence of microgranules on the thermal insulation of the composite materials used in transport //Transportation Research Procedia. 2022. Т. 63. С. 1015-1023.
- [4] Soloveva O. et al. Estimation of energy efficiency factor for models of porous automotive heat exchangers //Transportation Research Procedia. 2022. Т. 63. С. 1081-1088.
- [5] Soloveva O. et al. Study of heat transfer in a heat exchanger with porous granules for use in transport //Transportation Research Procedia. – 2022. – Т. 63. – С. 1205-1210.
- [6] Hermama C., Elmaliki A., Lahbabi S. Computational Effective Thermal Conductivity of Polyurethane Mixed Cell Foams //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 783. – №. 1. – С. 012024.
- [7] Sun M. et al. Pore-scale simulation of forced convection heat transfer under turbulent conditions in open-cell metal foam //Chemical Engineering Journal. – 2020. – Т. 389. – С. 124427.
- [8] Vijay D. et al. Homogenized and pore-scale analyses of forced convection through open cell foams //International Journal of Heat and Mass Transfer. 2018. Т. 123. С. 787-804.
- [9] Skibinski J. et al. Influence of pore size variation on thermal conductivity of open-porous foams //Materials. – 2019. – Т. 12. – №. 12. – С. 2017.
- [10] Qiu L. et al. Inhomogeneity in pore size appreciably lowering thermal conductivity for porous thermal insulators //Applied Thermal Engineering. – 2018. – Т. 130. – С. 1004-1011.
- [11] Zhang M. et al. Numerical investigation of effective thermal conductivity of strut-based cellular structures designed by spatial Voronoi tessellation //Materials. 2020. Т. 14. №. 1. С. 138.
- [12] Kurańska M. et al. Thermal insulation and sound absorption properties of open-cell polyurethane foams modified with bio-polyol based on used cooking oil //Materials. – 2020. – Т. 13. – №. 24. – С. 5673.
- [13] Notario B. et al. Experimental validation of the Knudsen effect in nanocellular polymeric foams //Polymer. – 2015. – Т. 56. – С. 57-67.
- [14] Alvarez-Lainez M., Rodriguez-Perez M. A., De Saja J. A. Thermal conductivity of open-cell polyolefin foams //Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics. – 2008. – Т. 46. – №. 2. – С. 212-221.
- [15] Choe H., Choi Y., Kim J. H. Threshold cell diameter for high thermal insulation of water-blown rigid polyurethane foams //Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2019. – Т. 73. – С. 344-350.
- [16] Соловьева О.В., Соловьев С.А., Зарипова Р.С., Тюрина М.М., Чупаев А.В. Численное моделирование движения газовзвеси в трубе с пористой границей / Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 4. С. 115-118.

ВНЕДРЕНИЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА В СХЕМУ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ

Сорокин¹ К.С., Гаврилин² В.В.

^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан

¹ kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru, ² volodya.gavrilin.97@mail.ru

Аннотация. Повышение экономичности работы тепловых электростанций является важным показателем в развитие энергетической инфраструктуры. Однако, несмотря на высокий рост показателя КПД ТЭС за последние 20 лет, эта цифра не является внушительной и составляет 35-40%. Основные потери, из-за которых КПД имеет столь невысокое значение, приходятся на конденсатор. В данной статье приведены принципы работы конденсационной установки, градирни и теплового насоса, а также их показатели эффективности. Для повышения КПД работы градирни и конденсатора предлагается внедрение в уже существующую градирню ВЕНТА-3000 теплового насоса.

Ключевые слова: энергетика, турбина, конденсатор, тепловой насос, градирня, вода, КПД, ТЭС, теплота.

INTRODUCTION OF A HEAT PUMP IN THE TECHNICAL WATER- COOLING SCHEME

Sorokin¹ K.S., Gavrilin² V.V.

^{1,2} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan

¹ kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru, ² volodya.gavrilin.97@mail.ru

Annotation. Increasing the efficiency of thermal power plants is an important indicator in the development of energy infrastructure. However, despite the high increase in the efficiency of thermal power plants over the past 20 years, this figure is not impressive and amounts to 35-40%. The main losses, due to which the efficiency is so low, fall on the capacitor. This article describes the principles of operation of a condensing unit, cooling tower and heat pump, as well as their performance indicators. To increase the efficiency of the cooling tower and the condenser, it is proposed to introduce a heat pump into the already existing VENTA-3000 cooling tower.

Key words: energy, turbine, condenser, heat pump, cooling tower, water, efficiency, thermal power plant, heat.

Введение

Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии оказывают влияние на тенденцию развития энергетической инфраструктуры. Существующие оборудование в сфере теплоэнергетики не позволяет достигать высоких цифр в получении полезной работы и экономии топлива. В следствии чего, появляется необходимость в использовании комбинированных энергоустановок для получения тепловой и электрической энергии. Однако, и такое решение не позволяет достичь должного эффекта. На сегодняшний день полученный КПД парогазовой установки (ПГУ) варьируется в пределах 58-64%.

Турбины делятся на следующие типы:

- 1) турбины типа Т - теплофикационные
- 2) турбины типа ПТ - теплофикационные с промышленным отбором пара
- 3) турбины типа Р - с противодавлением
- 4) турбины типа К – конденсационные

Основная часть

Для производства наибольшего количества электрической энергии за единицу отработавшего пара используются конденсационные энергетические турбоустановки с использованием турбины типа К. Ключевой особенностью э той турбины является отсутствие отборов пара на теплофикацию. Весь использованный пар в турбине направляется в конденсатор для дальнейшего его охлаждения и повторного использования в замкнутом цикле. Конденсаторы подразделяются на два типа: поверхностные и смешивающие. На ТЭЦ устанавливаются поверхностные трубчатые конденсаторы, так как они более практичны и отделяют конденсат и техническую воду. Процесс преобразования пара в воду происходит за счет понижения температуры и давления. Принципиальная схема поверхностного конденсатора представлена на рисунке 1 [1].

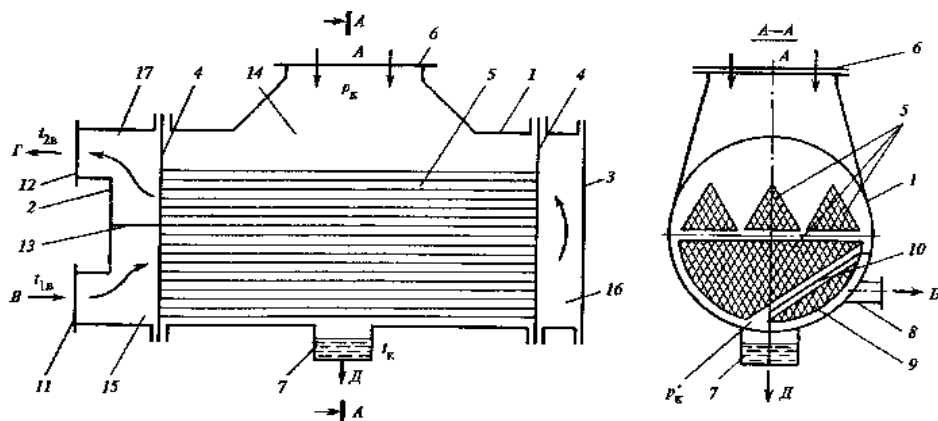


Рис. 1. Схема двухходового поверхностного конденсатора.

На рисунке 1 позициями обозначены: 1 - корпус; 2,3 - крышки водяных камер; 4 - трубные доски; 5 - конденсаторные трубки; 6 - приемный паровой патрубок; 7 - конденсатосборник; 8 - патрубок отсоса паровоздушной смеси; 9 - воздухоохладитель; 10 - паронаправляющий щит; 11,12 - входной и выходной патрубки для воды; 13 - разделительная перегородка; 14 - паровое пространство конденсатора; 15-17 - входная, поворотная и выходная камеры охлаждающей воды; А - вход пара; Б - отсос паровоздушной смеси; В, Г - вход и выход охлаждающей воды; Д - отвод конденсата.

По сравнению с другими, схема, включающая в себя конденсационную турбину, имеет наибольшие потери в конденсаторе, так как весь объем отработавшего пара поступает на охлаждение и конденсацию. Охлаждение пара происходит за счет теплообмена с технической водой, которая циркулирует в трубках внутри конденсатора, как показано на рисунке 1.

Сам же процесс подготовки технической воды представляет из себя минимальную необходимую степень очистки, чаще всего фильтрацию от механических примесей, и в зависимости от источника воды происходит охлаждение (при обратном тех. водоснабжении) или забор воды из русла реки выше по течению и сброс уже нагретой ниже. Забор воды из реки очень эффективен, но в наше время запрещен на законодательном уровне, так как наносит большой ущерб экосистеме водных объектов. Тогда остается два основных варианта для охлаждения. Это градирни и брызгальные бассейны. Они имеют свои плюсы и минусы. Несмотря на более высокую стоимость и наличие трудностей в строительстве и эксплуатации градирни в сравнении с брызгальным бассейном, она достигает большего эффекта охлаждения и требует в 4-5 раз меньше площади для размещения, так как для достижения перепада температуры более 10°C в брызгальных бассейнах требуется создание ступенчатой системы охлаждения [2].

Решение

В нашем проекте мы будем использовать существующую вентиляционную градирню ВЕНТА-3000, установленную на Казанской ТЭЦ-2, схема которой представлена на рисунке 2. В железобетонном бассейне находится вода, поступающая в конденсатор, при температуре 25°C. КПД конденсатора напрямую зависит от температуры этой воды, а КПД башенных вентиляционных градирен в среднем достигает порядка 70%.

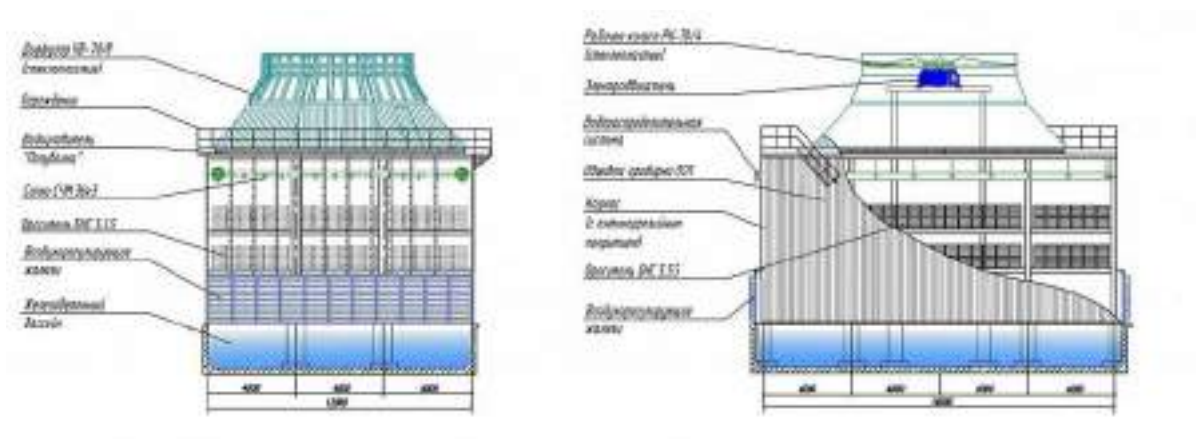


Рис. 2. Схема градирни ВЕНТА-3000.

Предложенное нами решение основано на использовании низкопотенциальной теплоты воды в накопительном бассейне градирни при помощи теплового насоса, с целью увеличения ее собственного КПД и использовании полученного тепла на собственные нужды. А также полученный эффект понижения температуры воды положительно повлияет на работу конденсатора, который повысит эффективность его работы.

Принцип работы теплового насоса, показанный на рисунке 3, основан на повышении температуры сжатия газа (хладагента) и использовании полученной теплоты на нагревание другой среды. Основным процессом получения теплоты является испарение хладагента при относительно низкой температуре в испарителе, и дальнейшей конденсации его при более высоких параметрах температуры и давления, полученных за счет работы компрессора [3].

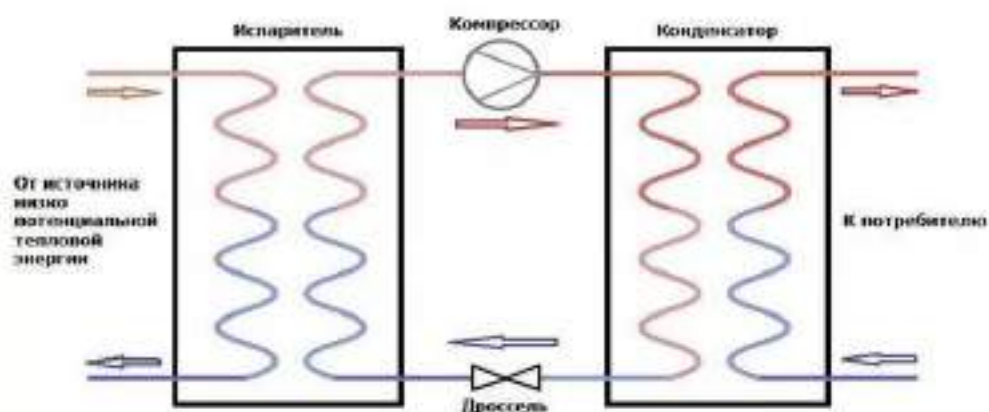


Рис.3. Принципиальная схема теплового насоса.

Расположение системы трубок испарителя не должно влиять на аэродинамические и гидродинамические параметры в самой градирне, так как это может негативно повлиять на плотность орошения и степень охлаждения воды. Поэтому мы предлагаем установить трубную систему вдоль стенок в железобетонном

бассейне. Это позволит охватить большую площадь взаимодействия поверхности испарителя с водой оказывая минимальное воздействие на течение жидкости. В качестве теплоносителя в тепловом насосе будет использоваться фреон марки R-11 (Хладон 11). Он имеет необходимую температуру испарения равную 23,65°C, которую возможно достичь, используя воду градирни при температуре 25°C. Полученную теплоту в результате работы теплового насоса возможно направить на собственные нужды предприятия, такие как отопление или горячее водоснабжение.

Выводы

Благодаря внедрению предложенного нами решения получится повысить общий КПД станции. В результате внедрения теплового насоса в общую схему ТЭС, снижается расход из отборов пара на собственные нужды, повышается собственный КПД конденсатора в результате снижения температуры технической охлаждающей воды и повышения эффективности работы градирни. Было подобрано оптимальное месторасположение теплообменных поверхностей для минимизации негативного влияния на технологический процесс работы ТЭС. Сделанное нами исследование позволяет частично затронуть решение важных проблемы энергетики, повысить экономические показатели работы тепловых электростанций.

Источники

[1] Авторское свидетельство № 1273715 А1 СССР, МПК F28B 1/00, F28G 9/00. Поверхностный конденсатор паровой турбины: № 3961400: заявл. 26.07.1985: опубл. 30.11.1986 / А. В. Безносков, А. П. Касьянов, И. Ю. Ляхов, В. Е. Серов; заявитель ГОРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. А.А. ЖДАНОВА.

[2] Белобородов С. С. Повышение системной эффективности ТЭЦ как фактор перехода к ресурсосберегающей и экологически безопасной энергетике / С. С. Белобородов, А. А. Дудолин, Е. М. Лисин, В. О. Киндра // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 135-145.

[3] Недоспасов, Д. С. Вентиляторные градирни, принцип работы и эксплуатация / Д. С. Недоспасов // Стратегии и тренды развития науки в современных условиях. – 2019. – № 1(5). – С. 46-48.

[4] Запольская И. Н. Влияние индивидуальных водо-водяных подогревателей на потребление тепловой энергии многоквартирными домами / Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 146-155.

[5] Дадацкий, А. В. Тепловой насос. Принцип работы теплового насоса / А. В. Дадацкий, П. Ю. Космовский // Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства: Сборник научных статей, Гродно, 23–24 мая 2019 года / Редколлегия: А.Р. Волик [и др.]. – Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2019. – С. 172-174.

MATHEMATICAL MODELING OF THE TURBULENT FLOW OF A VISCOUS INCOMPRESSIBLE FLUID AROUND A CYLINDER

Tanasheva¹ N.K., Bakhtybekova² A.R., Botpaev³ N.K., Kabylgani⁴ Ch.K.

^{1,2,3,4} E. A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan

¹nazgulya_tans@mail.ru, ²asem.alibekova@inbox.ru, ³botpaev.nurlan@mail.ru,

⁴chinga.ks@gmail.com

Annotation. *Turbulent flow around a circular cylinder is of great interest for understanding and studying a wide range of fundamental and applied problems of fluid mechanics. In this paper, the authors carried out mathematical modeling of the flow around the cylinder at $Re=2 \div 12 \cdot 10^4$. The ANSYS FLUENT program was used to numerically study the turbulent flow of a viscous incompressible fluid around a cylinder. To solve this problem, $k-\varepsilon$ is chosen as the turbulence model. The speed of the incoming flow varied in the range from 3 to 15 m/s, the number of cylinder rotations from 300 to 700 rpm. Pressure distribution patterns are obtained at different revolutions and flow rates.*

Keywords: *Mathematical modeling, cylinder, turbulence, Reynolds number, ANSYS FLUENT*

Introduction

Many hydrodynamic and aeromechanical phenomena observed in technical processes due to moderate speeds of movement of the medium under study can be represented within the framework of the incompressible viscous fluid model. Currently, during practice, there are various types of tasks for applied scientists, including the study of which can be carried out in most cases only with a computational experiment or with the help of a carefully organized physical experiment. However, phenomena of practical interest and technological processes either do not lend themselves to comprehensive physical modeling, or the cost of conducting such experiments is too high [1].

These problems encountered in practice have such characteristics as multidimensionality, nonlinearity, non-stationarity, and also contain boundary layers and conditions that are described using the Navier-Stokes equations. The nonlinearity of the Navier-Stokes equations and the presence of a small parameter for higher derivatives (especially for large Reynolds numbers) create serious problems both in their experimental study (in fact, this is possible only for model equations or specific problems), the same happens when numerically solving these equations using a computer [2,3].

Most of the flows that are interesting from a practical point of view are turbulent, many of them are accompanied by the flow flowing into certain obstacles that can lead to the

separation of the viscous lower layer. When numerically modeling these flows, as a rule, one of the semi-empirical turbulence models is used (among which the most popular today is the k-models SST and k- ϵ) [4,5].

Many well-known representatives, such as ANSYS Fluent, ANSYS CFX, Flow-3D, Star-CCM, etc., are represented as a tool for conducting numerical experiments on the commercial CFD market of the program.

Problem statement

Fluid flow around a cylinder is a classic object of experimental and theoretical problems. Despite the simplicity of the formulation of the problem, in which a uniform flow of velocity U flows around a cylinder D of a certain diameter, there is a complex map of modes [1], depending on the only dimensional criterion of the problem - the Reynolds number $Re = UD/\nu$, where ν is the viscosity of the liquid.

In this paper, the problem of cylinder flow in large numbers $Re = 2 \div 12 \cdot 10^4$ is numerically studied.

The task is to simulate the flow around the cylinder (turbulent flow of a viscous incompressible fluid around the cylinder) using the ANSYS FLUENT software module [4,5]. The conditions for modeling are presented in Table 1.

Table 1

Initial data for modeling

Initial Parameters	Values
Cylinder length	330 mm
Cylinder diameter	120 mm
The speed of the incoming flow	3-15 m/s
Number of cylinder rotation	300, 500, 700 rpm

The solution of the problem

The calculation model includes:

- a) geometric model;
- b) grid model (grid);
- c) turbulence models;
- d) boundary conditions.

All components are closely related. The structural construction of the CFD calculation model is shown in Fig. 1.

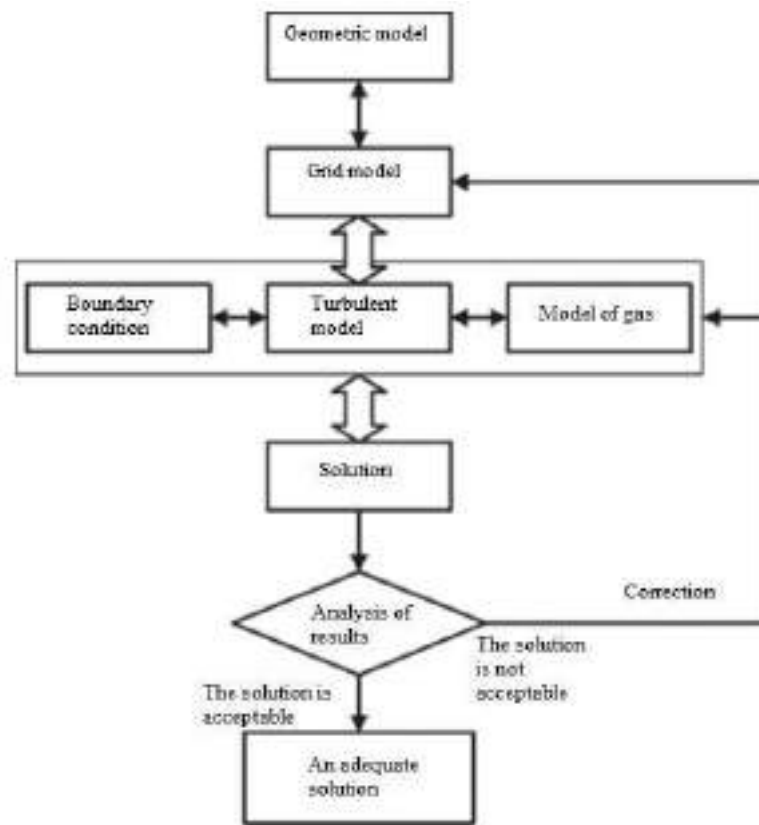


Fig. 1. Structure of the calculation model construction

The fundamental step in performing a numerical experiment on gas dynamics is the choice of a turbulent model. This choice determines which effects will be taken into account in the solution and which will not. To solve this problem, the $k-\epsilon$ turbulence model was chosen.

The K-epsilon turbulence model ($k-\epsilon$) is the most common model used in computational fluid dynamics (CFD) for the numerical study of medium flow parameters under turbulent flow conditions. This is a model with two equations, gives a general description of turbulence in terms of two transport equations. The initial incentive for the K-epsilon model was to improve the mixing length model, as well as to search for an alternative to the algebraic description of turbulent length scales in flows of medium and high complexity.

The first transferable variable is the turbulent kinetic energy (k). The second transferable variable is the rate of dispersion of turbulent kinetic energy (ϵ). The constants for the turbulence model are shown in Figure 2.

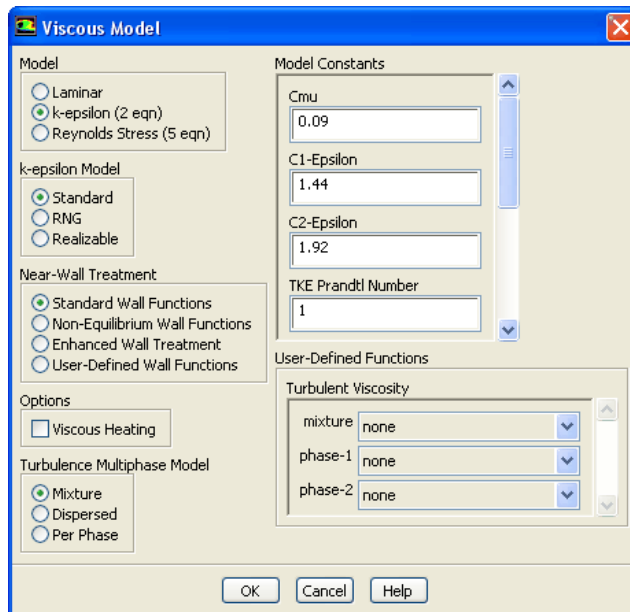


Fig.2. k- ϵ turbulence model

Results of mathematical modeling

Figures 3,4 and 5 show pressure distribution patterns at different speed numbers.

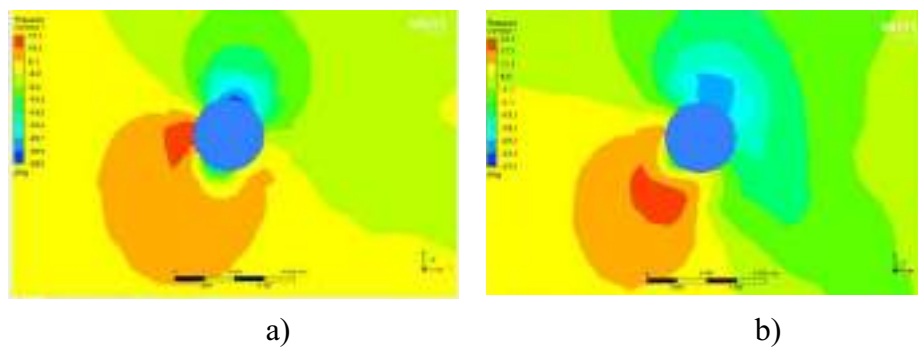


Fig. 3. Pressure distribution around the cylinder at $n = 300$ rpm: a) $v = 5$ m/s; b) $v = 15$ m/s

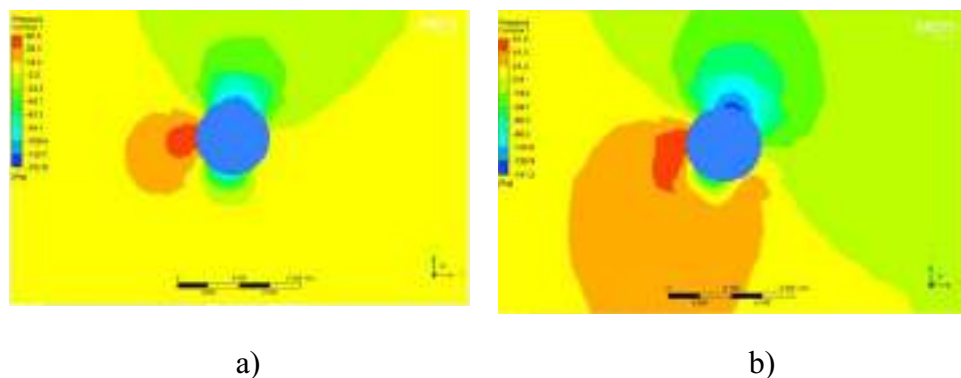


Fig. 4. Pressure distribution around the cylinder at $n = 500$ rpm: a) $v = 5$ m/s; b) $v = 15$ m/s

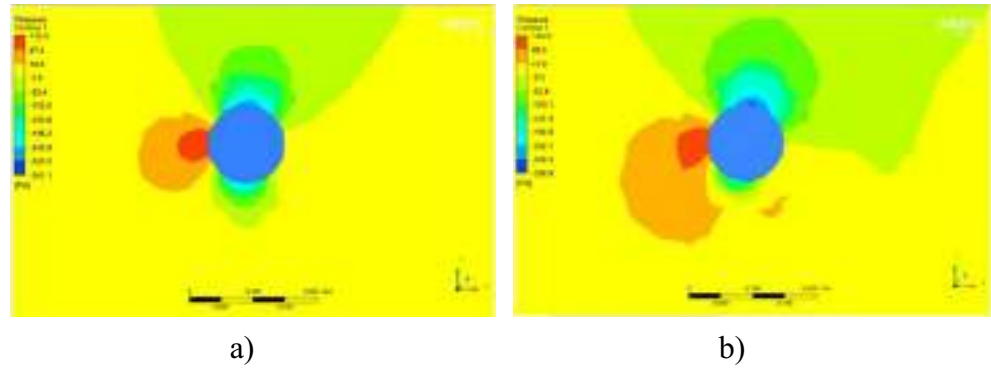


Fig. 5. Pressure distribution around the cylinder at $n = 700$ rpm: a) $v = 5$ m/s; b) $v = 15$ m/s

Figures 3-5 show static pressure distributions ($p_{st} = p - p_{atm}$) around a rotating cylinder (plane $z=0$) obtained for different speeds of the incoming flow (wind) and the speed of rotation of the cylinder.

The rotation of the cylinder under the conditions of an incoming flow leads to the fact that on one side of the cylinder the air velocity will be greater than on the other side. According to Bernoulli's law, in the area where the flow velocity is higher, the pressure becomes lower. Therefore, on one side of the cylinder (in the figures shown, this left side), the pressure is lower than on the other, resulting in a force (lifting) acting on the cylinder, which is directed perpendicular to the axis of the cylinder and the direction of the wind. The cylinder rotates in the direction of the z axis according to the hour hands.

A possible cause of the formation of the lifting force is the circulation of air around the solid. Circulation can occur not only due to the rotation of the body, as in the Magnus effect, but also during the flow of a viscous liquid or gas towards a stationary, asymmetric body with respect to the flow. In an ideal fluid, where there are no shear stresses between different layers at all, circulation is impossible.

Conclusion

In this paper, flows around a rotating cylinder by an incoming air flow in an ANSYS package were investigated.

To solve this problem, the $k-\epsilon$ turbulence model is chosen. The K-epsilon turbulence model ($k-\epsilon$) is the most common model used in computational fluid dynamics (CFD) to model the flow parameters of a medium under turbulent flow conditions. This model with two equations provides a general description of turbulence. The initial incentive for the K-epsilon model was to improve the mixing length model, as well as to search for alternatives to describe the algebraic description of the turbulent length scales in medium and high complexity flows.

The patterns of the pressure field distribution around the cylinder are obtained at the air flow velocities from 3 to 15 m/s and at the cylinder rotation speed of 300,500,700 rpm.

The work was carried out with the financial support of the IRN AP14870066 project "Development and creation of an energy-efficient combined vertical-axial wind power plant using a gearless low-speed electric generator".

LIST OF LITERATURE

- [1]. Gushchin V.A., Matyushin P.V. Mathematical modeling of incompressible fluid flows. Works of MIPT. - 2009. — Volume 1, No. 4. —P.18-33.
- [2]. Chang T. J. Computational fluid dynamics. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. – 1021 p.
- [3]. Ferziger J. H., Perry M. Computational methods of hydrodynamics. – 3., ed. – Berlin: Springer, 2002. – 423 p.
- [4]. Tanasheva N.K., Bakhtybekova A.R., Shuyushbaeva N.N., Tusupbekova A. K., Tleubergenova A.J. Calculation of aerodynamic characteristics of a wind power plant with blades in the form of rotating cylinders. Letters on technical physics. - 2022. – DOI 10.1134/S1063785022020092.
- [5]. Tanasheva N.K., Bakhtybekova A. R., Shaimerdenova K. M., Sakipova S. E. and Shabaeva N.N. Modeling of aerodynamic characteristics of a wind power plant with rotating cylindrical blades based on the ANSYS package. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, -2022. — Volume 95, No. 2, —.P.457-463.

PILOT TESTS OF A WIND POWER PLANT WITH SAIL BLADES UNDER LOW WIND CONDITIONS

Tleubergenova¹ A.Zh., Tanasheva² N.K., Shaimerdenova³ K.M., Kyzdarbekova⁴ Sh.S.

^{1,2,3,4} Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan,

¹shymkent.a7@mail.ru, ²nazgulya_tans@mail.ru, ³gulzhan.0106@mail.ru, ⁴sholp1@mail.ru

Annotation. *One of the reasons for the insufficient use of the huge reserve of wind energy is the lack of efficiently operating wind turbines for low wind speeds characteristic of the greater territory of the Republic of Kazakhstan. In this regard, the creation of wind power plants that work effectively in conditions of low average annual wind speeds is very relevant for Kazakhstan, corresponds to the priorities of the development of science in the republic. For this purpose, the authors have created an experimental wind power plant that works efficiently at low wind speeds, thanks to the dynamically changing shape of the blades. The diameter of the wind wheel was 4 m. Aerodynamic experiments were performed to study the aerodynamic thrust force from wind speed.*

Keywords: *Wind power plant, wind power, sail, aerodynamics, thrust forces.*

Introduction

Currently, the search and active use of new alternative energy sources in many developed countries of the world are accepted as vital, strategically necessary resources that ensure the long-term development of the economies of these countries.

It is predicted that the share of alternative energy (solar, wind, tidal, solar energy, etc.) in global energy consumption will increase annually and by 2030 will amount to 30%, by 2050 – 50%. However, despite promising results, alternative energy sources have not yet found the level of optimal compliance with the expectations of the mass consumer [1-3].

On the threshold of Kazakhstan's accession to the WTO, the republic's economy is characterized by a raw material orientation and high consumption of fuel and energy resources. The high energy intensity of the economy in comparison with the developed countries of the world leads to the irrational use of fuel and energy resources, reduces the competitiveness of the economy, and, as a result, leads to significant environmental pollution, including greenhouse gases that affect global climate warming [4-6].

In this regard, the issues of efficient use of renewable resources are considered as a task for the future, including the instruction of the President of the Republic of Kazakhstan on the need to develop approaches to the Government to solve this problem. Here are just a few figures describing the intensity of innovation processes in the world in relation to alternative energy sources: in the USA, \$275 million was allocated from the federal budget for such

developments in 2005, in Japan – 30 billion annually. yen (about \$273 million), and the European budget for renewable energy research exceeds 2 billion. euro (period 2002-2006).

Thus, it can be stated that at present, the search and active use of new alternative energy sources in many developed countries of the world are accepted as vital, strategically necessary resources that ensure the long-term development of the economies of these countries.

In this regard, the creation of wind power plants that work effectively in conditions of low average annual wind speeds is very relevant and corresponds to the priorities of the development of science in the Republic of Kazakhstan [7, 8].

However, the disadvantage of existing wind power plants is the complexity of the design of the blades, leading to increased turbulence near the wind wheel, as well as the presence of drive electric motors that require an additional source of energy.

Sailing wind turbines have a unique feature – they work equally effectively both at low wind speeds and at high ones due to the dynamic changeable shape of the working surface under the influence of wind flow.

The main idea of the project is the efficient use of the energy of low-speed squat winds by using multi-blade wind turbines with a dynamic variable shape of the surface of the blades, made in the form of a triangular "sail" with a movable end.

Characteristics of a wind power plant

A prototype of a wind power plant based on wind turbines with blades of dynamic variable shape with a diameter of a wind wheel $D = 4$ m has been created. The wind turbine shaft is a metal cylinder with a diameter of 32 mm and a length of 2330 mm. The diameter of the metal disk attached coaxially to the shaft is 302 mm, the thickness of the disk is 16 mm. The pulley has a diameter of 400 mm and a thickness of 40 mm, designed for belt drive with a generator. The support and frame rods of the wind wheel are duralumin tubes with a diameter of 20 mm, which are fixed to the disk. The length of each frame rod of the wind turbine is 2000 mm, and the length of the support rods of the wind wheel is 2429 mm. The rotation speed of the wind turbine wind wheel is 50-100 rpm, the minimum threshold of the working wind speed is 3-5 m/s.

Figure 1 shows a general view of the manufactured prototype image of a wind power plant with a diameter of a wind wheel $D = 4$ m. To ensure maximum traction of the sail blades, the extension of the movable thread is selected 3-5 cm. The wind turbine is located at a height of 3 m from the Ground surface, the total height is 5 m.



a)



b)

Fig. 1. A view of the design of a wind turbine with a diameter of a wind wheel $D = 4$ m: a- front view, b-side view.

Test results

The dependences of the aerodynamic thrust force on wind speed are investigated. Figure 2 and 3 show the dependence of the thrust force of the prototype wind turbine on the wind speed in the forward (i.e. towards the front of the wind wheel) and reverse wind directions relative to the location of the wind turbine (i.e. from the rear of the wind wheel).

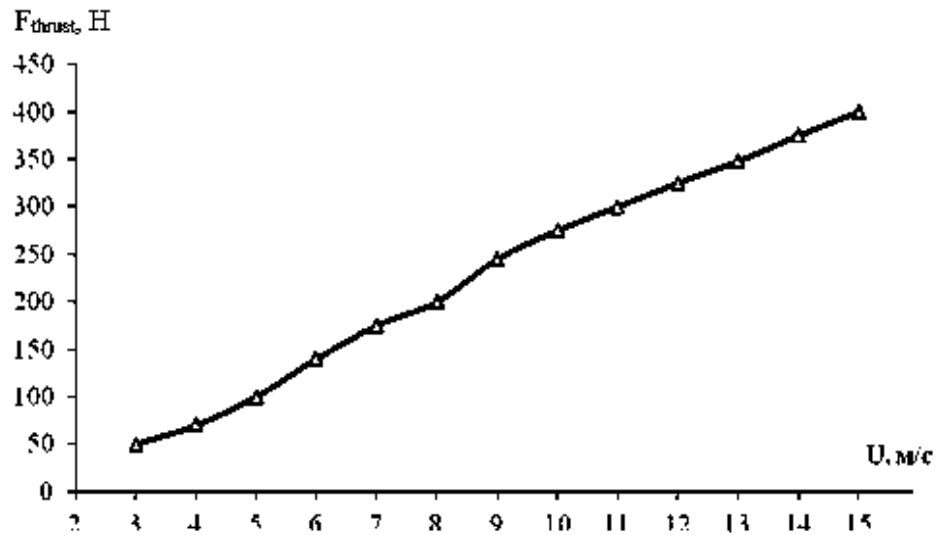


Fig. 2. Dependence of the thrust force of the prototype wind turbine on the wind speed in the forward direction of flow

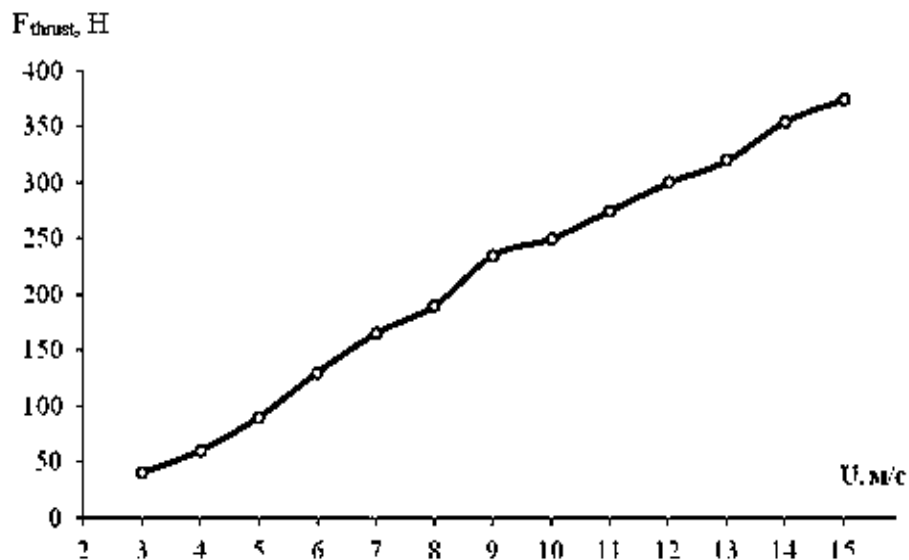


Fig.3. Dependence of the thrust force of the prototype wind turbine on the wind speed in the opposite direction of flow

From the comparison of Figures 2 and 3, it can be seen that with the forward direction of the wind flow, the value of the thrust force is higher than with the opposite wind direction. This is due to the fact that the working elements of the wind turbine are located in the rear of the wind turbine, which prevent the wind flow from blowing the sail blades, and thereby bring it into rotational motion.

Conclusions

The authors of the work created a prototype of a wind power plant with a diameter of a wind wheel of 4 m. Aerodynamic tests of a prototype wind power plant at the landfill were carried out, the dependences of the aerodynamic thrust force on the flow velocity were investigated.

The work was carried out with the financial support of the IRN AP14870066 project "Development and creation of an energy-efficient combined vertical-axis wind power plant using a gearless low-speed electric generator".

List of literature

- [1] <https://www.irena.org/wind>
- [2] <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>
- [3] "UNDP Report on Kazakhstan" (PDF). UNDP. Retrieved May 5, 2016.
- [4] "The Kyoto Protocol in the Republic of Kazakhstan". ClimateChange.kz . Retrieved May 5, 2016.
- [5] "Kazakhstan Fund for Financing Renewable Energy Sources". KazREFF-ser.com. Retrieved May 5, 2016.
- [6] <https://www.eia.gov/energyexplained/wind/history-of-wind-power.php>
- [7] Tanasheva N.K., Tleubergenova A.Zh., Shaimerdenova K.M., Minkov L.L., Uzbergenova S.Zh. Investigation of the aerodynamic forces of a triangular wind turbine blade for the low wind speeds. / Eurasian physical technical journal. – 2021 Vol. 18, No. 4(38) – P. 59 – 64. https://up.ksu.kz/phtj/2021_18_4_38/8.pdf.
- [8] Tleubergenova A.Zh., N.K. Tanasheva, K.M. Shaimerdenova, L.L. Minkov, A.N. Dyusembaeva, S.Zh. Uzbergenova. Study of aerodynamic parameters of the sail blade. Bulletin of the Karaganda university. Physics series. № 1(105)/2022– pp. 58-65. <https://physics-vestnik.ksu.kz/apart/2022-105-1/6.pdf>

ПОЛУЧЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА ИЗ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ ФРАКЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Туманова^{1*} А.А., Идрисова² К.С., Колдасова³ Г.А., Октябрь⁴ К.А.

^{1,2,3,4} НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева»,
Алматы, Казахстан

¹ai.tumanova@aes.kz, ²k.idrisova@aes.kz, ³kuzyamake@mail.ru, ⁴k.oktyabr@aes.kz

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос получения альтернативного топлива из биоразлагаемой фракции твердых бытовых отходов полигона АО «Тартып» Алматинской области и исследованы характеристики полученного альтернативного топлива: низшая теплотворная способность, общая и аналитическая влага, выход летучих, зольность, а также химический состав пробы золы биофракции. Полученное альтернативное топливо может быть использовано в цементной промышленности как ресурсосберегающий компонент клинкера.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы (ТБО), альтернативное топливо, биофракция, SRF, характеристики АТ.

PRODUCTION OF ALTERNATIVE FUEL FROM BIODEGRADABLE FRACTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE

Tumanova^{1*} A.A., Idrisova² K.S., Koldassova³ G.A., Oktyabr⁴ K.A.

^{1,2,3,4} Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan

¹ai.tumanova@aes.kz, ²k.idrisova@aes.kz, ³kuzyamake@mail.ru, ⁴k.oktyabr@aes.kz

Annotation. The article considers the issue of obtaining an alternative fuel from a biodegradable fraction of municipal solid waste from the JSC "Tartyp" landfill in Almaty region and investigates the characteristics of the obtained alternative fuel: net calorific value, total and analytical moisture, volatile output, ash content, as well as the chemical composition of the biofraction ash sample. The resulting alternative fuel can be used in the cement industry as a resource-saving clinker component.

Key words: municipal solid waste (MSW), alternative fuel, biofraction, SRF, AF characteristics.

Введение

Основная масса бытовых отходов в настоящее время не подвергается какой-либо переработке и вторичному использованию, а размещается на полигонах захоронения, на санкционированных и несанкционированных свалках, что в значительной мере осложняет общую экологическую ситуацию, создает серьезную опасность для здоровья населения, влечет за собой экономический ущерб за счет безвозвратных потерь потенциальных вторичных ресурсов.

В Казахстане сбор ТБО проводится без разделения на фракции, практически весь объем вывозится на полигоны, большая часть которых не отвечает санитарным требованиям, имеются многочисленные нелегальные свалки, которые сильно ухудшают санитарное состояние территорий, а утилизации и сжиганию подвергается менее 5% ТБО [1].

В 2014 году Правительством РК была утверждена Программа по модернизации системы управления ТБО, где планировалось усовершенствовать систему обращения с ТБО на основе современных технологий и методов управления при строгом соблюдении требований экологического законодательства Республики Казахстан [2]. Согласно указанной Программе, к 2030 г. ожидается достижение следующих целевых индикаторов по отдельным видам отходов: доля сбора биологически разлагаемых отходов – 30%, упаковочных материалов, бумаги и стекла – 50%, отходов бытовой техники – 70%, раздельного сбора опасных бытовых отходов – 65%, переработки опасных бытовых отходов – 85%, утилизация использованных автомобилей – 50%, утилизация использованных автомобильных шин – 80%.

Для решения вопросов управления ТБО в РК Правительством Казахстана в 2019 году была принята Концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике», согласно которой доля переработанных отходов к 2030 году должна составить 40%, а к 2050 – 50% [3].

С 1 января 2019 года статья 301 Экологического кодекса запрещает захоронение на полигонах РК пластмассы, макулатуры, картона, бумажных отходов и стекла, а также прием пищевых отходов [4]. Местные исполнительные органы должны организовать мероприятия по сокращению захоронения биологически разлагаемых отходов, включая меры по их рециклингу, компостированию, производству биогаза и (или) использованию в целях производства продукции или энергии.

Утилизация и переработка органических отходов является в настоящий момент актуальным направлением развития отрасли управления отходами в Казахстане. В Республике ведутся разработки различных технологий утилизации и переработки органических отходов, в числе которых получение биогаза, сжигание с рекуперацией энергии, компостирование и другие.

Биофракцию ТБО можно рассматривать как богатый источник вторичных ресурсов [5]. Утилизация их путем разложения под действием температуры, биологических, химических или механических факторов позволяет получить из них

продукты в виде газообразного или жидкого топлива или тепла. Для сбора и переработки ТБО применяются различные технологии и оборудование. Каждая технология имеет свой экономический, экологический и социальный эффект.

До настоящего времени самым распространенным способом утилизации ТБО являлось его сжигание методами пиролиза, инсинерации и газификации [6]. Главным недостатком этих методов является загрязнение воздушной среды.

В странах Европы получило развитие направление использования ТБО в качестве альтернативного топлива в энергетике и в цементной промышленности. При этом большую роль в выборе направления применения АТ имеют морфологический состав и сортировка ТБО.

В Казахстане данное направление только начинает развиваться.

Для использования ТБО в качестве сырья для получения альтернативного топлива для цементной промышленности необходимы классификация, измельчение и сушка исходного материала.

Из ТБО можно получить следующие разновидности твердого альтернативного топлива [7]:

RDF (Refuse Derived Fuel) – твердое вторичное топливо, которое получают путем сортировки, измельчения и обезвоживания твердых бытовых отходов. Характеристики RDF определяются согласно действующим стандартам или техническим условиям производства топлива. Содержит высококалорийные компоненты (пластик, бумага, картон, текстиль, резина, кожа, дерево и т.д.). Состав: 44–51% углерода, 29–36% кислорода, 5–7% водорода, а также примеси азота, калия, серы, хлора и др.

SRF (Solid Recovered Fuel) – твёрдое рекуперированное (восстанавливаемое) топливо, полученное из твёрдых отходов. Производство SRF обычно сосредоточено прямо на участках сортировки мусора. SRF должно соответствовать требованиям классификации и спецификации [8]. Классификация SRF основана на предельных значениях 3 важных показателей топлива: среднеарифметических значениях низшей теплоты сгорания (NCV) и содержания хлора, а также медианном и 80-перцентильном значении содержания ртути. Согласно этой классификации, каждый показатель подразделяется на 5 классов.

В зависимости от состава SRF его теплотворная способность может составлять от 12 до 25 МДж/кг. В таблице 1 приведены типичные свойства SRF топлива [9].

Таблица 1

Типичные свойства SRF топлива

Химические свойства		Механические свойства	
Теплотворная способность	3-4 МДж/кг	Размер частиц	10-300 мм

Влажность	< 25% масс.	Объемная плотность	120-300 кг/м ³
Зольность	< 20%		
Содержание Cl	1,5%		
Содержание Hg	0,5%		

Авторами работы [9] было проведено сравнение полученного из ТБО АТ: SRF и RDF. Авторы данного исследования показали, что в синтетическом SRF (58% бумаги, 22% пластика, 15% текстиля и 5% дерева) содержание хлора и ртути меньше, чем в угле и в RDF и оно по своим характеристикам пригодно для цементных заводов и энергетических секторов. Сравнение горения чистого угля, угля с добавлением 10% RDF и угля с добавлением 10% SRF показало меньшее количество выбросов в последнем случае. Таким образом, SRF показал себя наиболее подходящим АТ для тепловых установок, поскольку этот вид топлива является более чистым продуктом, чем его аналог. Следует отметить, что SRF является по составу более однородным, соответственно менее загрязнен, чем обычный RDF.

К качеству альтернативного топлива из ТБО предъявляются требования к спецификации [8], к которым относятся класс и выход ТБО, физические свойства, форма и размер гранул, метод испытания, содержание определенных химических элементов. Топливо должно обладать определенными геометрическими характеристиками, определяемыми транспортной системой подачи АТ на горелку и размером сопел самой горелки. Оценка пригодности топлив из отходов основывается на максимально допустимых концентрациях вредных веществ в отходах.

Целью настоящего исследования явилось получение SRF-топлива из биоразлагаемой фракции ТБО полигона «Тартып» и изучение специфических характеристик полученных гранул альтернативного топлива.

Методы исследований

Для производства альтернативного топлива из отходов ТБО требуется применение методов сепарации, измельчения, сушки, смешивания и др., а также проведение необходимых лабораторных исследований.

Важными характеристиками АТ из ТБО, необходимыми для его спецификации, являются зольность, влажность, низшая теплотворная способность, содержание микроэлементов (особенно ртути, кадмия и таллия), серы и хлора.

Высшая теплота сгорания альтернативного топлива была определена экспериментально на калориметрической установке [10].

Определение содержания общей и аналитической влаги проводилось методом высушивания образца топлива до постоянной массы [11,12].

Зольность ТБО определяли методом поэтапного сжигания пробы в муфельной печи [13]. Для определения выхода летучих веществ был использован

гравиметрический метод [14].

Для решения экологических и технологических задач на стадии производства АТ и в процессе его сжигания необходимо проведение количественного определения микроэлементов в пробах после разложения. Сжигание пробы биофракции проводилось в печи-инсинераторе с колосниковой решеткой Д8417. Для розжига и поддержания горения использовалась распылительная горелка на соляровом масле. Максимальная температура на поверхности слоя в топочной камере составила 968°C (по показаниям радиационного пирометра GM1500). Химический состав пробы после сжигания определяли рентгенофлуоресцентным полуколичественным методом анализа.

Для количественного определения микроэлементов в пробах после разложения был использован инструментальный метод анализа – атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой [15].

Гранулы SRF были получены нами путем измельчения, сушки, смешивания и прессования биологической фракции ТБО полигона АО «Тартып».

Результаты и их обсуждение

В таблице 2 представлены усредненные результаты определения аналитической и общей влаги, зольности, выхода летучих альтернативного топлива (SRF), полученного из биофракции с полигона АО «Тартып». Определение данных характеристик было проведено нами в лабораторных условиях по известным методикам. Значения низших теплот сгорания образцов АТ было рассчитано из результатов, полученных экспериментально на калориметрической установке.

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований проб биофракции ТБО полигона АО «Тартып»

Проба	Аналитич. влага, W^a , % 105±2°C	Общая влага, W_t^r , % 105±2°C	Зольность, A^a , % 250→550°C	Выход летучих, V^a , % 900°C	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
SRF	9,52	10,27	24,70	74,3	16,6

Биофракция отходов ТБО была сожжена в условиях полигона АО «Тартып» при температуре 968°C. Химический состав золы биофракции был исследован методом рентгенофлуоресцентного полуколичественного анализа. Результаты исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты рентгенофлуоресцентного полуколичественного анализа золы после сжигания биофракции

Определяемый элемент	Содержание, %	В пересчете на оксиды	Содержание, %
O	43,397	-	-
Na	2,144	Na ₂ O	2,881
Mg	1,392	MgO	2,324
Al	3,581	Al ₂ O ₃	6,864
Si	13,908	SiO ₂	30,601
P	0,795	P ₂ O ₅	1,924
S	1,405	SO ₃	3,725
Cl	3,232	Cl	3,458
K	1,518	K ₂ O	1,985
Ca	13,368	CaO	20,582
Ti	0,913	TiO ₂	1,728
Cr	0,011	Cr ₂ O ₃	0,019
Mn	0,08	MnO	0,118
Fe	3,148	Fe ₂ O ₃	5,148
Co	0,037	Co ₃ O ₄	0,058
Ni	0,014	NiO	0,02
Cu	0,143	CuO	0,207
Zn	0,156	ZnO	0,226
Br	0,009	Br	0,01
Rb	0,009	Rb ₂ O	0,011
Sr	0,037	SrO	0,05
Zr	0,018	ZrO ₂	0,028
Ba	0,033	BaO	0,042
Pb	0,068	PbO	0,086
Hg	0,005	HgO	-

Как видно из результатов, в образце после сжигания биофракции ТБО преобладает содержание оксидов щелочных металлов (кальция, натрия, магния), кремния, алюминия, железа (III), серы (VI), присутствуют значительные содержания хлора.

Следует отметить, что оксиды кальция и магния являются составляющей клинкера - промежуточного продукта в процессе производства цемента [16].

Примерный состав типичного клинкера: 67% CaO, 22% SiO₂, 5% Al₂O₃, 3% Fe₂O₃ и 3% других компонентов. Присутствие указанных компонентов в золе биофракции позволит в дальнейшем при проведении расчетов уменьшить количество добавляемых компонентов в клинкер за счет их присутствия в золе биофракции.

Выводы

Таким образом, нами получены результаты, подтверждающие возможность использования АТ из биофракции ТБО в качестве топлива и сырья для цементной промышленности. Полученные значения низшей теплотворной способности SRF

вполне коррелируют с литературными данными. Для получения более точных результатов необходимо проведение дальнейших исследований в этой области.

Источники

[1] Национальный доклад о состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов за 2011-2014 гг. – Режим доступа: <http://ecodoklad.kz>.

[2] Программа модернизации системы управления твердыми бытовыми отходами на 2014–2050 годы. Постановление №634 Правительства Республики Казахстан от 9 июня 2014 года.

[3] Концепция «Программы по развитию Национальной системы управления твердыми бытовыми отходами Республики Казахстан» от 11 января 2019 года, №17-12/2784.

[4] <https://informburo.kz/stati/v-2019-godu-uzhestochilis-trebovaniya-k-pererabotke-othodov-zachem-i-chto-izmenilos.html>.

[5]. Хантимирова С.Б., Мишустин О.А., Грачева Н.В., Желтобрюхов В.Ф. Анализ и обоснование выбора способа переработки отходов производства и потребления. / Инженерный вестник Дона, №1(2019).

[6] Клинков А.С. Утилизация и переработка твердых бытовых отходов: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2015. – 188 с.

[7] Rada E.C., Andreottoala G. RDF/SRF which perspective for its future in EU. / Waste Manage, 2012.

[8] Стандарт EN 15359:2011. Топливо твердое из бытовых отходов. Технические характеристики и классы.

[9] Constantinos S. Psomopoulos. Residue Derived Fuels as an Alternative Fuel for the Hellenic Power Generation Sector and their Potential for Emissions Reduction. / AIMS Energy, 2014, Volume 2, Issue 3: 321-341. doi: [10.3934/energy.2014.3.321](https://doi.org/10.3934/energy.2014.3.321)

[10] ГОСТ 33108-2014 (EN 15400:2011). Определение теплоты сгорания.

[11] ГОСТ Р 54231-2010. Топливо твердое из бытовых отходов. Определение содержания влаги высушиванием. Часть 1. Общая влага. Стандартный метод.

[12] ГОСТ 33512.3-2015. Определение содержания влаги высушиванием. Часть 3. Влага аналитическая.

[13] ГОСТ 33511-2015. Топливо твердое из бытовых отходов. Определение зольности.

[14] ГОСТ 6382-2001. Методы определения выхода летучих веществ.

[15] ГОСТ Р 55131-2012. Топливо твердое из бытовых отходов. Определение микроэлементов.

[16] <https://1beton.info/proizvodstvo/napolniteli/chto-takoe-tsementnyj-klinker-i-gde-primenyaetsya>.

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНДЕНСАТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ТЭЦ

М.Д. Шавдинова

УО «Казахстанско-Немецкий Университет в Алматы»

e-mail: shavdinova@dku.kz

Аннотация. Приведена методика, учитывающая раздельное влияние присосов воздуха и загрязнений на величину давления пара в конденсаторе. Методика включает совместную работу конденсатора и пароструйного эжектора. На основе данной методики разработан программный комплекс в табличном редакторе Microsoft Excel.

Методика позволяет эксплуатационному персоналу ТЭЦ отслеживать состояние оборудования и оперативно принимать меры. Установлено, что на величину давления пара в конденсаторе большое влияние оказывают загрязнения в конденсаторе.

Ключевые слова: конденсатор, эжектора, диагностика, давление пара, загрязнения труб.

Методику учета раздельного влияния присосов воздуха и загрязнений на величину давления пара в конденсаторе разрабатывали в своих работах Шкловер Г.Г. [1], Аронсон К.Э. [2], Хаеи С.И. [3]. Методика базируется на совместной характеристике конденсатора и эжектора.

В работах [2], [3] разработана диагностическая модель конденсационной установки, основанная на совместной характеристике конденсатора и эжектора. Совместная характеристика конденсатора и эжектора состоит из двух участков. Участок один определяет работу конденсатора при расходах пара, близких к номинальным. Участок два – работу эжектора. Для расчета участка 1 можно использовать любую из известных методик расчета конденсатора [4] – [8].

Расчет первого участка выполнен по методике ВТИ. При расчете первого участка использовалась математическая модель конденсатора.

Расчеты проводились для значений расхода пара, близкого к номинальному $D_k = (0,4-0,6) \cdot D_k^{ном}$, кг/с.

При значении температуры охлаждающей воды $t_{lв}$ определяем давление пара. Определяем значения номинального давления пара $P_k^{ном}$ и номинальной температуры пара $t_k^{ном}$ при номинальном расходе пара $D_k^{ном}$.

Используя характеристику эжектора для сухого воздуха, полученную в результате математического моделирования, определяем давление в эжекторе $P_{эж}^c$ при фактических присосах воздуха.

Разница между фактическим (P_f) и нормативным ($P_{ном}$) давлением в конденсаторе определяется повышенными присосами воздуха $\Delta P_{возд}$ и наличием загрязнений на внутренней поверхности теплообмена $\Delta P_{загр}$:

$$P_f - P_{ном} = \Delta P_{возд} + \Delta P_{загр} \quad (1)$$

По этой методике разработан программный комплекс, реализованный в Microsoft Excel.

Используя программный комплекс, эксплуатационный персонал может проводить диагностику конденсационного оборудования и оперативно принимать меры.

Если $\Delta P_e > 0,5$, выводится диагностическое сообщение – «Отклонение вакуума в конденсаторе из-за повышенных присосов воздуха – велико. Провести поиск мест присосов вакуумной системы».

Если $\Delta P_3 > 0,5$, выводится диагностическое сообщение – «Отклонение вакуума в конденсаторе из-за отложений на трубках – велико. Необходима очистка конденсатор» (рисунок 29).

Используя программный комплекс, проведены расчеты для нескольких значений расхода пара в конденсатор для 3-х видов эжекторов: ЭПО-3-200, ЭП-3-25/75.

Из расчетов получено, что отклонение фактического давления от нормативного определяется преимущественно загрязнением. При расходах пара в конденсатор более 27,78 кг/с и присосах воздуха до 0,008 кг/с влияния воздуха может отсутствовать. Установлено, что влияние воздуха может появиться при $D_k \leq 16,67$ кг/с.

На рисунке 1 приведена совместная характеристика конденсатора и пароструйных эжекторов.

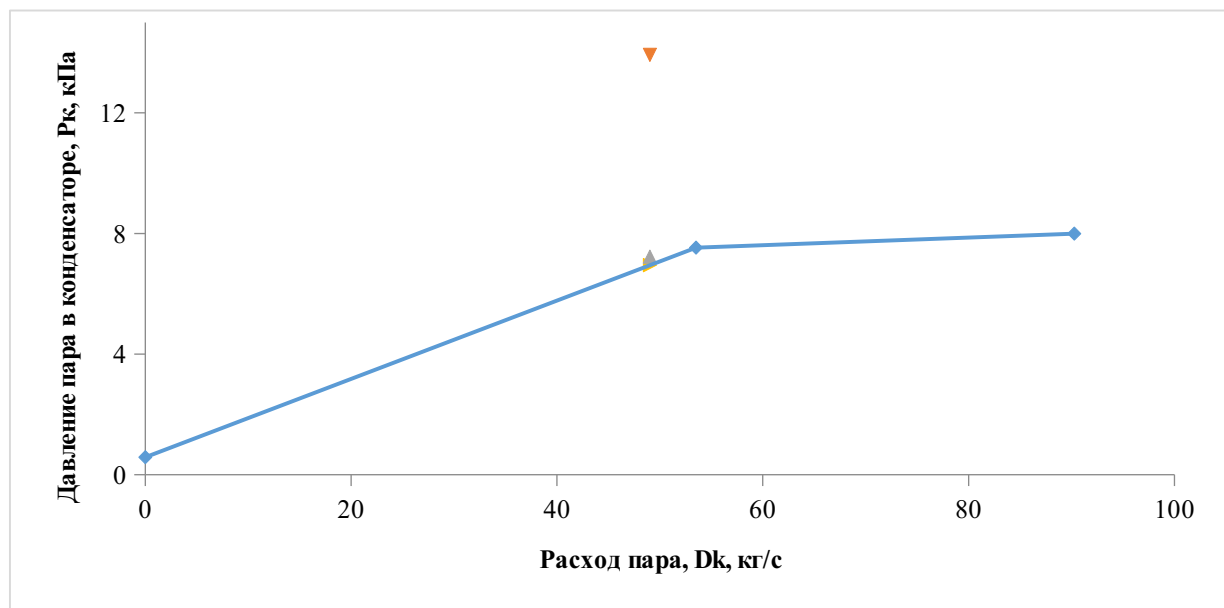


Рисунок 1 – Совместная характеристика конденсатора и эжектора ЭП 3-25/75 при $D_k = 49,03$ кг/с.

Давление пара в конденсаторе: 1 – фактическое; 2 – расчетное; 3 – давление в конденсаторе с учетом влияния присосов воздуха. Участок: I–II – работа конденсатора; II–III – совместная работа конденсатора и эжектора

Получаем из расчетов, что отклонение вакуума в конденсаторе обусловлены отложениями в трубках.

Таким образом, установлено, что основной причиной отклонения вакуума в конденсаторе являются загрязнения поверхности оборудования. В результате чего, определили примерную толщину отложений, которые приводят к таким отклонениям вакуума (таблица 1).

Таблица 1 – Расчет толщины загрязнений

D_k , кг/с	39,25	47,19	49,03	59,19
$k_{факт}$, Вт/(м ² К)	2 277,48	2 147,39	2 474,21	3 068,71
$k_{расчет}$, Вт/(м ² К)	1 046,78	1 043,23	751,79	1 669,25
R_3 , (м ² К)/Вт	0,0005	0,0005	0,0009	0,0003
λ_{32} , Вт/м*К	2			
δ_{32} , м	0,001032	0,000986	0,001852	0,000546

Расчетные значения толщины отложений в трубках для некоторых режимов превышают 1 мм. Для таких значений толщин отложений целесообразно оценить изменение гидравлического сопротивления конденсатора по воде по методике [9] (таблицы 2 и 3).

Таблица 2 – Гидравлическое сопротивление (без отложений)

Наименование	Значения			
Расход пара, D_k , кг/с	39,25	47,19	49,03	59,19
Давление в конденсаторе, p_k , кПа	8,675	9,111	13,925	7,305
Расход охлаждающей воды, G_o , кг/с	2801	2571	2604	4565
Температура охлаждающей воды, t_{lo} , °C	22,4	24,4	26,4	23,3
Гидравлическое сопротивление конденсатора по водяной стороне, H_k , кПа	21,819	18,719	18,779	51,812
Паровое сопротивление конденсатора, Δp_k , кПа	0,22	0,329	0,22	0,752

Таблица 3 – Гидравлическое сопротивление (с отложениями)

Наименование	Значения			
Расход пара, D_k , кг/с	39,25	47,19	49,03	59,19
Давление в конденсаторе, p_k , кПа	8,675	9,111	13,925	7,305
Расход охлаждающей воды, G_o , кг/с	2801	2571	2604	4565
Температура охлаждающей воды, t_{lo} , °C	22,4	24,4	26,4	23,3
Гидравлическое сопротивление конденсатора по водяной стороне, H_k , кПа	33,819	29,019	44,411	122,32
Паровое сопротивление конденсатора, Δp_k , кПа	0,22	0,329	0,22	0,752

На рисунке 2 представлена зависимость гидравлического сопротивления конденсатора по водяной стороне от расхода пара.

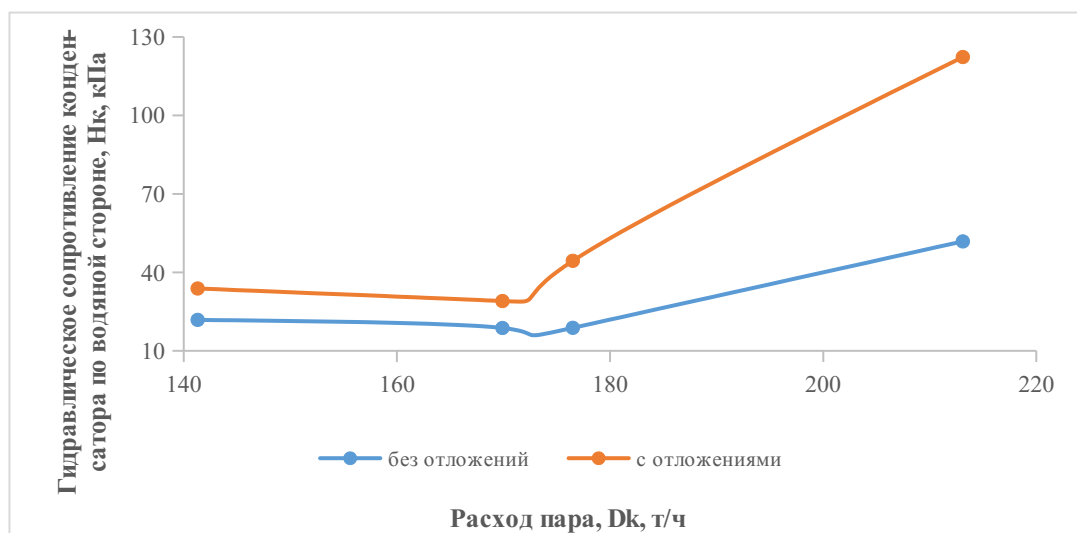


Рисунок 2 – Зависимость гидравлического сопротивления конденсатора по водяной стороне от расхода пара

Из рисунка 2 видно, что гидравлическое сопротивление по водяной стороне конденсатора для рассмотренных расходов пара за счет влияния отложений на поверхности увеличивается от 1,5 до 2 раз. Повышение гидравлического сопротивления по водяной стороне приводит к некоторому сокращению расхода воды через конденсатор.

Выводы

Разработан программный комплекс, позволяющий проводить диагностику состояния конденсационной установки. Программный комплекс реализован в *Microsoft Excel*.

В основу программного комплекса положена методика, учитывающая раздельное влияние присосов воздуха и загрязнений поверхности на давление пара в конденсаторе. Проведены расчеты конденсатора АлЭС ТЭЦ-2 КГ2-6200 и пароструйных эжекторов ЭП 3-25/75, ЭПО-3-200. Из результатов расчетов установлено, что основной причиной изменения давления пара в конденсаторе являются загрязнения поверхности оборудования.

Определены значения отложений на поверхности конденсатора и оценено влияние отложений на гидравлическое сопротивление по водяной стороне конденсатора. Получено, что гидравлическое сопротивление по водяной стороне конденсатора для рассмотренных расходов пара за счет влияния отложений на поверхности увеличивается до 2 раз.

Список литературы

[1] М. О. Шкловер Г.Г. Исследование и расчет конденсационных устройств паровых турбин. Москва: Энергоатомиздат, 1985.

[2] Аронсон. К.Э. Разработка и реализация системы мониторинга состояния теплообменных аппаратов паротурбинных установок в составе информационных комплексов ТЭС. Екатеринбург: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Уральский государственный технический университет, 2008.

[3] Хае. С.И. Разработка и реализация элементов диагностического модуля для мониторинга состояния конденсационной установки паровой турбины. Екатеринбург: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук., 2004.

[4] Shavdinova. M., Borissova N.G. «Mathematical model of a steam turbine condenser». Вестник НИИ РК. Прикладная математика и информационные технологии. № №2 (80), pp. с. 41-46, 2021.

[5] Shavdinova M., Aronson K., Borissova N. «Development of condenser mathematical model for research and development of ways to improve its efficiency,» Journal of Applied Engineering Science (JAES), № Volume 18, Number 4, pp. 577-585, 2020.

[6] Шавдинова М.Д. «Разработка математической модели конденсатора и способы повышения его эффективности» в "Global science and innovations 2019: Central Asia: материалы IV Международной научно-практической конференции", Астана, 2019. - II том. с. 98-101.

[7] Шавдинова М.Д. «Методики расчета конденсатора паровой турбины». Материалы XI Международной научно-технической конференции, посвященная 45-летию образования Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева. Сборник тезисов докладов уч, Алматы, НАО "АУЭС", 2020, с. 76-78.

[8] Шавдинова М.Д. «Разработка математической модели конденсатора паровой турбины». IX Международная научно-практическая конференция "Культура, наука, образование: проблемы и перспективы" (KSE 2021), в очно-дистанционном формате в Нижневарттовском государственном университете, г. Нижневарттовск, Россия, 2021.

[9] Бродов Ю.М., Савельев Р.З. Конденсационные установки паровых турбин: Учебн. пособие для вузов, Москва: Энергоатомиздат, 1994, 288с.

DIAGNOSTIC MODEL OF THE CHP STEAM TURBINE CONDENSER

M.D. Shavdinova

IE "Kazakhstan-German University in Almaty"

e-mail: shavdinova@dku.kz

Abstract. A technique is given that takes into account the separate influence of air suction and pollution on the vapor pressure in the condenser. The technique includes the joint operation of a condenser and a steam jet ejector. Based on this technique, a software package was developed in the spreadsheet editor Microsoft Excel.

The methodology allows the operating personnel of the CHP plant to monitor the condition of the equipment and quickly take action. It has been established that the vapor pressure in the condenser is greatly affected by pollution in the condenser.

Key words: condenser, ejector, diagnostics, steam pressure, pipe pollution.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ТРУБОПРОВОДНОЙ СЕТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

У.Р. Шайхуллин, Р.С. Зарипова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
2002ural@mail.ru

Аннотация: В статье приводится методика определения наиболее выгодного варианта трассировки тепловой сети. Выявлены критерии оптимальности, отражающие конструктивные, эксплуатационные, экономические и другие факторы, влияющие на работу систем теплоснабжения. Описывается функционал информационной системы для расчёта оптимального маршрута трубопроводной трассы.

Ключевые слова: программное обеспечение, управление, теплоснабжение, энергосбережение, тепловая сеть, многокритериальная оптимизация.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY AND INFORMATION SYSTEM FOR CALCULATING THE OPTIMUM ROUTE FOR THE PIPE NETWORK OF A HEAT SUPPLY SYSTEM

Shaikhullin Ural Rudikovich, Zaripova Rimma Soltanovna
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
2002ural@mail.ru

Abstract: The article provides a method for determining the most advantageous option for tracing the heat network. Optimality criteria reflecting constructive, operational, economic and other factors affecting the operation of heat supply systems are identified. The functional of the information system for calculating the optimal route.

Keywords: information system, management, heat supply, energy saving, heating network, multi-criteria optimization.

К числу основных проблем тепловых сетей относятся: плохое состояние систем теплоснабжения, высокий износ теплосетей, невысокая надежность функционирования, большие энергетические потери, загрязняющее воздействие на окружающую среду; потребность в больших инвестициях для надежного функционирования, разобщенность объектов и

систем теплоснабжения. В связи с этим для развития тепловых сетей необходимо основательно подходить к строительству новых и реконструкции действующих систем теплоснабжения [1].

Решение такой проблемы, как беспорядочное развитие систем теплоснабжения и повышение их эффективности, является важной задачей энергетического комплекса и напрямую связано с автоматизацией рассматриваемых систем. Основной проблемой при этом является перевод существующей информации в электронную форму и её последующее применение современными информационными системами [2]. На сегодняшний день нет единого решения задачи управления энергетическими системами городов. Каждая крупная энерговырабатывающая отрасль применяет свои разработки в решении задачи автоматизации своих объектов, что затрудняет их использование в смежных отраслях. Применяя эти подходы к системам теплоснабжения, можно добиться уменьшения затрат при строительстве новых или реконструкции существующих систем. Одним из основных вопросов при этом является выбор наиболее оптимального маршрута трубопроводной магистрали между источником и абонентом тепловой сети [3].

При проектировании тепловой сети можно столкнуться с проблемой трудоемкости расчета, так как чем больше подключаемых потребителей, тем разветвлённее должна быть тепловая сеть. Эту проблему можно решить путём их автоматизации различными программно-вычислительными системами, которые позволят сократить временные и трудовые затраты при проектировании сети. В этом случае необходимо разработать методику расчёта оптимального маршрута трубопроводной трассы системы теплоснабжения и реализовать её в виде программы. Данную задачу можно решить с помощью методов системного анализа [4]. Для этого необходимо определиться с критериями, относительно которых будет проводиться оптимизация, и подобрать для них методы анализа.

В условиях неизвестности исходных данных на первоначальном этапе проектирования за критерии оптимальности необходимо брать укрупнённые характеристики, которые описывают особенности проектируемой системы. В настоящее время можно выделить такие характеристики, как время строительства, тепловые потери, надёжность, металлоёмкость и оборот теплоты, а также в качестве дополнительной характеристики можно применить дисперсию температуры у абонента. Основным недостатком в данном методе оптимизации является человеческий фактор: ошибочный выбор экспертами веса критериев, что может привести к неправильному решению. Этого можно избежать путём

применения метода, ограничивающего заведомо невыгодные варианты трассировки [5]. Смысл этого метода состоит в последовательном рассмотрении пар трассировок. Если все параметры оптимизации в одном из двух вариантов содержат величины, строго большие соответствующих величин во втором варианте, то первую строку можно исключить из поиска оптимальных вариантов. Для реализации метода определения наиболее выгодного варианта трассировки тепловой сети необходимо разработать информационную систему для расчёта оптимального маршрута трубопроводной трассы. Её использование позволит сократить временные и трудовые затраты при проектировании.

Реализация информационной системы осуществляется на высокоуровневом объектно-ориентированном языке программирования Python. Разработанная программа дает возможность рассчитать наиболее оптимальный вариант трассировки с учётом укрупнённых критериев материалоемкости, надёжности, тепловых потерь времени строительства и равномерности распределения температуры у потребителя. На первом этапе расчёта необходимо выбрать метод и критерии оптимизации. Далее необходимо ввести исходные данные для расчёта, после чего выполняются проверка корректности введённой информации, и программа проводит расчёт. Затем вводятся данные по второй схеме и так далее для всех рассматриваемых вариантов трассировки. При выборе метода оптимизации с экспертными оценками на следующем этапе задаются значения каждого критерия и затем выводится информация, содержащая рассчитанные критерии, наиболее выгодный вариант трассировки и диаграмма для каждой схемы теплоснабжения.

Разработанная информационная система дает возможность получить не только графическое представление результатов расчёта оптимального маршрута, но и табличное представление, что упрощает анализ полученных данных. Кроме того имеется возможность расчета оптимального маршрута с использованием метода экспертных оценок, а также методом исключения заведомо невыгодных вариантов в независимости друг от друга. Всё это позволяет существенно уменьшить трудоёмкость и время выбора оптимального варианта трубопроводной магистрали при проектировании систем теплоснабжения.

Источники

1. Лобода А.В., Чуйкина А.А. О согласовательном проектировании систем теплоснабжения на основе системного анализа. Российский журнал строительства и архитектуры. 2020. № 3. С. 35-45.
2. Галеев С.Р., Зарипова Р.С. Информационно-измерительная система технологического контроля параметров центрального теплового пункта / Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: Материалы IV российской молодежной научной школы-конференции. 2016. С.328-329.
3. Мелкумов В.Н., Тульская С.Г., Чукина А.А., Дубинин В.Ю. Решение многокритериальной задачи оптимизации транспорта тепловой энергии. Достижения в области интеллектуальных систем и вычислительной техники. 2021. Том. 1258. С. 3-10.
4. Мелькумов В.Н., Кузнецов И.С., Кобелев В.Н. Выбор математической модели трасс тепловых сетей / Научный вестник ВГАСУ. Серия: Строительство и архитектура, 2021. №2. С. 31–36.
5. Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Разработка информационной системы контроля параметров системы отопления / Энергетика и энергосбережение: теория и практика: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. КузГТУ, 2018. С. 335.1-335.3.
6. Гапоненко С. О. Метод повышения эффективности тепловой изоляции трубопроводов / С. О. Гапоненко, Р. А. Фазлиев, М. В. Калинина // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 142-147.
7. Соловьева О.В. Исследование влияния пористости волокнистого материала на значение энергетической эффективности / О. В. Соловьева, С. А. Соловьев, А. Р. Талипова [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 56-64.
8. Ефремов А. А. Анализ зарубежного опыта в части построения энергетической структуры ТЭС на твердых коммунальных отходах / А. А. Ефремов, А. Н. Дудолин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 3-14.

МРНТИ 49.39.31,
УДК 621.45.046.5

ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ РЕМОНТ КОМПЕНСАТОРОВ ТРУБОПРОВОДОВ ОТБОРОВ ПАРА СЕТЕВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ТУРБОУСТАНОВОК Т110/120-130 НА НЧ ТЭЦ.

Р.Т.Шакирзянов, А.Г.Гараев

Набережночелнинская ТЭЦ.

e-mail: shakirustt@gmail.com , garaevag@nchtec.tatenergo.ru

***Аннотация.** В статье рассмотрен метод восстановления компенсаторов отборов пара на НЧ ТЭЦ турбоустановок Т110/120-130 имеющие сквозную коррозию металла линз с применением композитных материалов, проблемы при ремонтно-восстановительных работах с применением дуговой сварки, преимущества применения композитных материалов их характеристики, требования к композитным составам применяемых при ремонте.*

***Ключевые слова:** подогреватель сетевой, отбор ПСГ, композит, ремонт компенсатора, линзовый компенсатор, присосы, восстановление компенсатора, сетевая вода.*

Введение

Набережночелнинская ТЭЦ входит в состав АО «Татэнерго». Является одной из крупнейших тепловых станций России. Потребителями тепловой энергии являются жилые массивы Автозаводского и Центрального района города, заводы КамАЗа. Установленная мощность станции: 1180 МВт, тепловая мощность: 4092 Гкал/ч, используемое топливо топлива: природный газ, мазут.

Для производства электрической энергии и обеспечения тепловой энергией потребителей на набережночелнинской ТЭЦ установлены одиннадцать турбогенераторов, восемь из которых имеют теплофикационные отборы для подогрева сетевой воды — это турбины марок: Т-100-130, Т-175-130, Т-185-130. В данных турбинах нагрев сетевой воды горячего водоснабжения происходит в сетевых подогревателях отработавшим паром из отборов турбины. Для ступенчатого подогрева сетевой воды установлены два сетевых подогревателя на каждой из турбин. Один из подогревателей ПСГ-1 имеет постоянно действующие отборы и находится в работе в паре с турбиной, второй имеет отключаемые отборы пара ПСГ-2 и используется при увеличении тепловой нагрузки.

Производственную тепловую нагрузку удовлетворяют обычно паром, отработавшим в турбине и имеющим давление 0,7—4,0 МПа, отопительную—либо сетевой водой с температурой 70—150 °С, паром из отборов турбины с давлением 0,05—0,50 МПа. В холодное время года воду нагревают до 120—150 °С. Доля тепловой нагрузки горячего водоснабжения составляет примерно 25 % максимальной отопительной нагрузки зимой и 20 % летом. Продолжительность отопительного сезона в средней полосе России составляет около 5000 ч/год. Годовое время использования максимума отопительной нагрузки составляет около 3000 ч.

Основная часть

Трубопроводы отбора пара на сетевые подогреватели по своему исполнению имеют как вертикальные, так и горизонтальные участки, на которых расположены компенсаторы тепловых расширений трубопроводов. При работе турбины ПСГ-1 находится в работе постоянно его трубопроводы отбора и компенсаторы больше подвержены постоянным температурным напряжениям, а также напряжениям, возникающим при линейном расширении трубопровода в отличие от ПСГ-2. Со временем температурные расширения, а также механические перемещения трубопроводов приводят к более быстрому износу компенсаторов и самих трубопроводов появлению на них трещин, свищей,

коррозионному износу, утонению стенок трубопроводов, линз компенсаторов, внутреннего стакана. Как показывает практика в первую очередь наибольшему износу подвержены линзовые компенсаторы так как технологически они имеют толщину стенки меньше чем трубопроводы к тому же на нем концентрируются температурные расширения трубопроводов. Обычно на линзовых компенсаторах образуются точечные свищи, хаотично расположенные по периметру, а также на гнутых частях линз, если компенсатор установлен на вертикальном участке, либо в нижней части если компенсатор расположен на горизонтальном участке трубопровода. Для устранения такого рода дефектов обычно применяют дуговую сварку, но у данного метода есть существенные недостатки, во время нагрева металл начинает расширяться, его расширению препятствуют более холодные части металла, в результате сопротивления расширению возникают внутренние напряжения что чревато повторным появлением трещин, свищей на линзах компенсатора при работе турбоустановки. Вторичной причиной возникновения напряжений и деформаций при сварке является усадка металла шва при переходе из жидкого состояния в твердое. Еще одним важным моментом при использовании дуговой сварки является то что линзы компенсатора при заварке точечных свищей будут иметь утолщения в местах сварки, что вызовет его неравномерную работу на сжатие и расширение, а также концентрацию в этих местах внутренних напряжений. Одним из наиболее простых вариантов является замена компенсаторов, однако замена возможна только в период капитального ремонта что в любом случае требует эксплуатации до наступления капитального ремонта. Произвести замену всех компенсаторов на турбинах с подобными дефектами задача, сложная и требующая затрат с учетом того, что на отборах пара ПСГ-1 их количество составляет шесть штук. Замена так же усложняется труднодоступностью месторасположения компенсаторов на вертикальных участках трубопровода отбора пара. На НЧ ТЭЦ для устранения такого рода дефектов и продления срока службы компенсаторов взамен использования метода наплавки используется двухкомпонентный ремонтно-восстановительный композитный материал BELZONA 1511 на основе эпоксидно-фенольной смолы с наполнителем из кремнистой стали, для восстановления оборудования, поврежденного эрозией и коррозией, которое эксплуатируется при температурах до 150°C-160°C при условиях погружения в рабочую среду а устойчивость к сухому жару 210 °C что выше температуры пара в отборах ПСГ.

Основными преимуществами применения состава является то что: состав не подвержен эрозии и коррозии, подходит для эксплуатации при высоких температурах, не дает усадки при отвержении, высокая адгезия к таким металлам, как нержавеющая сталь и специальные стали. Подходит для применения в:

- Отстойники и осветлители
- Ректификационные колонны
- Корпуса двигателей и насосов
- Теплообменники
- Трубы
- Технологические емкости
- Скрубберы
- Резервуары

Материал должен наноситься при температуре от 10°C до 40°C время отверждения до возобновления эксплуатации зависит от условий окружающей среды указанных в таб. 1.

таб.1.

температура	10 °C	20 °C	30 °C	40°C
Легкая нагрузка	72ч	18ч	5ч	4ч
Полная механическая или тепловая нагрузка	Требуется доотверждение	30ч	24ч	6ч
Погружение химической среды	Требуется доотверждение	Требуется доотверждение	60ч	8ч

Завершение молекулярной реакции при нанесении дополнительного высокотемпературного покрытия Belzona материал Belzona 1511 будет доотвержден в процессе эксплуатации, в этом случае необходимо выдержать соответствующее время отверждения, указанное для покрытия Belzona . Необходимо выдержать время отверждения Belzona® 1511 до начала использования в условиях, указанных в таблице 2.

табл. 2.

Температура	Легкая нагрузка	Полная механическая или тепловая нагрузка	Контакт с химическими веществами
10°C	72 часа	Требуется доотверждение	Требуется доотверждение
20°C	18 часов	30 часов	Требуется доотверждение
30°C	5 часов	24 часа	60 часов
40°C	4 часа	6 часов	8 часов

От начала смешивания состав Belzona® 1511 должен быть использован в сроки, указанные в таблице 3.

таб. 3.

температура	10 °C	20 °C	30 °C	40°C
Использование всего материала в течение	120мин	60мин	50миг	40мин

С учетом того что толщина стенок линз нового компенсатора составляет около 3х мм то толщина наносимого слоя состава для восстановления его геометрических размеров достаточна от 3х до 4х мм. На практике в среднем при ремонте компенсаторов температура окружающей среды будет составлять от 25 до 40 градусов что позволит составу укрепиться в течении 4-5 часов. И для полного отверждения до 24 часов. По сравнению с использованием дуговой сварки восстановительный ремонт занимает меньше времени что сокращает сроки ремонта и увеличивает его качество что уменьшает простой оборудования.

Выводы

Применение композитных материалов при ремонтно-восстановительных работах в условиях ТЭЦ имеет ряд преимуществ: сокращение сроков ремонта и простоя оборудования, привлечение меньшего числа ремонтного персонала к устранению коррозионных дефектов компенсаторов, трубопроводов, а также меньшие требования к навыкам ремонтного персонала. Дефекты, устраненные с применением композитных материалов трубопроводов, компенсаторов паровых турбин при соблюдении технологии их нанесения исключают вероятность повторного появления так как не подвержены коррозионному износу, а также соответствуют температурным параметрам рабочей среды трубопроводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Ю. Б. Ивасишина, С. И. Валеев статья “БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛИНЗОВЫХ КОМПЕНСАТОРОВ С ДЕФЕКТАМИ ФОРМЫ” // <https://cyberleninka.ru/article/n/bezopasnaya-ekspluatatsiya-linzovyh-kompensatorov-s-defektami-formy>

- [2] Компенсаторы линзовые осевые типа КЛО по ТУ 3683-016-00220302-98
- [3] Н.Н. Галашов “ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ” стр. 51-56
- [4] Композитные материалы [Электронный ресурс]
<https://www.belzona.com/ru/applications/hex.aspx>
- [5] Большая энциклопедия нефти и газа [Электронный ресурс]
<https://www.ngpedia.ru/id137431p2.html>

REFERENCE LIST

- [1] Yu. B. Ivasishina, S. I. Valeev article “SAFE OPERATION OF LINEAR COMPENSATORS WITH SHAPE DEFECTS” // <https://cyberleninka.ru/article/n/bezopasnaya-ekspluatatsiya-linzovyh-kompensatorov-s-defektami-formy>
- [2] Axial lens compensators of the CLO type according to TU 3683-016-00220302-98
- [3] N.N. Galashov “THERMAL MECHANICAL AND AUXILIARY EQUIPMENT OF POWER PLANTS” pp. 51-56
- [4] Composite materials [Electronic resource] <https://www.belzona.com/ru/applications/hex.aspx>
- [5] Big Encyclopedia of Oil and gas [Electronic resource] <https://www.ngpedia.ru/id137431p2.html>

RESTORATION REPAIR OF COMPENSATORS OF PIPELINES FOR STEAM EXTRACTION OF NETWORK HEATERS OF TURBINE INSTALLATIONS T110/120-130 AT LOW FREQUENCY CHP.

R.T.Shakirzyanov, A.G.Garaev

Naberezhnye Chelny CHP.

e-mail: shakirustt@gmail.com , garaevag@nchtec.tatenergo.ru

Annotation. The article discusses the method of restoring steam extraction compensators at low frequency CHP turbine installations T110/120-130 having through corrosion of lens metal using composite materials, problems during repair and restoration work using arc welding, the advantages of using composite materials, their characteristics, requirements for composite compositions used in repair.

Keywords: water heater, boiler, composite, compensator repair, lens compensator, suction cups, compensator restoration, feed water heater.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Эйтерник¹ А. Ю., Борисова² О. В.

^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

¹ adeleyternik@yandex.ru, ²vladimirobna@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены преимущества внедрения инновационных технологий и возможные способы повышения производительности тепловых электростанций. Выявлены более эффективные технологии, также акцентировано внимание на решение экологических проблем в теплоэнергетике.

Ключевые слова: тепловая электростанция, уголь, энергоэффективность, коэффициент полезного действия, установка, энергоблок, инновационные технологии.

WAYS TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY WITH THE HELP OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THERMAL POWER ENGINEERING

Eyternik¹ A.Y., Borisova² O.V.

^{1,2} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan

¹adeleyternik@yandex.ru, ²vladimirobna@mail.ru

Annotation. The article discusses the advantages of introducing innovative technologies and possible ways to increase the productivity of thermal power plants. More efficient technologies have been identified, and attention is also focused on solving environmental problems in the heat power industry.

Keywords: thermal power plant, coal, energy efficiency, efficiency, installation, power unit, innovative technologies.

Введение

За прошедшие десять лет в России наблюдается стремительный рост строительства тепловых электростанций (ТЭС) для выработки энергии. За счет большого количества месторождений полезных ископаемых, таких как природный газ, нефтепродукты или же уголь, генерация теплоэнергии происходит за счет сжигания ископаемого топлива, а вследствие этого ТЭС будет сохранять конкурентоспособность,

несмотря на технологическое развитие нетрадиционной (альтернативной) и атомной энергетики (АЭС).

В силу того, что на АЭС возможны чрезвычайные ситуации с выбросом радиационных выбросов, а предприятия с использованием альтернативных видов источников энергии зависят от погодных условий, количество тепловых электростанций может продолжить увеличиваться. Но нельзя не учитывать значительный минус ТЭС – выбросы вредных веществ в окружающую среду, а также сокращение используемых природных ресурсов.

Главной же проблемой современной ТЭС является низкий уровень эффективности трансформации энергии при сжигании топлива из-за невысокого значения коэффициента полезного действия (КПД - 35-40%). Инновационные технологии позволяют максимизировать это значение и повысить производительность тепловых электростанций.

Основная часть

Одним из вероятных решений может являться переход на иной уровень параметров пара, т.е. суперсверхкритические параметры (ССКД), которым соответствуют давление свежего пара свыше 25 МПа и температура более 565°C [1].

Такой переход к энергоблокам ССКП обусловлен следующими обстоятельствами:

1. Для повышения КПД ТЭС требуется повышение параметров пара, что является особенно эффективным способом. Повышение параметров пара происходит за счёт нагрева насыщенного пара. Когда пар полностью выпарится из воды, он становится сухим и перегретым. Такое явление называется промежуточным перегревом пара. Для достижения необходимого эффекта вводят второй промежуточный перегрев. Также следует подчеркнуть, что используемое топливо не будет влиять на результат повышения параметров пара.

2. Значительное уменьшение тепловых выбросов в окружающую среду из-за повышения параметров пара. Это является практически главным путём решения глобального потепления климата.

3. Повышение первичных параметров при обычном способе сжигания. Этот метод подразумевает в себе сжигание твердого топлива, которое, вероятнее всего, будет вытеснять как жидкое, так и газообразное топливо.

Правильно подобранные параметры во многом определяют работу энергоблоков ССКП. Рациональный выбор диапазона зависит от уровня развития в стране машиностроения и металлургии. В России переход к энергоблокам ССКД может быть осуществлен в ближайшем будущем, так как этот переход имеет свои достоинства, изложенные ранее.

Вторым действенным методом является использование на ТЭС маневренных генерирующих установок с совмещенными газовым и паровым циклами [2]. В связи с тем, что с каждым днем растет количество потребляемой энергии, появляется проблема управления остропиковыми нагрузками в линиях электропередач.

Решение данного вопроса заключается в установке пиковых агрегатов. Важными условиями в использовании этого типа установок должны являться быстрое включение и максимальный набор мощности за короткий промежуток времени, т.е. они должны обладать наилучшими маневренными свойствами (промежуток времени от начала пуска до полного набора мощности должен отсчитываться минутами). Ими могут являться гидроаккумуляторные и гидроэлектростанции (ГЭС), паротурбинные и газотурбинные установки.

Первые две установки имеют высокие маневренные качества, но они нерентабельны в связи с тем, что гидроаккумуляторные станции имеют дополнительную потерю энергии, а для ГЭС природные ресурсы истощены.

Вторые две установки уже не имеют особые капитальные затраты. Из них большей маневренностью будут обладать газотурбинные установки, так как у них вращение лопаток турбин происходит не из-за пара, а за счет сжигания топлива. Но они обладают существенным недостатком. У таких установок значительно высокое потребление топлива. Выходом из данной ситуации может являться создание целостной парогазовой установки [3]. Остаточная теплота сгорания природного газа в таком агрегате идет на производство водяного пара, который уже, в свою очередь, приводит в движение паротурбинную установку. КПД парогазового агрегата может достигать до 55%.

В настоящий момент продолжаются работы по изучению, модернизированию и применению парогазовых установок. За счет их маневренности будет компенсироваться перепад нагрузок в электросетях.

Третий способ повышения энергоэффективности при помощи инновационных технологий – применение водоугольного топлива (ВУТ) [4]. ВУТ- новый вид органического топлива, получаемого при смешивании тонкоизмельченного угля, пластификатора и воды. Внедрение ВУТ в ТЭС позволит существенно снизить количество вредных выбросов, имеет эксплуатационное преимущество над пылевым и слоевым сжиганием топлива и более высокие экономические показатели. Сжигание водоугольного топлива практически безотходно (не менее 97%), так как мелкие частицы угля не превышают размеров более 120 мкм и их горение происходит более полным образом, чем сгорание крупных частиц при слоевом сжигании угля [5].

Применение ВУТ не имеет широкое распространение по одной весомой причине - несовершенство технологий приготовления суспензии для ВУТ. Они включают в себя, такие процессы как: тонкое измельчение угля, механическое сгущение, а также стабилизацию суспензии. На данный момент разработаны только мельницы с

традиционной конструкцией, где составляющие ВУТ измельчаются до равных размеров [6]. Также для классического метода приготовления ВУТ требуются существенные энергозатраты, которые увеличивают себестоимость ВУТ.

Но несмотря на это, данная технология продолжает развиваться. Имея такие недостатки, она все равно является более экологичной, экономичной и эффективной, так как получение ВУТ обеспечивается получением угля низкого качества.

Вывод

Таким образом, внедрение инновационных технологий в процессы теплоэнергетики позволяют увеличить энергоэффективность тепловых электростанций и сделать стандарты экологии более жесткими. В России постепенно начинают заменяться устаревшие энергоблоки на более новые и усовершенствованные. Данный перечень технологий по повышению энергоэффективности далеко неполный. Однако даже внедрение этих инноваций позволит существенно сократить выбросы вредных веществ в окружающую среду и повысить производительность ТЭС.

Источники

- [1] Бабенко И. А., Шульман В. Л. Технологии суперсверхкритических параметров пара в современной энергетике. <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/66477/1/978-5-8295-0616-2-2018-17>.
- [2] Барановский И. Н. Маневренные характеристики парогазовых установок утилизационного типа. <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/6071/>
- [3] Чумаков, Г. А. Инновационные технологии в теплоэнергетике / Г. А. Чумаков // Аллея науки. – 2020. – № 2(41). – С. 59-61. – EDN UHANIВ.
- [4] Режимы мощных паротурбинных установок – требования к маневренности паротурбинных паротурбинных установок. <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/rezhimy-moschnyh-paroturbinnih-ustanovok-8.html>
- [5] Зацаринная Ю. Н. Применение динамических компенсаторов искажений напряжения для повышения надежности системы электроснабжения / Ю. Н. Зацаринная, С. М. Маргулис, Е. А. Федотов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10. № 1(37). С. 55-63.
- [6] Лысак Д. В., Ростовщикова Д. В., Перминова Л. Г. Водугольное топливо в теплоэнергетике. <https://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/pdf/2/2d.pdf>
- [7] А.В. Паздерин, В.О. Самойленко, Н. Д. Мухлынин, П. А. Крючков. Ценовые характеристики источников электроэнергии мини и микрогрид // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 122-139.
- [8] Бекмуратова Б. Т. Применение водугольного топлива в теплоэнергетике // Бюллетень науки и практики. 2020. №20.

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»

УДК 533.682

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЫ ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ

Дюсембаева А.Н., Танашева Н.К., Тусыпбаева А.С.
НАО «Карагандинский университет имени академика Е. А. Букетова»,
Караганда
¹aikabesoba88@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматриваются возможности использования системы вращающихся цилиндров в составе ветротурбины. Были измерены аэродинамические силы в поперечном потоке цилиндра и системы из двух цилиндров. Разработан метод определения оптимального расстояния между цилиндрами при их поперечном прохождении.

Мы экспериментально определили условия, при которых эффект Магнуса способствует наибольшему увеличению лобового сопротивления и, соответственно, повышению КПД ветротурбины. Это может быть использовано для создания многолопастных ветряных турбин нового поколения на основе эффекта Магнуса. Аэродинамические характеристики цилиндров диаметром 10 см, то есть вращательное движение, определяются максимальным значением с коэффициентом подъемной силы и коэффициентом лобового сопротивления. Эти результаты полезны для нас на практике, поскольку их можно использовать в двигателях с меньшей скоростью ветра. В местной экономике использование местной ветроэнергетики является удобным, доступным и экологически чистым способом при минимальной скорости ветродвигатель сосредоточен на сокращении дефицита электроэнергии, который является одной из ключевых проблем в сельской местности.

Ключевые слова: вращающиеся цилиндры, эффект Магнуса, ветротурбины, коэффициент лобового сопротивления.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE DRAG FORCE OF A COMBINED WIND TURBINE

A.N. Dyusembaeva¹, N.K. Tanasheva², A.S. Tussypbaeva³
^{1,2,3}Karaganda Buketov University, Karaganda
¹aikabesoba88@mail.ru

Annotation. In this paper, the possibilities of using a system of rotating cylinders as part of a wind turbine are considered. The aerodynamic forces in the transverse flow of the cylinder and the two-cylinder system were measured. A method for determining the optimal distance between cylinders during their transverse passage has been developed.

We have experimentally determined the conditions under which the Magnus effect contributes to the greatest increase in drag and, accordingly, to an increase in the efficiency of the wind turbine. This can be used to create multi-blade wind turbines of a new generation based on the Magnus effect. The aerodynamic characteristics of cylinders with a diameter of 10 cm, that is, rotational motion, are determined by the maximum value with the coefficient of lift and the coefficient of drag. These results are useful for us in practice, since they can be used in engines with lower wind speeds. In the local economy, the use of local wind power is

a convenient, affordable and environmentally friendly way at a minimum speed. The wind turbine is focused on reducing the shortage of electricity, which is one of the key problems in rural areas.

Keywords: rotating cylinders, Magnus effect, wind turbines, drag coefficient.

Введение

Перспективы использования ветроэнергетики определяются наличием соответствующих ветроэнергетических ресурсов. Казахстан исключительно богат ветровыми ресурсами. Порядка 50% территории Казахстана имеет среднегодовую скорость ветра 4-5 м/с, а ряд районов имеет скорость ветра 6м/с и более, что предопределяет очень хорошие перспективы для использования этих ресурсов. По оценкам экспертов, Казахстан, одна из стран мира, с наиболее подходящими условиями для развития ветроэнергетики.

Основными преимуществами ветроэнергетики являются: отсутствие загрязнения окружающей среды - производство энергии из ветра не приводит к выбросам вредных веществ в атмосферу или образованию отходов; простое обслуживание, быстрая установка, низкие затраты на техническое обслуживание и эксплуатацию [1-6].

Но, несмотря на это, в условиях существующего рынка электроэнергии ветроэнергетические ресурсы Казахстана практически не осваиваются. Главной причиной является неконкурентность ветроэнергетики на рынке электроэнергии. Стоимость за электроэнергию от ВЭС с учетом возврата инвестиций может составлять порядка 8-12 тг/кВтч.

Ветротурбины с вертикальной осью, работающие по принципу аэродинамического сопротивления, имеют относительно низкий КПД, составляющий от 20 до 30%, но у них есть большое преимущество, заключающееся в том, что они могут работать на полную мощность и производить энергию в районах с низким ветровым потенциалом. Существует несколько способов улучшить коэффициент мощности ветряной турбины этого типа, например, путем создания идеальной формы лопастей или путем выбора оптимального количества ступеней ротора [1].

Авторы работы провели экспериментальные исследования по нахождению наилучшего варианта конструкции, комбинированного ВЭУ с вертикальной осью в дозвуковой аэродинамической трубе при различных значениях скорости ветра. Результаты показывают, что в случае объединения двух турбин (ВЭУ с вертикальной осью вращения и ВЭУ типа Савониус) более высокая производительность получается по сравнению с ВЭУ с вертикальной осью вращения [2].

ВЭУ с вертикальной осью вращения работающие на основе эффекта Магнуса имеют достоинства в виде выработки электрической энергии начиная с 3 м/с [3-6]. В статье [3] описывается управление вихрями на концах цилиндров, создаваемыми ветротурбиной Magnus вертикального

типа. Ветроурубина состоит из трех круглых цилиндров. Каждый цилиндр вращается вокруг своей собственной вертикальной оси и движется по орбите. Вихри на концах цилиндров приводят к снижению мощности выработки электроэнергии и аэродинамическому шуму. Установлено, что путем добавления защитных пластин, расположенных на обоих концах лопастей цилиндра можно увеличить эффективность работы ВЭУ.

Целью работы является изучения силы лобового сопротивления, а также его коэффициента комбинированного ветродвигателя с вертикальной осью вращения.

Методика исследования.

Аэродинамический расчет любого аппарата связан с определением аэродинамических сил и моментов, действующих на него. Только в некоторых частных случаях данная задача может быть решена теоретическим путем, но теоретическая схема явлений в аэродинамике не всегда точно описывает их. Поэтому экспериментальный путь оказывается в большинстве случаев более надежным, но при условии соблюдения условий гидродинамического подобия [4-6].

Для расчета коэффициента лобового сопротивления C_x в ходе выполнения работы использовалась следующая формула:

$$C_x = \frac{\Delta F_x}{\rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot S} \quad \text{или} \quad C_x = \frac{2F_x}{\rho v^2 \cdot S}$$

Исследованы значения силы лобового сопротивления при числах оборотов комбинированных цилиндров 300 об/мин, 500 об/мин и 700 об/мин.

Ниже на рисунке 2 приведена зависимость силы лобового сопротивления вращающихся цилиндров диаметром 4 см, вращающихся в вертикальном направлении, от скорости потока.

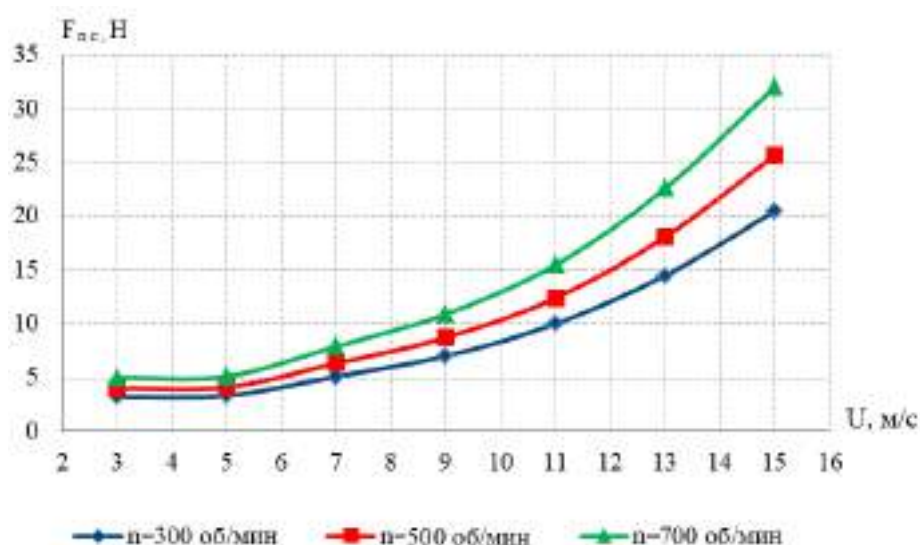


Рис. 1. Зависимость силы лобового сопротивления от скорости потока

Из зависимости видно, что с ростом числа оборотов комбинированных вращающихся цилиндров 300 об/мин, 500 об/мин и 700 об/мин увеличивается сила лобового сопротивления по мере увеличения скорости воздушного потока. Это объясняется тем, что поток, движущийся с определенной скоростью, воздействует на поверхность тела, с напорной силой. Величина этой силы прямо пропорциональна скорости потока, которая растет вместе со скоростью. А сила лобового сопротивления обратно направлена к той же напорной силе. При увеличении скорости потока под действием напорной силы возрастает и сила лобового сопротивления исследуемого ветродвигателя. Поэтому сила лобового сопротивления возрастает при увеличении скорости воздушного потока.

На рис.2 приведена зависимость коэффициента лобового сопротивления от числа Рейнольдса при изменении скорости потока от 3 до 15 м/с. Числа оборотов поворотных цилиндров комбинированного диаметра 4 см, вращающихся в вертикальном направлении, равны 300 об/мин, 500 об/мин и 700 об/мин.

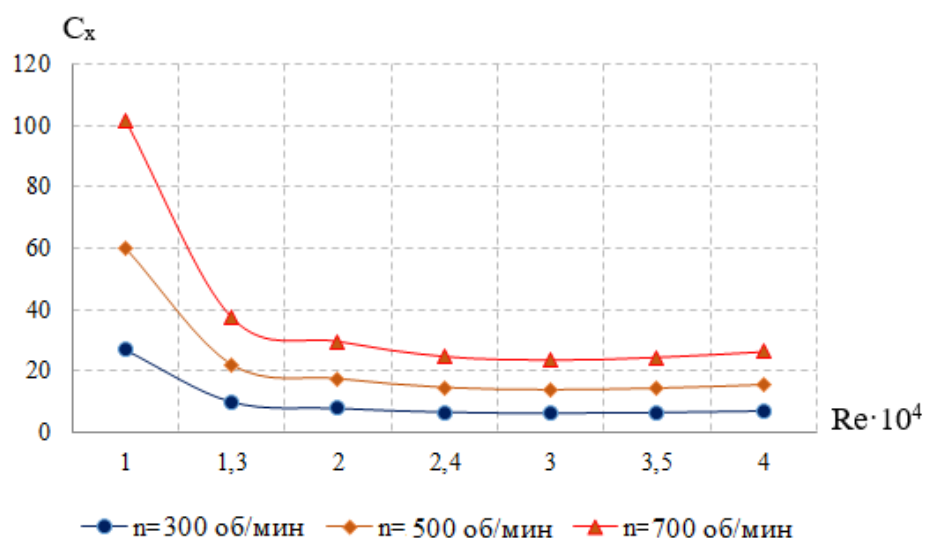


Рис. 2. Зависимость коэффициента лобового сопротивления от числа Рейнольдса

Из зависимости видно, что по мере увеличения числа Рейнольдса коэффициенты лобового сопротивления уменьшаются. Когда поток воздуха обтекает цилиндр, вихревой поток образуется за пределами цилиндров. Вихревые потоки создают лобовое сопротивление цилиндров. Величина вихревого потока зависит от скорости воздушного потока.

Таким образом, при меньшей скорости потока, т. е. при меньшем числе Рейнольдса ($1 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4$), увеличение скорости потока интенсивно уменьшает объем вихревого потока в обратном потоке. Наблюдается быстрое снижение коэффициентов лобового сопротивления вращающихся цилиндров. Когда скорость потока большая, т. е. число Рейнольдса $4 \cdot 10^4$ и выше, за цилиндрами образуется сплошная вихревая зона. На его размер не

влияет увеличение скорости потока. Таким образом, стабилизируется коэффициент лобового сопротивления.

Заключение

При исследовании аэродинамических характеристик ветроэнергетической установки вращающихся цилиндров с вертикальной осью вращения, получены следующие результаты:

- зависимость коэффициента лобового сопротивления от числа Рейнольдса при числах оборотов вращающихся цилиндров 300 об/мин, 500 об/мин и 700 об/мин диаметром 4 см, вращающихся в вертикальном направлении. Результаты получены при изменении скорости потока от 3 до 15 м/с. Установлено, что с ростом числа оборотов вращающихся цилиндров, увеличивается скорость ветра и число Рейнольдса, но коэффициент лобового сопротивления уменьшается.

Эта работа была поддержана проектом: ИРН AP14972704.

Источники

[1] Rus L.F, Experimental study on the increase of the efficiency of vertical axis wind turbines by equipping them with wind concentrators. Journal of Sustainable Energy. – 2012. – Vol. 3, No. 1, – P.30-35.

[2] Rassoulinejad-Mousavi S.M., Jamil M., Layeghi M. Experimental Study of a Combined Three-Bucket H-Rotor with Savonius Wind Turbine // World Applied Sciences Journal. 2013. – 28 (2). P.205-211.

[3] Kimura Y., Ogawa Sh. Study on wingtip vortices of vertical axis type Magnus wind turbine // Grand Renewable Energy Proceedings. 2018. – Vol.1. – P.182-187.

[4] Tanasheva, N.K., Chirkova, L.V., Dyusembaeva, A.N., Sadenova, K.K. Aerodynamic Characteristics of a Rotating Cylinder in the Form of a Truncated Cone // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2020.– 93(3).–P. 551–555.

[5] Tanasheva N.K., Nusupbekov B.R., Dyusembaeva A.N., Shuyushbayeva N.N. Analysis of aerodynamic characteristics of two parallel rotating cylinders // Technical Physics. 2019.– 64(7). – P. 947–949.

[6] Tanasheva N.K., Bakhtybekova A.R., Shaimerdenova G.S., Sakipova, S.E., Shuyushbaeva N. Modeling aerodynamic characteristics of a wind energy installation with rotating cylinder blades on the basis of the Ansys Suite // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2022.– 95(2), –P. 457–463.

[7] L.V. Mikhnenko. Aerodynamic Magnus effect, as a basic principle of some aircraft and wind power devices, MGTUGA. 2008.

[8] N.M. Bychkov. Wind turbine with Magnus: 1. The results of modeling studies, Thermophysics and Aeromechanics, 11, 4, 583-596, 2004.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЗА СЧЕТ УНИФИКАЦИИ ИХ ПАРАМЕТРОВ

А.Д.Таслимов¹

¹Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан,
¹ataslimov@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются и анализируются вопросы, связанные с определением экономически целесообразных значений комплекс параметров (количество и значений сечений кабелей, числа линий отходящие от источника питания) городских распределительных электрических сетей. Основное внимание уделено унификации параметров электрических сетей, что позволило снизить потери электроэнергии.

Ключевые слова: оптимизация, унификация, оптимальный параметр, надёжность, энергоэффективность, плотность нагрузки

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF CITY DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS DUE TO THE UNIFICATION OF THEIR PARAMETERS

A.D.Taslimov

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan,
¹ataslimov@mail.ru

Annotation. Issues related to the determination of economically feasible values of a set of parameters (the number and values of cable cross-sections, the number of lines extending from the power source) of urban distribution electrical networks are considered and analyzed. The main attention is paid to the unification of the parameters of electrical networks, which made it possible to reduce the loss of electricity.

Keywords: optimization, unification, optimal parameter, reliability, energy efficiency, load density

Введение

Развитие электропотребления в городах и систем их электроснабжения объясняет необходимость повышенного внимания к принципам оптимального построения распределительных электрических сетей городов, влияние этих принципов на общий подход к построению систем электроснабжения городов [1]. При этом распределительные электрические сети (РЭС) в городах составляют существенную часть общей системы электроснабжения городов. Высокие темпы развития РЭС обусловлены ростом электрических нагрузок и появлением новых потребителей электроэнергии, определяют значительные затраты финансовых и материальных ресурсов на их строительство и эксплуатацию. При этом не менее 2/3 затрат по РЭС расходуется на РЭС

до 1000 В и среднего класса напряжения (6-10 кВ). Как показывают проектные разработки [11], эти затраты и в перспективе останутся весьма высокими и поэтому проблема экономически целесообразного построения этих сетей представляется весьма актуальной. В этих условиях особенно важным становится комплексный подход к планированию оптимального развития и проектированию РЭС, учитывающей, с одной стороны, требования комплексного и полного решения задач проектирования и выбора совокупности параметров РЭС, а с другой стороны возможность типизации и унификации сооружаемых линий. Такой подход к построению указанных сетей необходим еще потому, что современная система электроснабжения (в том числе, РЭС до 1000В и среднего напряжения 6-10 кВ) характеризуется разнообразными потребителями, большим числом взаимосвязанных элементов и большим количеством одновременно сооружаемых объектов.

Необходимость комплексной оптимизации параметров распределительных сетей (РЭС) определяется тем, что все параметры функционально и технико-экономически взаимосвязаны между собой режимами передачи и распределения электроэнергии и технико-экономическая модель должна отразить данные связи. Анализ только одного параметра РЭС является односторонним и может представлять интерес лишь в специальных случаях [2,3,4].

Отечественными научными, проектно-исследовательскими и другими организациями и отдельными авторами [11] выполнен ряд исследований по оптимизации и унификации параметров электрических сетей. Отметим, что в большей части исследований рассматривается оптимизация и унификация сечений проводов (совместно с унификацией опор или без последних) и кабелей. При этом в [11] наиболее полно сформулированы современные теоретические проблемы оптимизационных решений в электроэнергетики, что полностью применимо и к задачам оптимизации и унификации параметров электрических сетей

Проведена оптимизация и унификация сечений кабелей электросетей промышленных предприятий, а также применяемых мощностей трансформаторов 10(6)/0,38 кВ городских электрических сетей [2,3]. Осуществлен наиболее полный анализ оптимизации и унификации сечений проводов воздушных линий систем электроснабжения сельского хозяйства [5,6,7].

В публикациях [8-10] приводятся конкретные материалы о глубокой унификации параметров городских РЭС, применяемой за рубежом.

В практике проектирования и строительства электрических сетей 0,38-10(6) кВ в некоторых крупнейших отечественных городах и на промышленных предприятиях также применяются принципы оптимизации и унификации мощностей трансформаторной подстанций 10(6)/0,38 кВ и сечение кабельных линий 10 кВ. Представляется, что эти и аналогичные

практические решения приняты на основе большого опыта проектирования и эксплуатации или при варианте проектировании данных электросетей.

Вместе с тем отмечается отсутствие разработок и рекомендаций оптимизации и унификации комплекс параметров на основе научно-технической методики. Ниже излагается структура предлагаемой автором методики, и даются первые результаты полученных таким образом рекомендаций для городских электрических сетей 0,38-10 кВ.

Основная часть

Оптимизация комплекс параметров РЭС и учет ограничений требует для решения поставленной задачи применения метода математического программирования. Таким методом является метод критериального анализа или программирования [11], позволяющий решить комплекс задач оптимизации. Здесь анализ параметров РЭС выполняется в виде оптимизации комплекс параметров, сходя из глобального минимума технико-экономической функции. Применение этого метода дает возможность выявить оптимальные параметры сети, не прибегая к вариантному расчету. Кроме того, данный метод позволяет осуществить многопараметрическую оптимизацию с учетом комплекса ограничений, для чего в работе используется программа оптимизации нелинейных функций с нелинейными ограничениями методом критериального программирования [11].

В тоже время, базируясь на определенных допущениях можно математически описать технико-экономическую модель сети, что дает возможность решения задачи в общем виде на основе идеализированных построений. При формировании технико-экономической модели используются топологическая модель участков сетей, питающихся от трансформаторной подстанций (ТП), и ряды сечений кабелей, построенные с постоянным шагом по принципу геометрической прогрессии. При формировании моделей принимались традиционные допущения о неизменной плотности электрической нагрузки по площади жилого района, одинаковых сечений головных участков линий, отходящих от ТП [12].

Учитывая вышеизложенное и с учетом технико-экономических моделей суммарных капитальных затрат, затрат на эксплуатацию и потерь электроэнергии получена комплексная технико-экономическая модель затрат на РЭС до 1000 В в пределах одной ТП [12]:

$$Z_H = Z_{H(1)}' \cdot \sigma^{-0,75} \cdot S_{TH(y)}^{0,75} \cdot M_H^{0,5} + Z_{H(2)}' \cdot \sigma^{-0,19} S_{TH(y)}^{0,19} \cdot M_H^{1,06} \cdot F_{2,H} + Z_{H(3)}' \sigma^{-1,38} S_{TH(y)}^{1,38} \cdot M_H^{-0,13} \cdot F_{2,H} \cdot N_{F,H}^{-1} + Z_{H(3)}' \sigma^{-1,38} S_{TH(y)}^{1,38} \cdot M_H^{-1,21} \cdot F_{2,H}^{-1} \cdot N_{F,H}^{0,3} \quad (1)$$

где $S_{TH(y)}$ – установленная мощность ТП; σ – плотность электрической нагрузки; M_H – число линий отходящих от ТП; $F_{2,H}$ – сечение головного участка линий до 1000В; $N_{F,H}$ – количество

применяемых сечений кабелей до 1000В; $3'_{H(1)}$, $3'_{H(2)}$, $3'_{H(3)}$, $3'_{H(4)}$ – обобщенные коэффициенты, которые определяются по формулам:

$$\begin{aligned} 3'_{H(1)} &= a_H K_{H1} + I_{H1}; & 3'_{H(2)} &= a_H K_{H2} + I_{H2}; \\ 3'_{H(3)} &= a_H K_{H3} + I_{H3}; & 3'_{H(4)} &= C_{y0} \Delta \mathcal{E}_{H1}. \end{aligned}$$

здесь, a_H – нормативный коэффициент эффективности использования капитальных затрат; C_{y0} – удельные затраты на потери электроэнергии; K_{Hi} , I_{Hi} и $\Delta \mathcal{E}_{H1}$ – соответственно, составляющие суммарных капитальных затрат, затрат на эксплуатацию и потерь электроэнергии РЭС до 1000В, которые являются исходными данными в данной задаче.

Так как, полученная модель является канонической и матрица размерностей функции (1) имеет небольшой порядок, то решение основных задач технико-экономического анализа (в частности, оптимизации сечений кабелей) осуществляется с помощью классического аппарата метода критериального анализа [11].

С помощью метода критериального анализа произведена оптимизация модели (1) и получены формулы, позволяющие определять экономические значения оптимизируемых параметров и затрат для РЭС до 1000 В [12]:

$$\begin{aligned} N_{F,H}^{\mathcal{E}} &= \left(\frac{\pi_{1\mathcal{E}}}{3'_{H(1)}} \right)^{-1,58} \left(\frac{\pi_{2\mathcal{E}}}{3'_{H(2)}} \right)^{1,553} \left(\frac{\pi_{3\mathcal{E}}}{3'_{H(3)}} \right)^{-0,763} \left(\frac{\pi_{4\mathcal{E}}}{3'_{H(4)}} \right)^{0,79} \\ F_{2,H}^{\mathcal{E}} &= \left(\frac{\pi_{1\mathcal{E}}}{3'_{H(1)}} \right)^{-1,743} \left(\frac{\pi_{2\mathcal{E}}}{3'_{H(2)}} \right)^{1,261} \left(\frac{\pi_{3\mathcal{E}}}{3'_{H(3)}} \right)^{0,112} \left(\frac{\pi_{4\mathcal{E}}}{3'_{H(4)}} \right)^{0,372} \\ M_H^{\mathcal{E}} &= \left(\frac{\pi_{1\mathcal{E}}}{3'_{H(1)}} \right)^{1,327} \left(\frac{\pi_{2\mathcal{E}}}{3'_{H(2)}} \right)^{-0,455} \left(\frac{\pi_{3\mathcal{E}}}{3'_{H(3)}} \right)^{0,2} \left(\frac{\pi_{4\mathcal{E}}}{3'_{H(4)}} \right)^{-0,664} \\ 3_H^{\mathcal{E}} &= \left(\frac{\pi_{1\mathcal{E}}}{3'_{H(1)}} \right)^{-0,336} \left(\frac{\pi_{2\mathcal{E}}}{3'_{H(2)}} \right)^{-0,232} \left(\frac{\pi_{3\mathcal{E}}}{3'_{H(3)}} \right)^{-0,1} \left(\frac{\pi_{4\mathcal{E}}}{3'_{H(4)}} \right)^{-0,332} \end{aligned}$$

где $\pi_{1\mathcal{E}}$, $\pi_{2\mathcal{E}}$, $\pi_{3\mathcal{E}}$, $\pi_{4\mathcal{E}}$ – критерии подобия экономических вариантов. Для модели (1) значения критериев подобия составляют [11]:

$$\pi_{1\mathcal{E}} = 0,336; \quad \pi_{2\mathcal{E}} = 0,232; \quad \pi_{3\mathcal{E}} = 0,1; \quad \pi_{4\mathcal{E}} = 0,332.$$

С учетом полученных значений критериев подобия экономические значения оптимизируемых параметров и затрат для РЭС до 1000В после некоторого преобразования принимают вид:

$$N_{F,H}^{\mathfrak{Z}} = 1.405 \frac{3_{H(1)}^{1,58} \cdot 3_{H(2)}^{0,763}}{3_{H(3)}^{1,553} \cdot 3_{H(4)}^{0,79}} \sigma^{-1,58}, \quad (2)$$

$$F_{2,H}^{\mathfrak{Z}} = 0.544 \frac{3_{H(1)}^{1,743}}{3_{H(2)}^{1,261} \cdot 3_{H(3)}^{0,112} \cdot 3_{H(4)}^{0,372}} \sigma^{-0,741}, \quad (3)$$

$$M_H^{\mathfrak{Z}} = 1.529 \frac{3_{H(2)}^{0,465} \cdot 3_{H(3)}^{0,2} \cdot 3_{H(4)}^{0,664}}{3_{H(1)}^{1,327}} S_{ТП(V)} \sigma^{0,324}, \quad (4)$$

$$\mathfrak{Z}_H^{\mathfrak{Z}} = 3,676 \cdot 3_{H(1)}^{0,336} \cdot 3_{H(2)}^{0,232} \cdot 3_{H(3)}^{0,1} \cdot 3_{H(4)}^{0,332} \cdot S_{ТП(V)} \cdot \sigma^{-0,587}, \quad (5)$$

Выражения (2)–(5) позволяют при известных исходных данных определять экономические значения основных параметров и затрат РЭС до 1000В.

При принятых исходных данных [11] определенные по (2)–(4) экономические значения параметров $N_{F,H}$, $F_{2,H}$, M_H в зависимости от плотности электрической нагрузки показаны на рис. 1а,б,в, на которых зависимости: «I» – при петлевых схемах сетей с одно трансформаторными ТП (1х630 кВА), «II» – при двухлучевых схемах сетей с двух трансформаторными ТП (2х630 кВА).

Анализ полученных результатов приводит к выводу о том, что включение в состав оптимизируемых параметров количества применяемых сечений кабелей ($N_{F,H}$) изменить выводы об экономической целесообразности построения распределительных сетей до 1000В с единым сечением кабелей при вариации плотности электрической нагрузки в весьма широком диапазоне.

Оказывается, что построение распределительных сетей до 1000В, при больших плотностях электрической нагрузки ($\sigma \geq 10$ мВА/км²) действительно экономически целесообразно с предельно-ограниченным количеством сечений кабелей, но при небольших плотностях нагрузки ($\sigma < 10$ мВА/км²) целесообразно использовать 2–4 сечения кабелей. При этом РЭС до 1000В выполняются с различными значениями экономически целесообразного числа отходящих линий M_n (рис. 1в).

Полученные экономические параметры РЭС до 1000В могут не удовлетворять основным техническим ограничениям выполнения РЭС. Для РЭС до 1000В такими являются ограничения по нагреву и по допустимой потере напряжения.

При больших плотностях электрической нагрузки ($\sigma > 10$ мВА/км²) экономические значения количества применяемых сечений кабелей до 1000В могут оказаться меньше единицы, что не имеет смысла. Поэтому, кроме технических ограничений, дополнительно рассматривается ограничение $N_{F,H} \geq 1$.

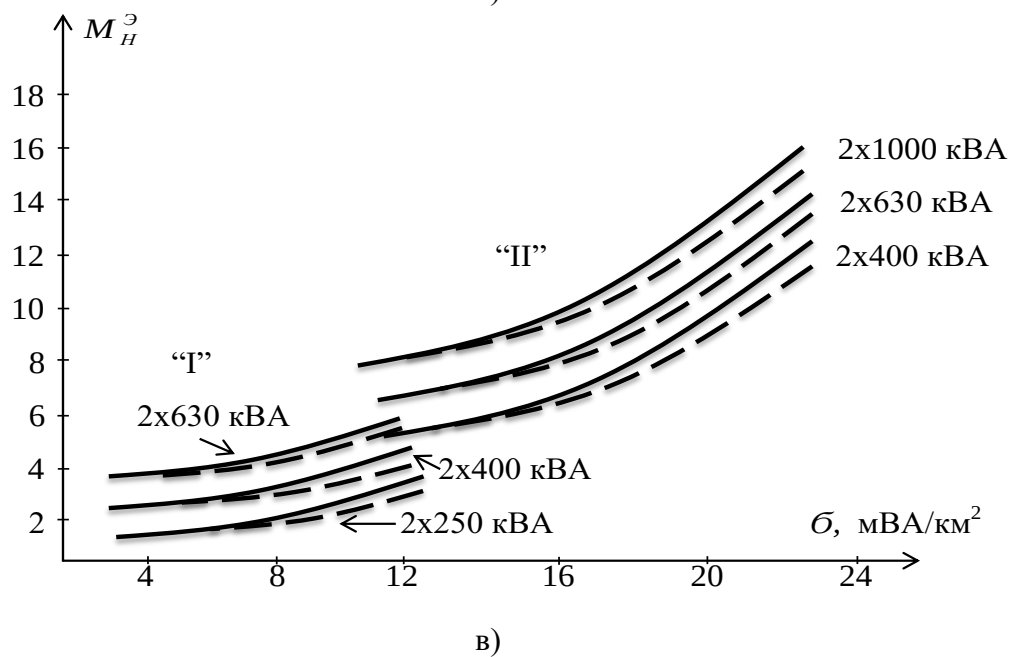
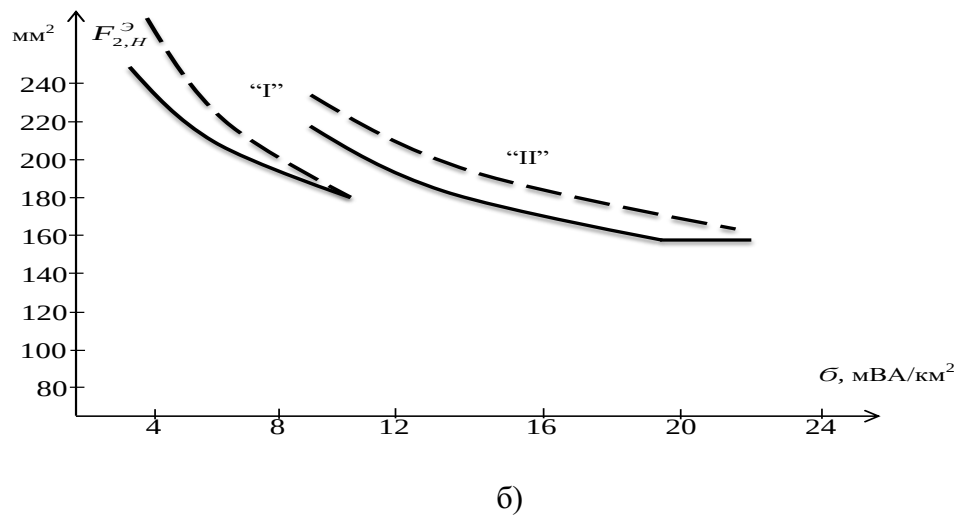
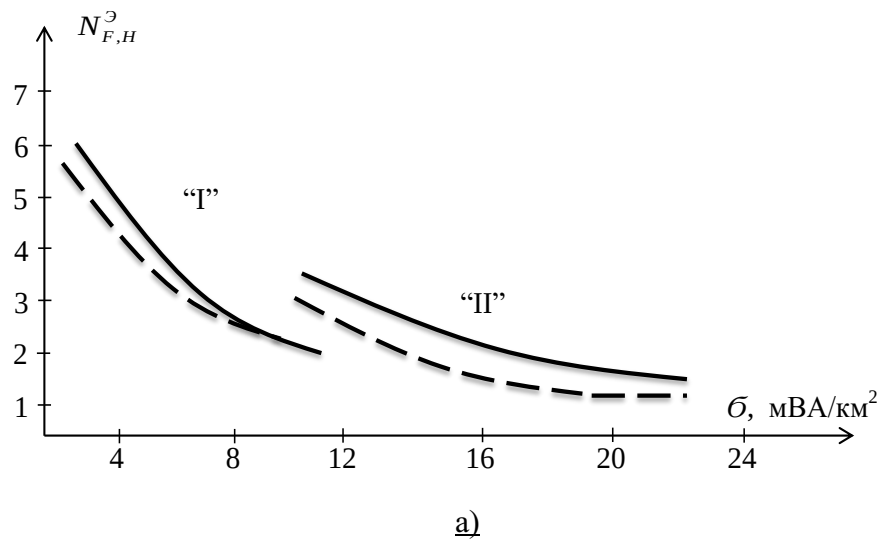


Рис. 1. Значения количества сечений(а), сечения головных участков(б) и числа отходящих от ТП линий(в) РЭС до 1000 В (--- — без учета ограничений, — — с учетом ограничений)

Для решения приведенных систем уравнений (1) с учетом ограничений использована специальная программа, разработанная для решения задач оптимизации нелинейной целевой функции с нелинейными ограничениями методом критериального программирования [5].

Влияние тех или иных активных ограничений на экономические значения параметров $N_{F,H}$, $F_{2,H}$ и M_H показаны на рис. 1а,б,в. Как видно из рис. 1а,б,в. в данной задаче ограничение по нагреву кабелей РЭС до 1000В практически во всех рассматриваемых случаях активно, а ограничение по допустимой потере напряжения в РЭС до 1000В активно при небольших плотностях электрической нагрузки ($\sigma < 10$ мВА/км²). Для петлевых схем сетей, при небольших плотностях нагрузки, условие допустимости потери напряжения является более сильным, чем условие ограничения по нагреву кабелей. При этом экономические значения $F_{2,H}$ близки к значениям, допустимым по нагреву кабелей. Дополнительное ограничение активно при больших плотностях нагрузки ($\sigma > 12$ мВА/км²).

При этом, условия выполняются не за счет увеличения $F_{2,H}$, как это принято в практическом проектировании (увеличение сечения при недопустимости нагрева), а за счет увеличения числа отходящих от ТП линий (M_H). При этом значение $F_{2,H}$ несколько снижается по сравнению со значением, полученным без учета ограничения по нагреву. Это в свою очередь приводит к уменьшению значения $N_{F,H}$, особенно это заметно при небольших плотностях нагрузки $\sigma < 10$ мВА/км² (рис. 1а,б,в.).

Заключение

Построение РЭС при плотности электрической нагрузки $\sigma \geq 10$ мВА/км² экономически целесообразно с единым (унифицированным) сечением кабелей. При этом рекомендуется применять в РЭС до 1000В сечение 120 мм². А при плотностях нагрузки $\sigma < 10$ мВА/км² оптимальным является применение 2–3 сечений кабелей. В этом случае, рекомендуется в зависимости от плотности электрической нагрузки применять сечение головного участка линий до 1000В - 185, 150 и 120 мм², а сечения последующих участков – по шкале стандартных сечений с соотношением смежных сечений 1,8–2,0. Оптимизация параметров показывает, что построение РЭС до 1000В при больших плотностях нагрузки экономически целесообразно с ограниченным числом сечений, а при небольших плотностях нагрузки с менее жесткими ограничениями числа применяемых сечений.

Для проверки достоверности результатов теоретического изучения и полученных количественных рекомендаций были выполнены контрольные расчеты капиталовложений, затрат, потерь электроэнергии и расхода проводникового металла при унификации сечений кабелей электросетей 0,38 и 10 кВ двух реальных районов новой многоэтажной застройки (9, 12 этажей и более) столичного города. Указанные характеристики сопоставлялись с аналогичными на основе реального проекта электросетей 0,38–10 кВ данного района, выполненного авторитетным проектным

институтом (АО «Узэнергоинжиниринг»). Результаты сравнения показали, что сокращение количества применяемых сечений кабелей до одного-двух вместо выбранных в проекте шести-семи приводит к повышению затрат по линиям в пределах 2–4 %, а суммарных затрат по РЭС в целом – в пределах 1–2 %. Такая унификация сечений кабелей приводит к снижению потерь электроэнергии на 15–25% при одновременном увеличении расхода проводникового металла на 5–7%.

Источники

[1] Катренко Г.Н. Новые подходы к построению распределительных электрических сетей 0,4–35кВ // «Электрические сети и системы», 2013, № 5, с. 25–29.

[2] Мирон Гринкруг, Гордин С. Оптимизация параметров городских электрических сетей. // «LAP Lambert Academie Publishing», 2012, 112 с.

[3] Ершов М.С., Макерова Ю.А. К вопросу о выборе оптимального сечения кабельных линий // Промышленная энергетика, 2012, № 9, с.24–28.

[4] Малкин П.А. Критерий экономической эффективности для выбора объектов основной электрической сети // Энергетик, 2003, №1, с. 14–16.

[5] Березнев Ю. И. Выбор сечений проводов линий 0,38 и 10кВ в условиях неопределённости и проблема унификации их шкалы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики: научно-технический и производственный журнал, 2009, № 9/10, с. 38–40.

[6] Лещинская Т.Б. Оптимизация параметров систем электроснабжения по многокритериальной модели / Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Всерос. научн. исслед. инс-т электрификации сельского хоз-ва. Москва. 2010, ч.1, с. 217–223.

[7] Романченко В.И. Экономическая эффективность унификации воздушных линий электропередачи. // «Светотехника и электротехника», 2008, №1, с. 62–64.

[8] Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования (Применительно к задачам электроэнергетики). М.: Изд-во «Либроком», 2014, 440 с.

[9] Критериальный метод анализа технико-экономических задач в электрических сетях и системах: учебное пособие // Н.М. Черемисин, В.В. Черкашина. Харьков: Факт, 2014, 88 с.

[10] Проблемы электроснабжения крупных городов и мегаполисов: ruscable.ru/article/Problemy_. Прогноз потребления электроэнергии до 2030 года. coolreferat.com/Прогноз

[11] А. Д. Таслимов. Унификация параметров городских распределительных электрических сетей в условиях неопределенности: Монография. – Ташкент: ТашГТУ, 2019, 148 с.

[12] Таслимов А.Д., Товбаев А.Н., Хужанов Б.К. Комплексная технико-экономическая модель унификации сечений кабелей электрических сетей/«Горный вестник Узбекистана», 2013, №53, с.122–124

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛЭП КАЗАХСТАНА

Трофимов Г. Г., Тохтибакиев К. К., Саухимов А.А., Гунин А.М.
НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева»
depenergy@mail.ru, k.tokhtibakiev@aes.kz, a.saukhimov@aes.kz, a.gunin@aes.kz

Аннотация. Установка продольной компенсации (УПК) способна существенно увеличить пропускную способность ЛЭП, заметно сокращает взаимный угол между напряжениями на шинах отправной и приемной частей системы, повышая уровень устойчивости. В статье проведен обзор и анализ существующих в настоящее время УПК.

Ключевые слова: Режимная надежность, повышение пропускной способности, устройства продольной компенсации

APPLICATION OF SERIES COMPENSATION TO INCREASE THE TRANSMISSION CAPACITY OF KAZAKHSTAN POWER LINES

Trofimov G.G., Tokhtibakiev K.K., Saukhimov A.A., Gunin A.M.
Non-profit JSC «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev»
depenergy@mail.ru, k.tokhtibakiev@aes.kz, a.saukhimov@aes.kz, a.gunin@aes.kz

Abstract. Series compensation unit can significantly increase the transmission capacity of power lines, noticeably reducing the mutual angle between the voltages on the buses of the sending and receiving parts of the system, increasing the level of stability. The article reviews and analyzes the currently existing series compensation units.

Key words: regime reliability, increase of transmission capacity, series compensation devices.

Введение

В последние годы спрос на электроэнергию в мире значительно увеличился, в то время как возможность расширения производства и передачи электроэнергии стало сильно ограниченным из-за ограниченных ресурсов и экологических ограничений. Передача электроэнергии в сетях всегда может быть улучшена путем модернизации или добавления новых цепей передачи. Однако, ограничения на возможности передачи электроэнергии в сети не всегда могут быть устранены путем добавления новых мощностей по передаче и/или генерации. Это может оказаться практически невыполнимым или нежелательным в реальном случае, так как на практике этот путь оказывается слишком дорогостоящим и трудоемким ввиду труднодоступности или вообще невозможности реализации. Кроме того, аспекты воздействия ЛЭП на окружающую среду сегодня стали значительно более важнее, чем раньше, и их необходимо учитывать в процессе развития передачи электроэнергии. Кроме того,

финансовые затраты на строительство новой ЛЭП в этих условиях значительной степени сдерживают желания, а порой и вообще оказываются невозможными.

Подобная ситуация сложилась и в Казахстане. Так за 2021 г. в стране значительно выросло потребление электроэнергии. Рост превысил 6%, что в 3 раза больше показателей последних лет. Для сравнения, в 2020 году прирост потребления электроэнергии составлял 2%, в 2019 году – 1,9%.

1. Актуальность проблемы

В ОЭС ЦА в течении многих лет наблюдается значительный дефицит мощности. Северная и Южная зона связаны между собой трёхцепным транзитом 500 кВ протяжённостью 1500 км с недостаточной пропускной способностью. ЛЭП транзита уже полностью загружены, и они не в состоянии передать большую мощность, чтобы покрыть потребности южного региона. Применение устройств продольной компенсации (УПК) позволит увеличить предел передаваемой мощности по транзитным ЛЭП и решить проблему дефицита мощности на Юге Казахстана [1].

2. Повышение пропускной способности ЛЭП за счет УПК

Передаваемая мощность по ЛЭП для простейшей системы (Рисунок 1) определяется как

$$P_{np} = \frac{EU_c}{X_T + X_T + X_L} \sin \delta, \quad (1)$$

где E — ЭДС генераторов;

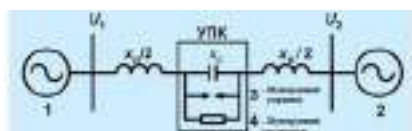
U_C — напряжение на шинах системы;

U_1, U_2 — напряжение по концам линии;

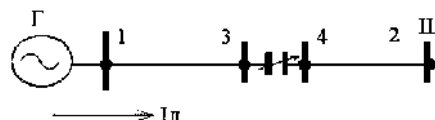
δ — угол сдвига между векторами E и U_C в начале и конце линии;

X_G, X_T, X_L — соответственно сопротивления генератора, трансформаторов и линии.

Из выражения (1) видно, что увеличение передаваемой мощности по ЛЭП может быть достигнуто за счет уменьшения сопротивления. Этот способ может быть реализован за счет продольной компенсации (ПК) (Рисунок 1), путем установки конденсаторов в расщепку линии, что уменьшает сопротивление ЛЭП. ПК позволяют размещать компенсирующие устройства вначале, в середине или в конце ЛЭП.



а) нерегулируемая ПК



б) регулируемая ПК

Рис. 1. Схема подключения ПК к ЛЭП

В нормальном режиме пропускная способность ЛЭП без

использования УПК равна

$$P = \frac{U_1 \cdot U_2}{\sum X_L} = \frac{U_1 \cdot U_2}{\omega L} \sin \delta, \quad (2)$$

где δ - угол сдвига между U_1 и U_2 .

Из выражения (2), понятно, что суммарное реактивное сопротивление самой линии X_L , обусловленное ее индуктивностью, снижает пропускную способность ЛЭП. Это проблема исключительно важна для магистральных ЛЭП, так как индуктивное сопротивление линии всегда повышается с увеличением ее длины. А для магистральных ЛЭП, по которым электроэнергия передается на большое расстояние реактивное сопротивление значительно снижает предел передаваемой мощности. Кроме того, видно, что применения ПК наоборот приводит к увеличению предела передаваемой мощности по линии. УПК представляют собой батареи конденсаторов, включаемые последовательно в ЛЭПи для компенсации части продольного индуктивного сопротивления. Поэтому УПК иногда называют как устройство последовательной компенсации. В энергосистемах многих стран мира они уже давно является предпочтительным решением, когда необходимо оптимизировать обширные коридоры передачи электроэнергии. Причем, чем степень компенсации K будет выше, тем больше станет предел передаваемой мощности.

Максимальное значение передаваемой по линии мощности (предел передаваемой мощности по углу) имеет место при $\delta = 90^\circ$, т.е. когда $\sin \delta = 1$, тогда

$$P_{\max} = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_L}. \quad (3)$$

Из (3) видно, что индуктивное сопротивление X_L уменьшает пропускную способность.

ЛЭП напряжением до 110 кВ обычно не слишком длинны и поэтому передаваемая по ним мощность не достигает предела передаваемой мощности. А для ЛЭП 220 кВ и выше передаваемая по ним мощность во многих случаях достигает предела пропускной способности. Поэтому для длинных ЛЭПи напряжением 220 кВ и выше, включенные ПК уменьшает реактивное сопротивление ЛЭП. Уменьшение реактивного сопротивления ЛЭП может быть достигнуто путем последовательного (в разрез) включения в линию статических конденсаторов.

При последовательном подключении конденсатора с емкостным сопротивлением $X_C = 1/\omega C_{БК}$ в ЛЭП общее реактивное сопротивление линии изменится и станет равным $X_L - X_C$. Тогда передаваемая мощность равна

$$P = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_L} = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_L - X_C} = \frac{U_1 \cdot U_2}{\omega L - 1/\omega C_{БК}} \sin \delta. \quad (4)$$

Из выражения видно, что при включении в линию УПК реактивное сопротивление компенсированной линии уменьшится ($X_L - X_C$) и за счет этого увеличится передаваемая мощность (предполагая, что величины напряжения и углы остаются постоянными). Вместе с тем, видно, что, изменяя величину емкостного сопротивления ПК, можно изменять предел передаваемой мощности. С целью реализации этого положения в энергетике началось развитие управляемых устройств ПК.

Если учесть, что коэффициент K , называемый коэффициентом компенсации или степенью компенсации, равен отношению емкостного сопротивления батарей конденсаторов X_C к индуктивному сопротивлению линии X_L

$$K = X_C / X_L, \quad (5)$$

и полагая, что ($U_1 \approx U_2 \approx U$), получим что мощность компенсированной линии с регулируемой степенью компенсации будет равна:

$$P_K = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_L - X_C} \sin \delta \approx \frac{U^2}{X_L(1 - K)} \sin \delta. \quad (6)$$

С учетом степени компенсации равна K , предел передаваемой мощности по линии равен

$$P_{np} = \frac{U^2}{X_L(1 - K)} \sin \delta. \quad (7)$$

Реактивная мощность, вводимая конденсатором, зависит от K [2]:

$$Q = 2 \frac{U^2}{X_L} \frac{K}{(1 - K)^2} (1 - \cos \delta). \quad (8)$$

Можно считать, что за счет ПК сократилась длина ЛЭП. Поэтому для такой «новой» виртуальной ЛЭП компенсированной за счет последовательного включения в нее конденсаторов, степень компенсации, выраженная в долях единицы или в процентах, показывает насколько сократилась ее длина относительно длины некомпенсированной линии. Таким образом УПК за счет компенсации части индуктивного сопротивления ЛЭП сокращают электрическую длину линии, делая линию короче, что увеличивает пропускную способности ЛЭП. Это также говорит об увеличении угловой устойчивости передачи или повышении возможности передачи дополнительной мощности по этой линии. Этот эффективный способ снижения реактивного сопротивления не только повышает устойчивость энергетической системы, но и обеспечивает во

многих случаях возможность достижения предела пропускной способности по углу.

Следовательно, увеличение пропускной способности ЛЭП зависит от степени компенсации K . Для большинства компенсированных ЛЭП значение K находится в диапазоне от 0,4 до 0,7.

УПК обеспечивает компенсацию падения напряжения на индуктивном сопротивлении линии, а выполнение этой функции наиболее эффективно в высокодобротных электрических сетях с отношением индуктивного сопротивления линии к активному сопротивлению более 15-20, т.е. в электрических сетях напряжением выше 220 кВ. Поэтому включение емкостного реактивного сопротивления последовательно с длиной (обычно более 200 км) ЛЭП уменьшает как угловое отклонение, так и падение напряжения. В результате повышается передаваемая мощность и устойчивость. Конденсаторные батареи, включенные последовательно в рассечку линий (см. Рис. 1) осуществляют емкостную компенсацию индуктивного сопротивления ЛЭП. При индуктивном характере цепи $X_L > X_C$, ток отстает от напряжения.

Введение емкостного реактивного сопротивления в линию за счет применения продольной компенсации можно добиться уменьшения угла сдвига φ напряжений начала и конца на ЛЭП без изменения передаваемой мощности по ЛЭП. Более низкое значение φ обеспечит лучшую стабильность системы, т. е. увеличит угловую устойчивость ЛЭП. Следовательно, при одинаковой величине передачи мощности компенсированная линия будет обеспечивать лучшую устойчивость ЛЭП по сравнению с некомпенсированной линией. Кроме того, активные потери, связанные с передачей электроэнергии, также могут быть уменьшены.

Изменение передаваемой мощности за счет компенсации относительно нормального режима составит

$$\frac{P_K}{P} = \frac{X_L}{X_L - X_C} = \frac{1}{1 - \frac{X_C}{X_L}} = \frac{1}{1-K}. \quad (10)$$

Предположим, что значение степени компенсации K равно 0,5. Тогда

$$\frac{P_K}{P} = \frac{1}{1-0,5} = 2. \quad (11)$$

Отсюда ясно, что передаваемая мощность по ЛЭП за счет установки конденсаторов ПК увеличилась в 2 раза, поэтому можно по той же ЛЭП передавать примерно на 50% больше мощности чем было возможно до их установки. В зависимости от числа подключенных статических конденсаторов и их емкости может быть компенсировано часть индуктивного сопротивления ЛЭП, что уменьшает длину ЛЭП. В [3] для простейшей схемы радиальной электропередачи с УПК был рассчитан

предел передаваемой мощности компенсированной линии ВЛ в которой емкость, включена в расщепку линии, а суммарное сопротивление линии $X_r + X_r + X_c = X_L = 0,8 \text{ o.e.}$ Из результатов этого исследований, описанных в работе [3], видно, что увеличение степени компенсации K приводит к возрастанию предела передаваемой мощности по линии (Рис. 2), где приведены угловые характеристики $P_{np} = f(\delta)$ электропередачи для трех степеней компенсации K : 1 – степень компенсации 75% ($x_c = 0,6$); 2 – 50% ($x_c = 0,4$); 3 – 25% ($x_c = 0,2$).

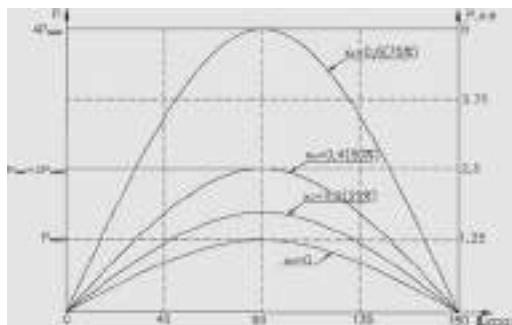


Рис. 2. Зависимость предела передаваемой мощности по ЛЭП от степени компенсации.

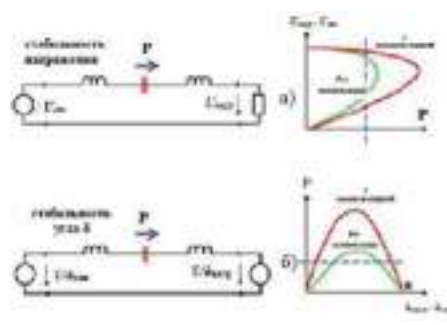


Рис.3. Влияние ПК ЛЭП на:

а) напряжение и б) угловую стабильность.

Этот рисунок наглядно демонстрируют, что «пассивный» элемент сети - УПК является очень эффективным средством повышения предела передаваемой мощности в высоковольтных дальних линиях электропередачи. Таким образом, за счет УПК большая мощность может передаваться по линии. Через конденсаторные батареи проходит полный ток линии.

Кроме того, УПК используются также и для того, чтобы повысить не только статическую, но и динамическую устойчивость за счет поддержания напряжения вовремя и после больших возмущений в энергосистеме. А также УПК оказываются способными повышать динамическую и статическую устойчивость и послеаварийного режима системы передачи, так как их включение в послеаварийном режиме уменьшает относительное эквивалентное реактивное сопротивление ЛЭП.

Влияние последовательной компенсации на передачу электроэнергии по ЛЭП можно проиллюстрировать, как показано на Рис. 3. [3].

Здесь же следует отметить влияние реактивной мощности, генерируемой конденсаторами за счет емкостного элемента, включенного последовательно с линией. Анализ показывает, что реактивная мощность, генерируемая конденсаторами, включенными последовательно с линией, улучшает реактивный баланс мощности в энергосистеме, что необходимо при работе ВИЭ в системе. Генерируемая конденсаторами УПК реактивная мощность мгновенно увеличивается при возрастании линейной нагрузки и наоборот также мгновенно уменьшается при снижении тока нагрузки. Следовательно, ток проходящий через ЛЭП сам, напрямую «управляет» отдаваемой реактивной мощностью продольно установленных

конденсаторов. Таким образом реактивная мощность УПК становится «саморегулирующейся», а эффект саморегулирования ЛЭП оказывает положительное действие на энергетическую систему, так как за счет него стабилизируется напряжение в сети. Этот простой принцип позволяет считать ПК чрезвычайно экономичным решением. Отметим, что потеря активной мощности в последовательно включенных конденсаторах очень малы (0,0025–0,005 кВт/квар). Стоимость устройств ёмкостной компенсации составляет порядка 10 % от стоимости новой ЛЭП, имеющей эквивалентную пропускную способность. Срок окупаемости составляет всего несколько лет, что так же подтверждает их эффективность.

Вместе с тем, конденсаторные батареи в составе УПК помимо того, что они обеспечивают саморегулирование реактивной мощности в сет, они также способствуют улучшению баланса реактивной мощности за счет возрастания генерации реактивной мощности при увеличении передаваемой мощности и наоборот уменьшению генерации при снижении нагрузки. Таким образом конденсаторная батарея в составе УПК улучшает регулирование и стабилизируют уровни напряжения в сети, что также приводит к снижению потерь мощности.

3. Типы УПК и примеры их применения в электрических сетях мира

Вопросы применения УПК не являются новыми. Идея использования продольно-емкостной компенсации, теоретически была обоснованная в СССР еще в 30-х годах прошлого столетия. Крупнейший советский энергетик доктор тех. наук, проф. В. А. Веников, еще в 1954 в статье «Передача электроэнергии переменным током на большие расстояния» [4] с целью повышения пропускной способности электропередачи переменного тока Куйбышев (Самара)—Москва обосновал целесообразность применения устройств последовательной компенсации. А затем крупнейшая в мире установка продольной компенсации с последовательным включением в линию электропередачи статических конденсаторов, мощность которых составляла 500 000 Мвар, в 1956 года была включена в работу что позволило Московской энергосистеме получить 1150 МВт дополнительной мощности. За рубежом первая последовательно-компенсированная линия 400 кВ была введена в эксплуатацию в Швеции в также в 50-х годах.

В настоящее время устройства последовательной компенсации находят практическое применение во многих странах, особенно там, где удаленные ГЭС используются для питания центров нагрузки. Такие энергосистемы находятся, например, в Бразилии, Аргентине, США, Канаде, Южной Африке, Китае, Скандинавии, России и в других странах.

Принципиально УПК способны очень значительно увеличить пропускную способность ЛЭПи, так как за счет снижения полного продольного индуктивного сопротивления электропередачи, заметно сокращается взаимный угол между напряжениями на шинах отправной U_1

и приемной частей системы U_2 . За счет этого в длинных линиях электропередачи значительно возрастает устойчивость энергетической системы.

Отметим, однако, что на недостатки связанные с применением УПК указывал еще В.А. Веников [4], Он отмечал, что увеличение токов КЗ, разрывной мощности аппаратуры и перенапряжений на конденсаторах заставляет в настоящее время ограничивать компенсацию. Кроме того, недостатки применения УПК состоят в том, что при большом емкостным сопротивлением ($X_c > 0,4X_l$), возможности повышения пропускной способности электропередачи ограничиваются перепадом напряжения на емкости. Вследствие этого высокая степень емкостной компенсации создает возможности появления резонансных перенапряжений как на элементах ЛЭП, так и на зажимах самой батареи. Поэтому из-за недопустимого превышения напряжения величина степени компенсации ограничивается. Очень долгое время считалось, что несмотря на то, что последовательная емкостная компенсация является очень экономичным метод повышения способности передачи мощности по длинным линиям электропередачи, однако степень компенсации не должна превосходит 30—40 % от индуктивного сопротивления линии X_l . В случае необходимости компенсации индуктивного сопротивления протяженных ВЛ целесообразен переход к использованию нескольких УПК с уменьшенным емкостным сопротивлением каждой из них. Если степень компенсации не превышает 50%, считается, что наиболее целесообразно размещать УПК в середине линии, так как при этом несколько уменьшается их мощность и облегчаются условия работы [5]. При передаче больших мощностей не рекомендовалось ПК при одиночном (сосредоточенном) размещении УПК на линии при степени компенсации выше 50%.

ПК с тиристорным управлением предложила новую надежную альтернативу для увеличения передачи мощности как по существующим, так и по новым ЛЭП, за счет повышения динамической стабильности, демпфирования колебаний мощности, а также оптимизации потока нагрузки между параллельными цепями. Она помогает избавиться от существовавших ограничений по степени компенсации и, таким образом, обеспечивает новые возможности для передачи большей мощности с технической, экономической и экологической точек зрения.

Тиристорное управление последовательными конденсаторами может быть реализовано в двух вариантах:

- УПК с тиристорным переключением (TSSC), (дискретное регулирование);
- УПК с тиристорным управлением (TCSC), (непрерывное плавно регулирование).

Реализация любого из этих вариантов последовательной компенсации с тиристорным управлением возможно только в сочетании с современной высокомоощной силовой электроникой.

В 1975 г. Было создано первое в мире УПК с нелинейным сопротивлением в цепях защиты. В 1988 г. Nokia запустила крупнейшее в мире УПК мощностью 1056 МВАр. На протяжении последних 40 лет, в мире накоплен значительный опыт разработки и эксплуатации тиристорно управляемых устройств ПК. Благодаря большой эффективности и экономичности ПК широко используется и в распределительных сетях 3—35 кВ и в линиях электропередачи 110—750 кВ.

Установки продольной емкостной компенсации (УПК) имеют два основных назначения:

- ❖ повышение пропускной способности ЛЭПи переменного тока высокого и сверхвысокого напряжения;
- ❖ перераспределение потоков активной мощности в параллельных связях высоковольтных сетей переменного тока.

Первое назначение мы уже разобрали. Остановимся на втором.

Изменение реактивного сопротивления ЛЭП за счет ПК также позволяет оптимизировать нагрузку между параллельные цепи, тем самым увеличить общую пропускную способность.

В энергосистеме возможны случаи передача энергии из одного региона в другой при параллельной работе двух ЛЭП электропередачи различных конструкций Рис. 4.

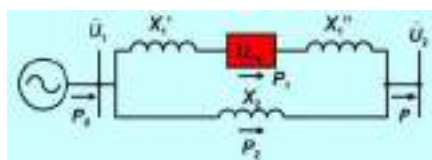


Рис. 4. Установка УПК при параллельной работе двух ЛЭП различных конструкций

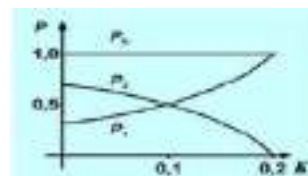


Рис. 5. Перераспределение потоков мощности между двух параллельно работающих ЛЭП различных конструкций за счет изменения величины степени компенсации K .

Обычно такие линии, выполненные различными проводами, имеют неодинаковые величины отношения реактивного и активного сопротивлений x/r . В этом случае нагрузка по ЛЭП распределяется не наивыгоднейшим образом, т.е. не обратно пропорционально активным сопротивлениям линий.

Для улучшения потока распределения в таких схемах сети в линию в которой отношением x/r больше включают УПК что обеспечит более выгодное распределение нагрузки и естественно позволяет снизить потери в электрической сети. Так, например, если $x_1/r_1 > x_2/r_2$ то приравняв

$$(1 - K) \frac{x_1}{x_2} = x_2/r_2 \quad (12)$$

можно найти величину степени компенсации K , (Рис. 5) которая обеспечит равномерное распределение нагрузки между двумя параллельными линиями электропередачи и, следовательно, снизит потери в электрической сети

$$K = 1 - \frac{r_1 x_2}{r_2 x_1}. \quad (13)$$

Мощность, протекаемая по первой линии равна:

$$P_1 = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_1 + X_2 - K}, \quad (14)$$

Режим работы конденсаторов емкостной компенсации в энергосистеме в значительной степени отличаются от режима работы шунтовых конденсаторов. Номинальное напряжение любой конденсаторной батареи зависит от номинального напряжения конденсаторов и схемы соединения конденсаторов в батарее. Номинальное напряжение шунтовых конденсаторов определяется напряжением сети. Для шунтовых конденсаторов изменения напряжения на них обычно происходит в довольно небольших пределах, определяемых допустимыми нормами ГОСТ на качество электроэнергии. В этом относительно постоянном режиме загрузки на уровне номинального напряжения сети U и практически постоянной мощности $Q_{БК}$ осуществляется работа шунтовых конденсаторов практически в течении всего времени их эксплуатации.

Совсем иная картина происходит у конденсатора продольной емкостной компенсации. В процессе эксплуатации, протекающий через них ток I_L , равен полному току нагрузки. Он зависит от нагрузки и изменяется в широких пределах. Поэтому напряжение на конденсаторах продольной емкостной компенсации не остается постоянным во время их работы. Причем оно возрастает при сквозных токах КЗ пропорционально его кратности по отношению к номинальному току.

Поэтому напряжение конденсаторов продольной емкостной компенсации должно быть выбрано с учетом максимального тока, протекающего через них I_{Lmax}

$$U_{ном пр} = I_{Lmax} \cdot X_{БК пр} = I_{Lmax} / \omega C \quad (15)$$

Большую часть времени этот ток значительно меньше по величине I_{Lmax} по которому выбиралось напряжение конденсатора. Поэтому и напряжение на конденсаторе продольной компенсации - U и фактическая мощность батареи конденсаторов Q оказываются меньше выбранного $U_{ном пр}$ и $Q_{БК пр}$, и по мощности конденсаторы УПК оказываются недогруженными.

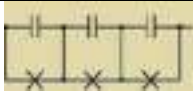
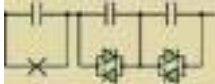
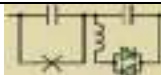
Тогда мощность батареи конденсаторов $Q_{БК\text{ }np}$ можно вычислить по формуле:

$$Q_{БК\text{ }np} = I_{\text{плав}}^2 / \omega C \quad (16)$$

Шунтовые батареи конденсаторов, подключенные к шинам подстанции испытывают на себе как воздействие внутренних перенапряжений, возникающих на шинах, так и перенапряжений, возникающих при включениях или отключениях батареи, или части батареи. Обычно при этом кратность перенапряжений на батареях не превосходит 2—2,5 по отношению к амплитуде фазного рабочего напряжения конденсаторов. В отличие от них конденсаторы ПК должны выдерживать возможные перенапряжения при протекании через них чрезмерного тока нагрузки или тока КЗ, и разряд конденсаторов при шунтировании установки разрядником. Величина этой кратности может в 4 - 5 раз превосходить ток $I_{лmax}$ по которому они были выбраны. Поэтому УПК для наружного исполнения обладают большой перегрузочной способностью и допускают кратковременные перенапряжения до 4-кратного номинального значения.

С целью обеспечения возможности повышения степени компенсации за счет ее регулирования, и были разработаны серийные компенсаторы с тиристорным управлением (TCSC), которые являлись первым поколением устройств последовательной компенсации FACTS. Эти устройства TCSC разработанные в рамках концепции FACTS, состоят из параллельного соединённого конденсатора и тиристорного реактора. На сегодняшний день в энергосистемах мира используются различные схемы регулируемых УПК: *ступенчатое регулирование* (путём шунтирования секций конденсаторной батареи механическими или тиристорными ключами); *непрерывное регулирование* (путём использования реакторов и управляемых тиристорных блоков).

Таблица 1

Схемы регулируемых УПК [2]		
Ступенчатое регулирование	❖ установка УПК с механически подключаемыми и отключаемыми батареями конденсаторов - MSSC (Mechanically Switched Series Capacitor).	
Непрерывное регулирование	❖ установка УПК с тиристорно-коммутируемой батареей емкостей - TSSC (Thyristor Switched Series Capacitor).	
	❖ УПК с тиристорным управлением — TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor).	

Заключение

ЛЭП транзита Север – Юг Казахстана уже полностью загружены, и они не в состоянии передать большую мощность, чтобы покрыть потребности южного региона. Применение устройств продольной

компенсации (УПК) позволит увеличить предел передаваемой мощности по транзитным ЛЭП и решить проблему дефицита мощности на Юге Казахстана. В дальнейшем будут проведены исследования применения УПК на ЛЭП Казахстана по модели энергосистемы.

Источники

[1] Трофимов Г. Г. Направление развития электроэнергетики Казахстана, Журнал Энергетика, Вестник Союза инженеров энергетиков Республики Казахстан № 3(78)

[2] А. В. Антонов, В.К., Фокин, Е.В. Тузлукова. О применении устройств продольной емкостной компенсации в высоковольтных электрических сетях России, 2016,

[3] R. Grünbaum, Jacques Pernot, Thyristor-controlled series compensation: a state of the art approach for optimization of transmission over power links.

[4] Веников В.А. Передача электроэнергии переменным током на большие расстояния, Журнал «Электричество», №5, 1954 г.

[5] Шакарян Ю.Г., Фокин В. К., Лихачев А.П., Установившиеся режимы работы электроэнергетических систем с сетевыми устройствами гибких электропередач, Электричество. 2013. № 12. С. 2–13.

УДК 621.311

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ УРЗА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 110/35/10 КВ

Д.Д. Борисов, О.В.Игнатов, А.А. Исламов, Г.Д.Мусапирова
АО «ТАТЭК», служба релейной защиты и автоматики
g.musapirova@aes.kz

***Аннотация.** В статье приведен пример опыта модернизации действующих электроустановок по повышению надежности работы релейной защиты трансформатора 110/35/10 кВ, при максимально допустимой экономии средств и ресурсов.*

***Ключевые слова:** надежность, реле, трансформаторы, кабель, напряжение.*

RECOMMENNENDATIONS FOR IMPROVING RELIABILITY WORK OF URZA POWER TRANSFORMERS WITH VOLTAGE 110/35/10 KV

D.D.Borisov¹, O.V.Ignatov¹, A.A. Islamov¹, G.D.Musapirova¹

¹JSC «TATEK», relay protection and automation servic

g.musapirova@aes.kz

Abstract. The article gives an example of the experience of modernizing existing electrical installations to improve the reliability of the relay protection of a 110/35/10 kV transformer, with the maximum allowable savings of funds and resources.

Key words: reliability, relay, transformers, cable, voltage.

Применяются общенаучные методы исследования

Введение

Подстанция № 159 напряжением 110/35/10 кВ (схема 1) была введена в эксплуатацию в 1976 году для обеспечения электроэнергией Коксуйского и Ескельдинского административных районов Алматинской области (рис. 1).

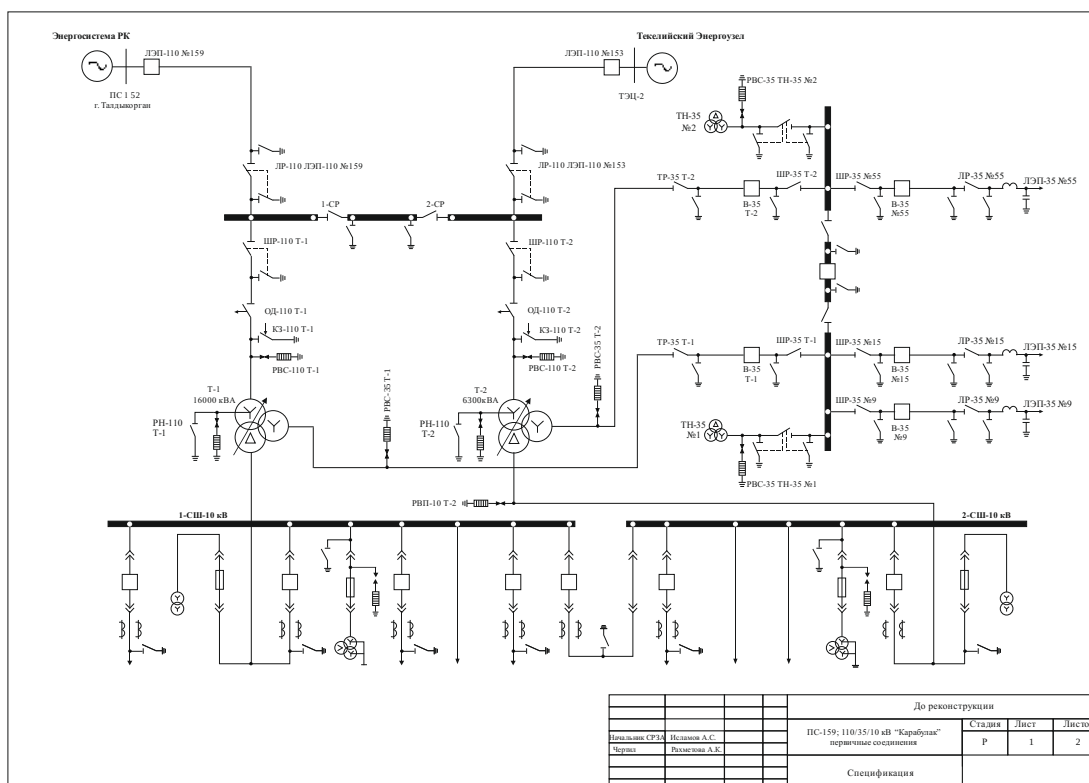


Рис. 1. Первичная схема подстанций 110/35/10 кВ № 159 до реконструкции

Физический и моральный износ основного оборудования устройств релейной защиты и автоматики (далее РЗА) нарушает режим бесперебойного электроснабжения объектов жизнедеятельности населенных пунктов.

На техническом совете было принято решение провести частичную замену оборудования в комплекте с устройствами РЗА в течение 2021-2022 годов, а именно замену коммутационных аппаратов и аппаратуры РЗА на стороне 110 кВ и 10 кВ. Замену оборудования со стороны 35 кВ запланировать на более поздние сроки.

Основная часть

Краткая информация разработанного и внедренного технического решения направленного на повышение надежности работы устройств РЗА силовых трансформаторов.

До реконструкции объекта устройства РЗА силовых трансформаторов располагались в релейных шкафах внутренней установки по проекту завода-изготовителя в КРУН-10 кВ типа К-37.

Оперативные цепи запитаны от трансформаторов собственных нужд 10/0,23 кВ с устройством АВР. Объем релейной защиты типовой с использованием энергии предварительно заряженных конденсаторов и блока питания БПЗ-401 действующая на включение короткозамыкателя 110 кВ (далее КЗ-110 кВ), отключение выключателей вводов 35 кВ, 10 кВ и отключения отделителя 110 кВ (далее ОД-110 кВ) в бестоковую паузу.

Согласно плану реконструкции оборудования на стороне 110 кВ (схема 2) были произведены следующие объемы работ (Рисунок 2):

1. Замена ОД-110 кВ, КЗ-110 кВ на элегазовые выключатели типа LW36-126(W)/T1000-40.

2. Установка трансформаторов тока и напряжения JDCF-110 на первой и второй секции шин 110 кВ.

3. Установка блочно-модульного здания оперативного пункта управления (далее ОПУ) на территории открытого распределительного устройства 110 кВ (ОРУ-110 кВ). (Рисунок 3)

4. Прокладка и подключение силовых и контрольных кабелей вторичной коммутации по вновь установленным кабельным каналам.

5. Монтаж и наладка шкафов РЗА на микропроцессорной базе типа PRS-7000 производства КНР: (Рис. 4)

- трансформатор Т-1 S-16000 кВА (110/35/10 кВ);
- трансформатор Т-2 S-6300 кВА (110/35/10 кВ);
- шкаф собственных нужд 0,4 кВ с устройством АВР;
- шкаф оперативного постоянного тока с АКБ;
- шкаф центральной сигнализации;
- шкаф автоматической частотной разгрузки;
- шкаф трансформаторов напряжения 110 кВ;
- блоки питания БПНС-2 УЗ запитанные от трансформаторов напряжения 110 кВ и предназначенные для перезапитки оперативных цепей постоянного тока на случай неисправности или вывода в ремонт шкафа оперативного тока с АКБ.

- вышеперечисленные шкафы запитаны от шкафа оперативного тока с комплектом аккумуляторных батарей напряжением ± 220 Вольт.

В установленных шкафах отсутствовала аппаратура управления, автоматики и сигнализации устройством РПН трансформаторов, так как силовые трансформаторы производства СССР после капитального ремонта остались в эксплуатации, а завод-изготовитель КНР предоставляет блоки РЗА РПН в комплекте с трансформатором.

Поэтому было принято решение данного вопроса с одновременным внедрением мероприятий повышающих надежность работы устройств РЗА силовых трансформаторов (Рис. 5), а именно:

1. Произвели капитальный ремонт всей аппаратуры РЗА силовых трансформаторов демонтированных из релейных шкафов, установленных в КРУН-10 кВ К-37.

2. Из аварийного запаса службы РЗА были подготовлены четыре каркаса панелей предназначенных для монтажа аппаратуры прошедшей капитальный ремонт.

3. В нижнюю половину двух панелей установили блоки питания БПНС-2 УЗ.

4. Оставшиеся места на панелях были использованы для размещения комплектов РЗА:

- Дифференциальная защита трехобмоточного трансформатора на реле типа ДЗТ-11;
- Максимальная токовая защита на реле РТ-40/20;
- Устройства управления РПН трансформатора;
- Блок питания БПЗ-401 и блоки конденсаторов БК-400 для отключения выключателей В-110 кВ, В-35 кВ, В-10 кВ;
- Оперативные накладки для ввода и вывода защиты;
- Щитовые электроизмерительные приборы;

5. Оперативные цепи вновь установленных устройств РЗА запитаны от блоков питания БПНС с устройством АВР от источников оперативного тока трансформаторов напряжения 110 кВ установленных на первой и второй секции шин.

Таблица 1

Информация по электромагнитам отключения коммутационных аппаратов со стороны 110, 35, 10 кВ

№ п/п	Наименование присоединения	Тип выключателя	Электромагнит отключения
1	Выключатель 110 кВ	LW36-126(W)/Т-1000-40 2020 год	Заводом предусмотрено две катушки DC-220
2	Выключатель 35 кВ	С-35М- 630 - 10 1975 год	Установили дополнительно катушки отключения DC-220
3	Выключатель 10 кВ	БМПП-10 1976 год	Установили дополнительно катушки отключения DC-220

Таблица 2

Информация по трансформаторам тока, к которым подключение вновь установленные устройства РЗА

№ п/п	Наименование присоединения	Информация по трансформаторам тока	Подключение
1	Сторона 110 кВ	LB7-110 с четырьмя обмотками	LB7-110
2	Сторона 35 кВ	ТВ-35 – 2 комплекта ТФЗМ-35 – 1 комплект	ТВ-35 кВ
3	Сторона 10 кВ	ТЛМ-10 кВ - 2 комплекта	ТЛМ-10 кВ

При производстве работ по монтажу и наладке устройств РЗА была дополнительно задействована бригада специалистов в составе мастера Ерешева М. А., инженера Сулейменова А. А., инженера Мусапировой Г.Д., электромонтера Муканова Н.М., электромонтера-водителя Ошаганова М.Т., которые успешно справились с поставленной задачей. Все работы были выполнены в соответствии с требованиями правил ПТБ, ПУЭ, ПТЭ, ППБ Республики Казахстан.

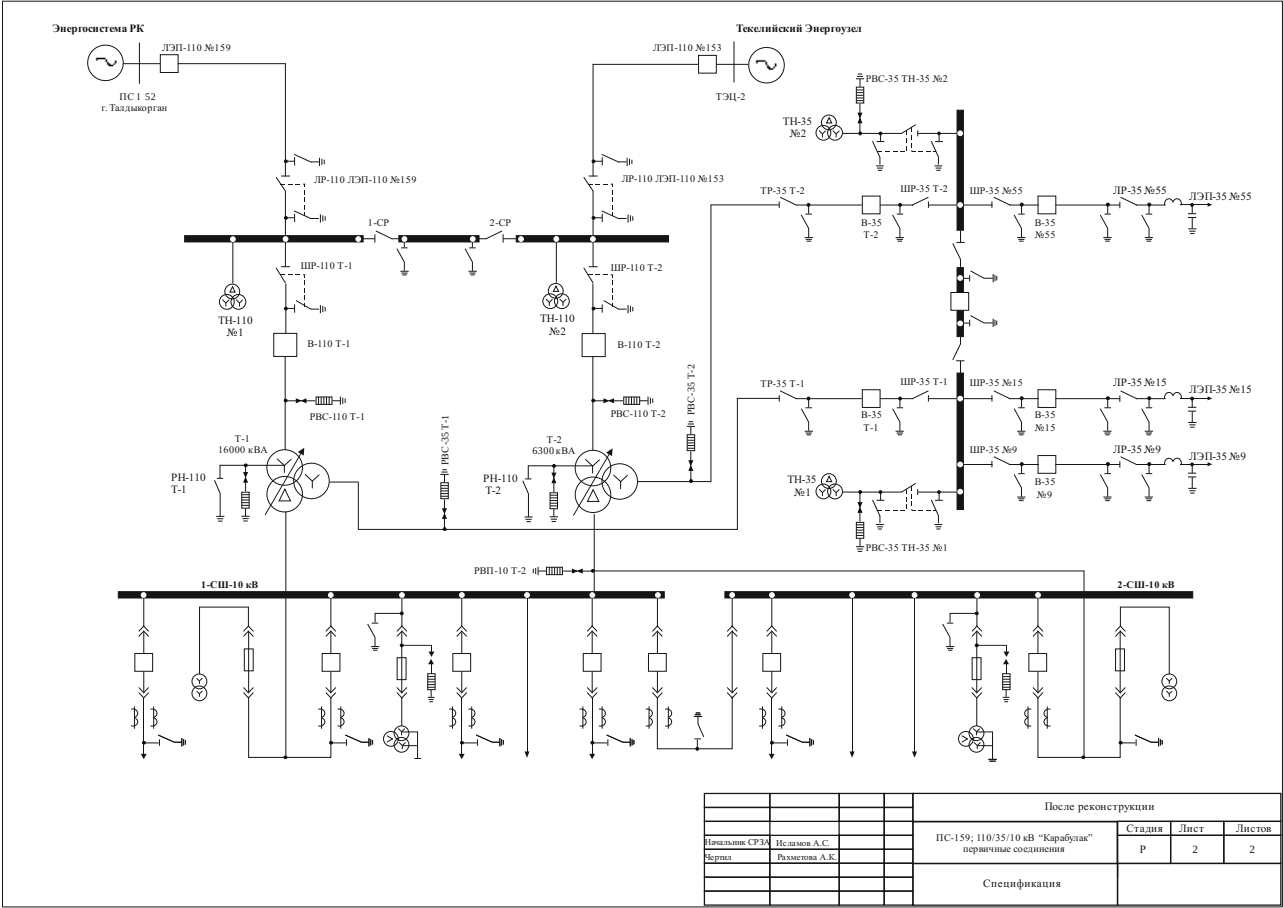


Рис. 2. Первичная схема подстанций 110/35/10 кВ № 159 после реконструкции

Заключение

Реконструкция или модернизация действующих электроустановок – это очень сложный процесс, так как действующая электроустановка является объектом повышенной опасности. При модернизации ПС 159 в сжатые сроки, с максимально допустимой экономией средств и людских ресурсов, а также унификацией действующего исправного оборудования с новым, удалось добиться существенного повышения надежности энергоснабжения региона.

Если это сравнить со строительством обычного жилого дома. Гораздо легче построить Новый дом, согласно разработанного проекта, чем производить работы по перестройке существующего здания.

Защита релейных шкафов и панелей РЗА – это сложный процесс, так как вся аппаратура подстанции обвязана кабелями вторичной коммутации цепей управления, автоматики и сигнализации. Это как говорится не мебель в доме заменить.

В связи с большим количеством подстанции в РК требующих модернизации, надеемся, что наш опыт производства монтажных и пуско-наладочных работ пригодится коллегам – энергетикам.

Источники

[1] Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок, утв. Приказом Министра энергетики Республики Казахстан от 31 марта 2015 года №253 с изм. и доп. от 07 июля 2021 года.

[2] РД 34РК.20.501-02, Правила Технической Эксплуатации электрических станций и сетей РК., утв. Приказом Министерства энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан от 30 марта 2015 года №247 с изм. и доп. от 28 сентября 2020 года.

[3] Правила устройства электроустановок Республики Казахстан., Министерство Энергетики и Минеральных ресурсов РК., Астана, 2003 г. 592 с.

[4] Чернобровов Н.В. Релейная защита. Учебное пособие для техникумов. Изд. 5-е, перераб. и доп. м., «Энергия», 1974. – 680 с.: с ил.

[5] Гельфанд Я. С. Релейная защита распределительных сетей. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.: ил.

[6] Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: 4-е изд., испр. и доп. СПб.: ПЭИПК, 2010. 350 с.

[7] Александров А. М., доцент кафедры РЗА, Основы наладки и эксплуатационных проверок устройств РЗА и вторичной коммутации: учебное пособие – ФГАОУ ДПО Петербургский Энергетический институт повышения квалификации, 2010. – 64 с.

Приложения

Подстанция 110/35/10 кВ №159 г. Талдыкорган



**Элегазовые выключатели,
трансформаторы тока и напряжения 110 кВ после реконструкции**



ОПУ-110 кВ



Шкаф защиты трансформатора



Резервный шкаф защиты трансформатора после реконструкции

ӘОЖ 621.311

ҚОЛДАНЫСТАҒЫ КЕРНЕУІ 110/35/10 КВ ҚОСАЛҚЫ СТАНЦИЯНЫҢ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫН КЕЗЕҢ-КЕЗЕҢІМЕН ЖАҢҒЫРТУ БОЙЫНША ТЕХНИКАЛЫҚ ШЕШІМ

С.С. Кенжебеков, С.А. Минин, Б.Б. Естібаев, Г.Д. Мусапирова
АО «ТАТЭК», служба релелік қорғаныс және автоматика қызметі,
Г.Даукеев атындағы АЭЖБУ КЕАҚ
g.musapirova@aes.kz

***Аңдатпа.** Бұл мақалада қосалқы станцияның қондырғыларын қайта жаңғырту кезінде релелік қорғаныс және автоматика құрылғыларын аз шығын жұмсай отырып жаңарту тәжірибесі жайлы жазылған.*

***Кілттік сөздер:** кернеу, қосалқы станция, реле, электр қондырғысы.*

TECHNICAL DECISION FOR STAGES UPGRADING THE FACILITIES OF THE CURRENT VOLTAGE 110/35/10 KV SUBSTATION

¹S.S. Kenzhebekov, ¹C.A.Minin, ²B.B. Estibaev, ²G.D. Musapirova

¹JSC «TATEK», relay protection and automation service

Non-profit JSC «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev»

g.musapirova@aes.kz

Abstract. This article describes the experience of cost-effective upgrading of relay protection and automation devices during the reconstruction of substation facilities.

Key words: voltage, substation, relay, electrical installation.

Кіріспе

Кернеуі 110/35/10 кВ №159 қосалқы станциясы 1976 жылы Алматы облысының Көксу және Ескелді әкімшілік аудандарын электрэнергиясымен қамтамасыз ету үшін іске қосылған (1 сурет).



1 сурет –110/35/10 кВ-ты №159 қосалқы станциясы

Қосалқы станцияның негізгі жабдықтарының, сондай-ақ релелік қорғау және автоматика құрылғыларының физикалық және моральдық тозуы, елді мекендердің тіршілік ету объектілерін сенімді және үздіксіз электрэнергиясымен қамтамасыз ету шарттарына сәйкес келмейтін жағдайға келді.

Техникалық кеңесте 2021-2022 жылдар аралығында релелік қорғаныс және автоматика (бұдан әрі – РҚЖА) құрылғыларымен жинақталған қосалқы станция жабдықтарын ішінара ауыстыру, атап айтқанда, 110 кВ және 10 кВ жағында коммутациялық аппараттар мен РҚЖА құрылғыларын ауыстыру туралы шешім қабылданды. 35 кВ жағынан жабдықтарды ауыстыру неғұрлым кеш мерзімге жоспарланды.

2021 жыл ішінде 110 кВ жабдықтары мен РҚЖА құрылғыларын ауыстыру бойынша жұмыстар сәтті жүргізілді. 2022 жылы сыртқа қолданылатын жиынтықты тарату құрылғысында (бұдан әрі – КРУН-10кВ) орналасқан майлы ажыратқыштарымен және тікелей әрекет ететін РҚЖА құрылғыларын (РТВ, РТМ релесі) микропроцессорлық базадағы релелік құрылғыларымен жиынтықталған вакуумдық ажыратқыштарға ауыстыру жоспарлануда.

Негізгі бөлім

35 кВ жағында орнатылған жабдықтардың РҚЖА құрылғыларын ауыстыру, монтаждау және іске қосу бойынша әзірленген және енгізілген техникалық шешімнің қысқаша ақпараты

Ашық тарату кондырғысындағы (бұдан әрі – АТҚ-35кВ) 35 кВ-тық барлық жабдықтарының РҚЖА құрылғылары, объектілерде Қайта жаңғырту жұмыстары жүргізілмей тұрып, дайындаушы зауыттың жобасына сәйкес К-37 типті КРУН-10 кВ-та ішкі орнату шкафтарында орналасқан болатын (2-сурет).

Басқару ток тізбектері үздіксіз жұмыс істеу үшін резервті автоматты қосу құрылғысы (АВР) қолданылған 10/0,23кВ-ты меншікті қажеттілік трансформаторларынан қоректендірілген. Релелік қорғаныс РТ-40, РП-341, РВМ-12 релелерін қолдана отырып, ажырату электромагниттерін дешунттау типтік сұлбасы бойынша жинақталған.

35 кВ РҚЖА құрылғыларынан КРУН-10кВ-ты босату және оны жаңадан бөлінген орынға ауыстыру үшін, мынадай іс-шаралар әзірленді және жүргізілді:

1. Мекеме басшылығына К-37 типті КРУН-10кВ-ті жаңғырту жұмыстары кезіндегі бұрын жұмыста болған материалдардан жедел басқару пунктін (ОПУ) дайындауға өтінім берілді.

2. Қосалқы станция қызметінің мамандары АТҚ-35 кВ аумағында жарық беру, жылыту және желдету жүйесі бар жедел басқару пунктін (ОПУ) корпусын жасап, орнатты (3-сурет).

3. РҚЖА қызметінің шеберханасы жағдайында релелік қорғаныс құрылғыларын орналастыруға арналған 7 панель қаңқасы дайындалды.

4. Бұдан әрі, панельдердің қаңқалары объектіге жеткізіліп, жедел басқару пунктінің ішіне келесі РҚЖА құрылғылары орналастырылды (1-3 екінші реттік басқару тізбек сұлбалары):

- айнымалы токтағы орталық жедел сигнал жүйесі;
- I және II секцияның 35кВ-тық кернеу трансформаторлары;
- Т-1 трансформаторын 35 кВ-тық енгізу ажыратқыш панелі (В-35 кВ);
- 35 кВ-ты секциялық ажыратқыш;
- Т-2 трансформаторын 35 кВ-тық енгізу ажыратқыш панелі (В-35 кВ);
- 35 кВ-ты электр тарату желісі (ЭТЖ-35 кВ) №15;
- ЭТЖ-35 кВ №55;
- ЭТЖ-35 кВ №9.

5. №1 панельде авариялық және ескерту сигнализациясы аппаратурасын монтаждау, сондай-ақ шиналардың I және II секцияларындағы қалқанды электр өлшеу аспаптары бар 35 кВ кернеу трансформаторларының аппаратурасы жүргізілді. Айнымалы токтағы

6. АТҚ-35 кВ-та орнатылған барлық коммутациялық аппараттардың РҚЖА құрылғыларын монтаждау үшін аппаратураны демонтаждау, монтаждау және іске қосу, жүргізу, екінші реттік басқару кабельдерін төсеу бойынша жұмыстарды кезең-кезеңмен жүргізу жұмыстарын, шамамен, бір қосылымға бес жұмыс күні кетеді деген жоспар қабылданды.

Панельдің жоғарғы бөлігінде бұрын пайдаланылған релелік шкафтың сигнал беру аппаратурасымен, оперативтік накладкаммен, электрэнергиясын

санау құрылғысымен және амперметрмен тиісті жалғанымдары бар есік орнатылды.

Төменгі бөлігінде КЗ-37 релелік қорғау блогы және автоматты қайта қосу құрылғылары (АПВ) орналастырылды.

7. Жоғарыда аталған жұмыстарды жүргізу кезінде қосымша мамандар бригадасы жұмылдырылды, құрамында инженер Зейнел Д. Е., инженер Қожахметов Е. Б., инженер Рахметова А. К., электржөндеуші Кабылбеков М. Р., инженер Қалиев Д. С. болды, олар қойылған міндетті ойдағыдай орындап шықты.

Барлық жұмыстар Қазақстан Республикасының қауіпсіздік техникасы (ҚТЕ), электр қондырғыларын орнату (ЭОЕ), техникалық пайдалану (ТПЕ), өрт қауіпсіздігі (ӨҚЕ) ережелерінің талаптарына сәйкес орындалды.

Қорытынды

ҚР және ТМД аумағындағы қосалқы станциялардың басым көпшілігі XX ғасырдың 70-80 жылдары пайдалануға берілді және жөндеу-пайдалану қызмет көрсетуінің сенімділігі мен қолайлылығы талаптарына жауап бермейді, ал оларды жұмыс жағдайында ұстауға жұмсалатын еңбек шығындары жылдан жылға артып келеді.

Сондықтан электр қондырғыларын пайдаланумен айналысатын кезекші жедел-жөндеу қызметкерлері тиісті техникалық құжаттаманы уақытылы рәсімдеуі тиіс. Осы ақпараттар негізінде электр энергетикасы объектілерін жаңғырту немесе реконструкциялау бағдарламасы бойынша жабдықты ауыстыру жайлы шешім жоспарланады.

Бұл өте күрделі процесс, өйткені қолданыстағы электр қондырғысы жоғары қауіпті объект болып табылады.

Егер мұны кәдімгі тұрғын үй салумен салыстыратын болсақ, қолданыстағы ғимаратты қайта құру, жөндеу жұмыстарын жүргізуден гөрі, жасалған жобаға сәйкес жаңа үй салу оңайырақ болатындығы түсінікті.

РҚЖА релелік шкафтары мен панельдерін ауыстырумен жоғары білікті мамандар айналысуы тиіс, өйткені қосалқы станциялардың барлық қондырғылары өзара басқару, автоматика және дабыл қағу тізбектерінің екінші реттік басқару кабельдерімен қосылған. Атап айтқандай, бұл үйдегі жиһазды ауыстыру емес.

Қосалқы станцияларды қайта жаңғырту және іске қосу-жүргізу жұмыстарын жүзеге асыру тәжірибесі ҚР және ТМД Энергетик – әріптестерімізге пайдалы болады деп үміттенеміз.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок, утв. Приказом Министра энергетики Республики Казахстан от 31 марта 2015 года №253 с изм. и доп. от 07 июля 2021 года.

[2] РД 34РК.20.501-02, Правила Технической Эксплуатации электрических станций и сетей РК., утв. Приказом Министерства энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан от 30 марта 2015 года №247 с изм. и доп. от 28 сентября 2020 года.

[3] Правила устройства электроустановок Республики Казахстан., Министерство Энергетики и Минеральных ресурсов РК., Астана, 2003 г. – 592 с.

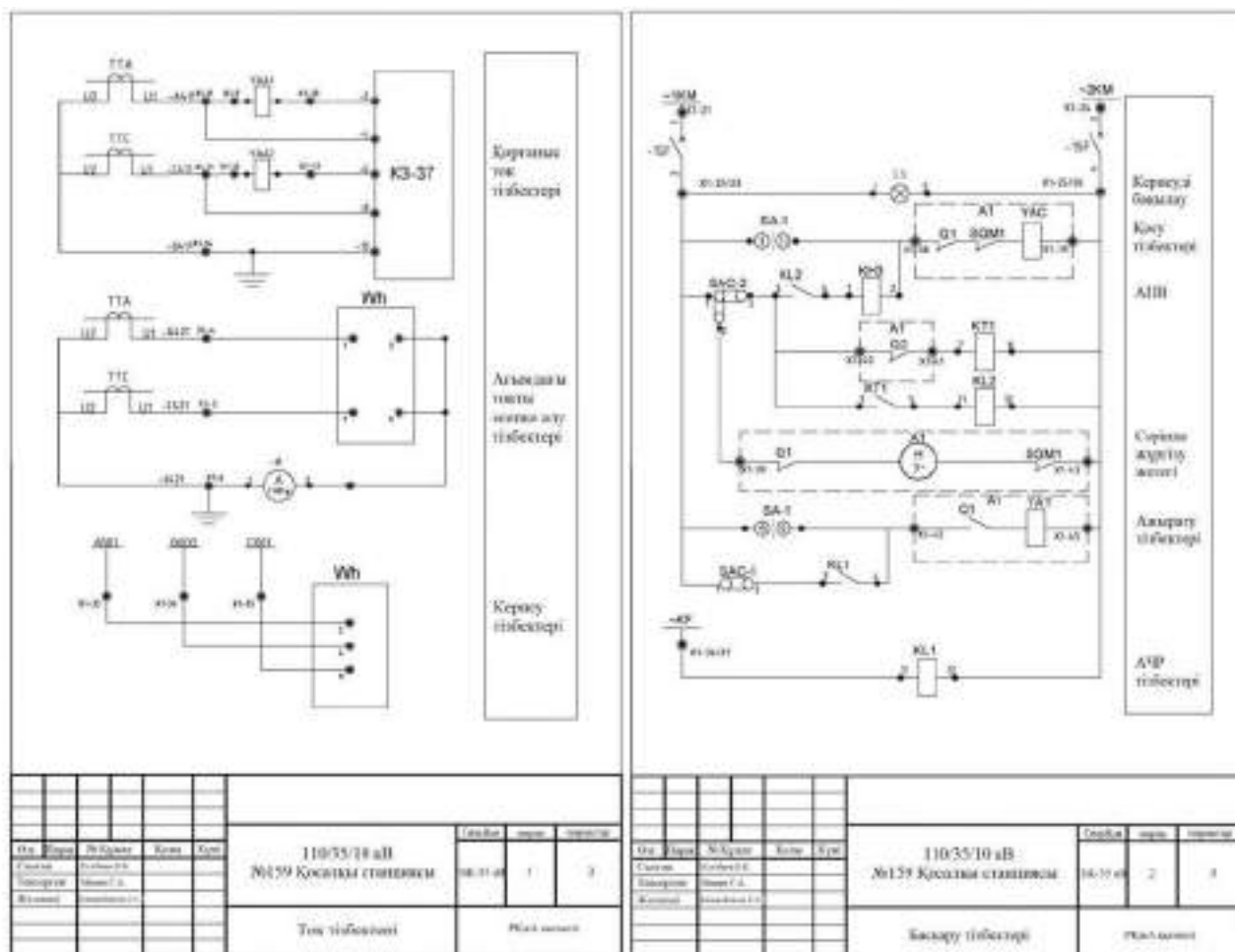
[4] Чернобровов Н.В. Релейная защита. Учебное пособие для техникумов. Изд. 5-е, перераб. и доп. м., «Энергия», 1974. – 680 с.: с ил.

[5] Гельфанд Я.С. Релейная защита распределительных сетей. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.: ил.

[6] Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: - 4-е изд., испр. И доп. – СПб.: ПЭИПК, 2010. – 350 с., ил.

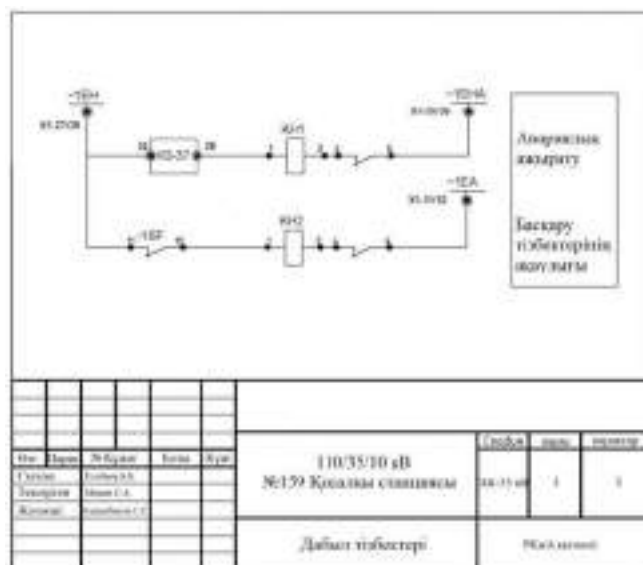
[7] Александров А.М., доцент кафедры РЗА, Основы наладки и эксплуатационных проверок устройств РЗА и вторичной коммутации: учебное пособие – ФГАОУ ДПО Петербургский Энергетический институт повышения квалификации, 2010. – 64 с.

Мақалаға қосымша ақпараттар



1 сұлба - Ток тізбектері

2 сұлба - Басқару тізбектері



3 сұлба – Дабыл қағу тізбектері





2 сурет – Дайындаушы зауыттың жобасына сәйкес К-37 типті КРУН-10 кВ-тың ішінде 35 кВ-тық РҚЖА құрылғылары ішкі орнату шкафтарында орналасқан





З сурет – Жаңадан қойылған 35 кВ-ты жедел басқару пункті

УДК 621.311

НЕСТАНДАРТНЫЕ МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА РЕКОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

А. С. Исламов, А. Т. Сулейменов, Г.Д. Мусапирова, А. Рахметова
АО «ТАТЭК», служба релейной защиты и автоматики
g.musapirova@aes.kz

***Аннотация** В статье приведен пример практики мероприятий по повышению надежности работы релейной защиты линий 10 кВ выполненных на реле прямого действия РТМ и РТВ встроенных в привод выключателя 10 кВ типа ПП-67.*

***Ключевые слова:** надежность, реле, трансформаторы, напряжение.*

NON-STANDARD METHOD OF PRODUCTION RECONSTRUCTION FOR INCREASED RELIABILITY RELAY PROTECTION

¹A.S. Islamov, ¹A.T. Suleimenov, ¹G.D. Musapirova, ¹A. Rakhmetova
¹JSC «TATEK», relay protection and automation service
g.musapirova@aes.kz

***Abstract.** The article gives an example of the experience of modernizing existing electrical installations to improve the reliability of the relay protection of a 110/35/10 kV transformer, with the maximum allowable savings of funds and resources.*

Key words: reliability, relay, transformers, cable, voltage.

Применяются общенаучные методы исследования

Введение

Электроэнергия – это признак и продукт богатого общества. Без электроэнергии невозможно представить себе современного освещения, тепла, двигательной нагрузки. На применении электроэнергии базируется вся современная промышленность. Основой современных технологий средств связи, информатики, компьютерной техники также является электричество, которое наряду со всеми величайшими благами представляет большую опасность при неумелом его использовании. Поэтому уже более 100 лет существует и успешно развивается особая область электроэнергетики, где используются специальные устройства, предназначенные для защиты оборудования и людей от поражения электрическим током. Эта обширная область энергетики традиционно называется «релейная защита», потому что основными защитными устройствами являются реле.

Наибольшее количество реле используется в электроустановках среднего напряжения, в так называемых распределительных электрических сетях напряжением от 6 до 35 кВ, которые являются важным звеном в системе производства, передачи и потребления электрической энергии и где происходит основная масса нарушений электроснабжения.

Основная часть

Краткая информация по эксплуатации устройств релейной защиты линий напряжением 10 кВ

Более 80% коммутационных аппаратов и устройств релейной защиты на подстанциях 110/35/10 кВ находится в эксплуатации около 40 лет и не отвечают требованиям надежности и удобства ремонтно-эксплуатационного обслуживания, а трудозатраты на их содержание в рабочем состоянии ежегодно повышаются по причине физического и морального износа оборудования.

Темпы производства работ по модернизации и реконструкции подстанций очень низкие. Это связано, прежде всего, с недостатком финансовых средств.

Повышенный износ оборудования из-за длительного срока эксплуатации может привести к отказу или ложной работе устройств релейной защиты во время коротких замыканий и ненормальных режимов работы электрооборудования подстанций.

На основании вышеизложенного специалистам, занимающихся ремонтно-эксплуатационным обслуживанием релейной защиты приходится своевременно устранять появившиеся дефекты и неисправности, а так же разрабатывать и внедрять новые нестандартные методы производства реконструкции для повышения надежности работы оборудования с минимально возможными финансовыми затратами.

Таблица 1 - Описание одного из мероприятий по повышению надежности работы оборудования подстанции

Объект	Подстанция 110/10 кВ №157 «Кус фабрикасы» Талдыкорганский РЭС АО «ТАТЭК» (рисунок 1)
Оперативное обслуживание	Без местного дежурного персонала. Объект находится на расстоянии 22 км от диспетчерского пункта и обслуживается персоналом ОВБ
Присоединения	Ячейка КРН-IV отходящей линий 10 кВ №6 «Когер ЛТД» (рисунок 2)
Тип устройств релейной защиты	Релейная защита выполнена на реле прямого действия РТМ и РТВ встроенных в привод выключателя 10 кВ типа ПП-67
Проблемные вопросы	Обращения и недовольство потребителей электроэнергии на частые отключения связанные с бросками тока нагрузки
Результаты проверки устройств РЗА	Причиной неселективной работы релейной защиты является физический износ часового механизма реле РТВ. Нет возможности произвести регулировку времени срабатывания. Максимальная токовая защита срабатывает без выдержки времени, т.е. как токовая отсечка
Разработанные и внедренные мероприятия	Группа специалистов в составе ведущего инженера Сулейменова А.Т., мастера Игнатова О.В., электромонтера Кабылбекова М.Р. внесли предложение по реконструкции панели релейного отсека с установкой блока защиты КЗ-37. В течении одного рабочего дня они успешно произвели работы по монтажу и наладке устройств релейной защиты по схеме дешунтирования электромагнитов отключения, то есть самой надежной и проверенной временем схеме, в которой цепи оперативного тока используют энергию короткого замыкания полученную от трансформаторов тока защищаемой электроустановки (рисунок 3, 4)

Заключение

Надеемся, что наш опыт эксплуатации устройств релейной защиты поможет коллегам в решении аналогичных проблемных вопросов, а студентам, обучающимся по нашей специальности необходимо учиться, учиться и ещё раз учиться, так как только специалисты – релейщики знают точное место в электрической установке, где должно работать конкретное реле, каковы там значения токов при нагрузках и коротких замыканиях, каковы «соседи сверху» и «соседи снизу» и как они «настроены». Только умелый выбор характеристик реле может гарантировать правильные действия Релейной Защиты!!!

Источники

[1] Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок, утв. Приказом Министра энергетики Республики Казахстан от 31 марта 2015 года №253 с изм. и доп. от 07 июля 2021 года.

[2] РД 34РК.20.501-02, Правила Технической Эксплуатации электрических станций и сетей РК., утв. Приказом Министерства энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан от 30 марта 2015 года №247 с изм. и доп. от 28 сентября 2020 года.

[3] Правила устройства электроустановок Республики Казахстан., Министерство Энергетики и Минеральных ресурсов РК., Астана, 2003 г. – 592 с.

[4] Чернобровов Н.В. Релейная защита. Учебное пособие для техникумов. Изд. 5-е, перераб. и доп. м., «Энергия», 1974. – 680 с.: с ил.

[5] Гельфанд Я. С. Релейная защита распределительных сетей. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.: ил.

[6] Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: - 4-е изд., испр. И доп. – СПб.: ПЭИПК, 2010. – 350 с., ил.

[7] Александров А. М., доцент кафедры РЗА, Основы наладки и эксплуатационных проверок устройств РЗА и вторичной коммутации: учебное пособие – ФГАОУ ДПО Петербургский Энергетический институт повышения квалификации, 2010. – 64 с.

Приложения к статье



Рис. 1. Подстанция 110/10 кВ №157 «Кус фабрикасы»



Рис. 2. Ячейка КРН-IV отходящей линий 10 кВ

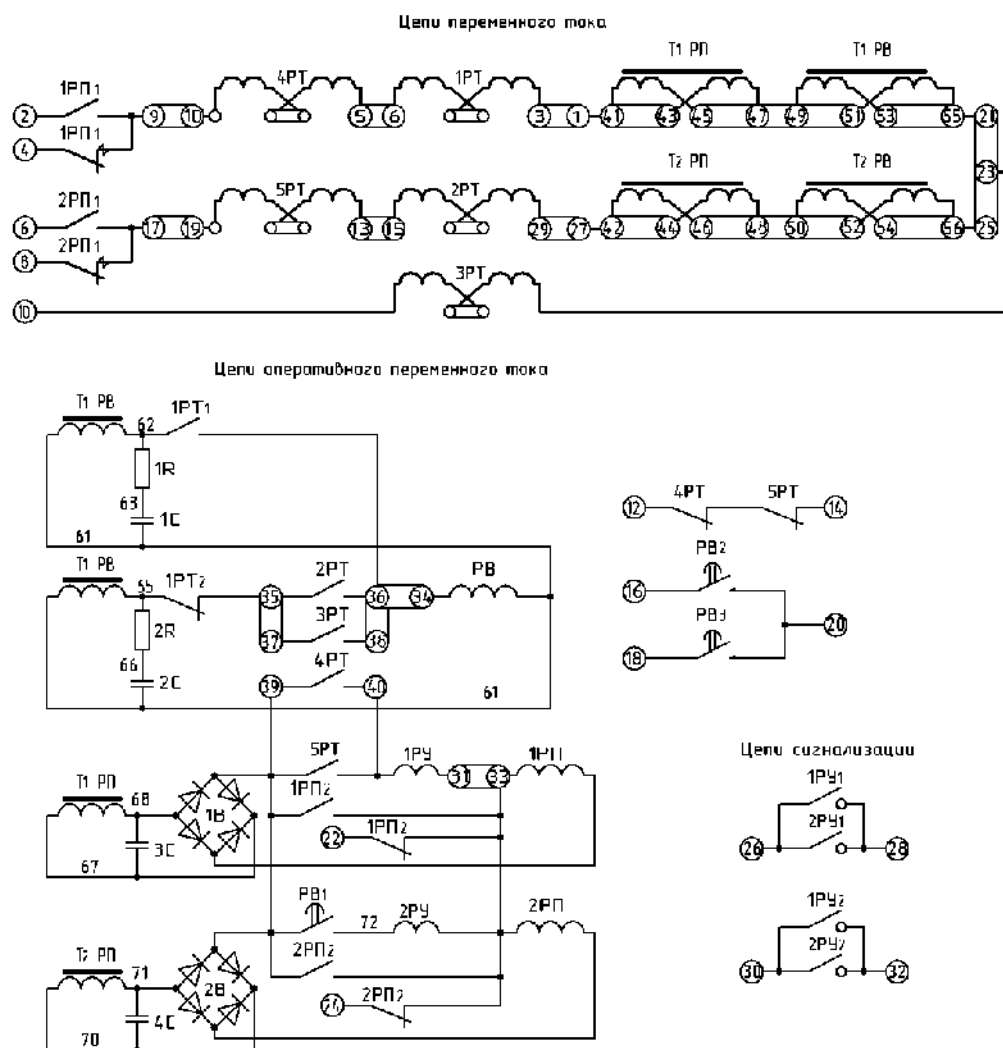


Рис. 3. Принципиальная схема КЗ-37





1 – до реконструкции; 2 – после реконструкции
Рис. 4. Внедренная реконструкция ячейки 10 кВ

УДК 533.682

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ЦИЛИНДРА В ПОТОКЕ ВОЗДУХА И ПРИМЕНЕНИЕ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

А.Н. Дюсембаева, Н.К.Танашева, Б.Р. Нусупбеков, А.С. Тусыпбаева
НАО «Карагандинский университет имени академика Е. А. Букетова»,
Караганда
aikabesoba88@mail.ru

***Аннотация.** Авторами статьи проведена работа по определению аэродинамических характеристик вращающегося цилиндра. Проведено моделирование картины обтекания исследованного цилиндра. При моделировании произведен расчет аэродинамических характеристик вращающегося цилиндра в программном пакете Ansys Fluent. Сравнение экспериментальных результатов и численных решений для вращающегося цилиндра дали хорошее совпадение, погрешность не превышает 3-5%.*

***Ключевые слова:** цилиндр, эффект Магнуса, лобовое сопротивление, подъемная сила*

SIMULATION OF THE FLOW AROUND A ROTATING CYLINDER IN THE AIR FLOW AND APPLICATION IN THE FIELD OF ENERGY

A.N. Dyusembaeva, N.K.Tanasheva, B.R. Nusupbekov, A.S. Tussypbaeyva
Karaganda Buketov University
aikabesoba88@mail.ru

Annotation. *The authors of the article carried out work to determine the aerodynamic characteristics of a rotating cylinder. A simulation of the flow pattern of the investigated cylinder is carried out. During the simulation, the aerodynamic characteristics of the rotating cylinder were calculated in the Ansys Fluent software package. Comparison of experimental results and numerical solutions for a rotating cylinder gave a good match, the error does not exceed 3-5%.*

Keywords: *cylinder, Magnus effect, drag, lifting force*

Введение

Попытки использования вращающихся цилиндров в качестве силового элемента ветродвигателей известны с давних времен [1-2]. Однако в силу сложности аэродинамических картин обтекания системы вращающихся цилиндров в турбулентном потоке воздуха, требующего достаточно современной экспериментально-теоретической базы, работы по сей день продолжают [3]. В работах [4-5] показано, что силовой элемент ветродвигателя в виде вращающегося цилиндра может более эффективно работать, чем традиционно используемый крыловой профиль пропеллера, особенно при малых скоростях потока.

В связи с возрастающими требованиями к экономии топливно-энергетических ресурсов, снижению негативного влияния на окружающую среду, а также обеспечения электроэнергией регионов в настоящее время большое внимание уделяется ветроэнергетике.

Преобладающие в природе ветры низких скоростей, трудно улавливаемые существующими устройствами [6-7]. Требуются разработки более совершенных машин, основанных на новых принципах. Один из таких принципов является использование эффекта вращающихся цилиндров в турбулентном потоке воздуха. Поэтому разработка таких устройств является актуальной задачей.

Известные работы Бычкова Н. М. [8-9] относятся к определению аэродинамических параметров вращающихся одиночных цилиндров в потоке воздуха.

Работы, посвященные исследованию аэродинамики обтекания одиночного и системы вращающихся цилиндров, являющихся элементами разрабатываемого нами ветродвигателя, сопровождающихся турбулентным потоком, в настоящее время крайне мало.

Методика исследований

Рассматривается обтекание вращающегося цилиндра горизонтальным турбулентным потоком воздуха. На верхней части цилиндра, где течение жидкости и вращение движущейся стенки направлены в одну и ту же сторону, отрыв пограничного слоя полностью отсутствует. В нижней части цилиндра скорости потока и вращающейся поверхности направлены противоположно, они вычитываются, происходит торможение и уменьшение скорости. Появление такой разницы скоростей приводит к появлению поперечной разницы давлений и возникновению

поперечной подъёмной силы, названной эффектом Магнуса. Это явление мы использовали для создания ветротурбины.

Экспериментальные исследования проводились в аэродинамической трубе Т-1-М с открытой рабочей частью диаметром 500 мм. Скорость воздушного потока $V \geq 2,5$ м/с. Начальная турбулентность составляла 3%. Диаметры исследуемых цилиндров изменялся в пределах 50÷150 мм, частота вращения 100÷1500 оборотов в минуту. Сила лобового сопротивления и подъемная сила измерялись трехкомпонентными аэродинамическими весами.

Для математического моделирования обтекания вращающегося цилиндра был произведен расчет в программном пакете Ansys Fluent, предназначенном для моделирования сложных течений в широком диапазоне изменения теплофизических свойств, посредством обеспечения различных параметров моделирования и использования многосеточных методов с улучшенной сходимостью. Программный пакет позволяет вычислять внешние силы и моменты.

В нашем случае вычислялась аэродинамическая подъемная сила и сила лобового сопротивления.

При решении системы уравнений сохранения массы и сохранения импульсов учитывались как вязкие, так и турбулентные составляющие. Модель турбулентности основывалась на гипотезе Буссинеска, определяющей связь между тензором турбулентных напряжений и градиентами скоростей. Для определения турбулентной вязкости использовалась модель Лаундера-Сполдинга [10].

Задавались граничные условия на стенке, на входе и на выходе.

Граничные условия на стенке – условие прилипания и непротекания.

$$V = 0; \frac{\partial k}{\partial n} = 0; \varepsilon_p = \frac{C_\mu^{3/4} k_p^{3/2}}{\kappa y_p}.$$

Здесь $k = 0.4187$ – постоянная Кармана; индекс P – относится к центру пристенной ячейки разностной сетки. Где V – скорость потока воздуха, k – кинетическая энергия турбулентности, n – вектор нормали, ε – скорость диссипации, C_μ – универсальная постоянная модели Сполдинга (0,057), y_p – расстояние от центра контрольного объема до стенки.

Граничные условия на входе:

$$U = U_{in}; V = 0$$

Турбулентные параметры потока определяются через задание интенсивности турбулентных пульсаций I и гидравлического диаметра D_{hyd} :

$$k = \frac{3}{2}(I \cdot V_{int el})^2; \quad \varepsilon = C_{\mu}^{3/4} \frac{k^{3/2}}{l}$$

Здесь $V_{int el}$ - вектор скорости на входе в расчетную область, l - масштаб турбулентности.

Граничные условия на выходной границе:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = 0.$$

Для моделирования были построены 2D геометрическая модель в пакете Gambit, обладающий мощными возможностями для создания двухмерных расчетных областей непосредственно внутри программы.

После построения сеточной модели, она экспортируется для дальнейшего моделирование в ANSYS FLUENT.

Обсуждение результатов исследований

В ходе моделирование было получено графическое изображение обтекание вращающегося цилиндра (рис.1) при следующих значениях аэродинамических параметров: скорость потока V - 5м/с, $Re = 3,3 \cdot 10^4$, частота вращения 1000 об/мин, интенсивность турбулентности 10%.

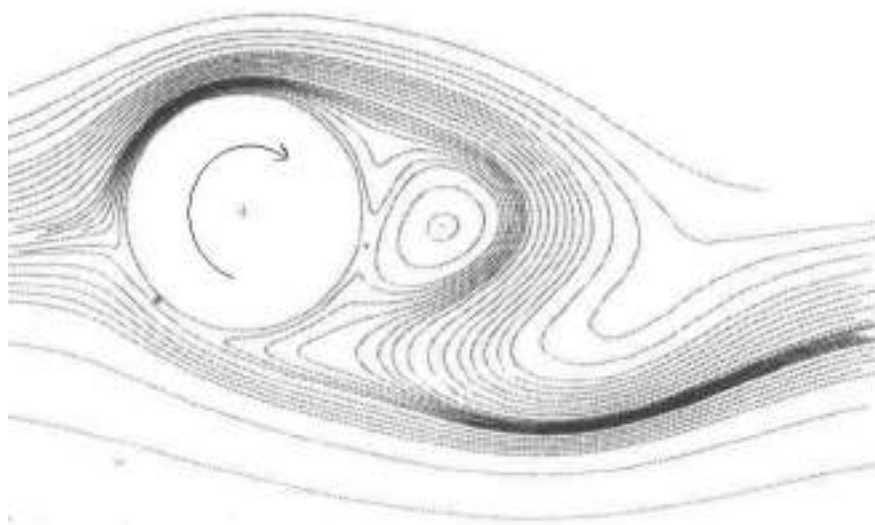


Рис. 1. Картина линий тока при обтекании вращающегося цилиндра

Анализ результатов численного решения задачи показывает, что вращение цилиндра приводит к захвату части прилегающей жидкости в сопутствующее вращательное движение.

Из картины хорошо видно нарушение симметрии потока, обусловленный вращательным движением. Четко прослеживается зона возвратных течений за цилиндром, отрывные явления, смещение зоны повышенных скоростей вверх по потоку в нижнюю область.

В результате моделирования построена также картина распределения давления в окрестности вращающегося цилиндра при обтекании турбулентным потоком воздуха (рис.2).

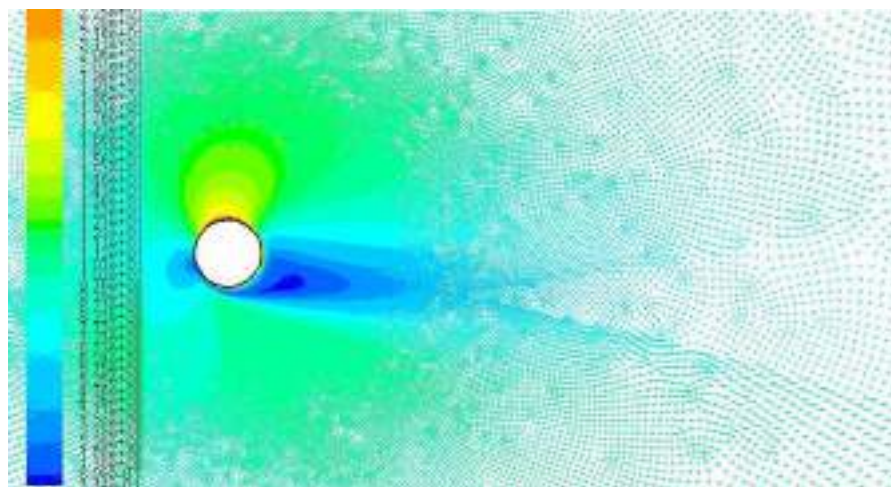


Рис. 2. Картина распределения давления при обтекании вращающегося цилиндра

Распределение областей повышенного и пониженного давлений вблизи поверхности цилиндра (рис.2) позволяет объяснить физическую природу появления сил лобового сопротивления и подъемной силы, а также вычислять их числовые значения. Значительный интерес представляет также распределение давления в турбулентном следе за цилиндром, где происходит появление циркуляционного вихря, а также возникает зона разряжения вниз по потоку.

На рисунках 3 и 4 приведены зависимости силы лобового сопротивления и подъемной силы вращающегося цилиндра от скорости потока, полученным экспериментальным путями с помощью численного моделирования данного процесса в программе FLUENT.

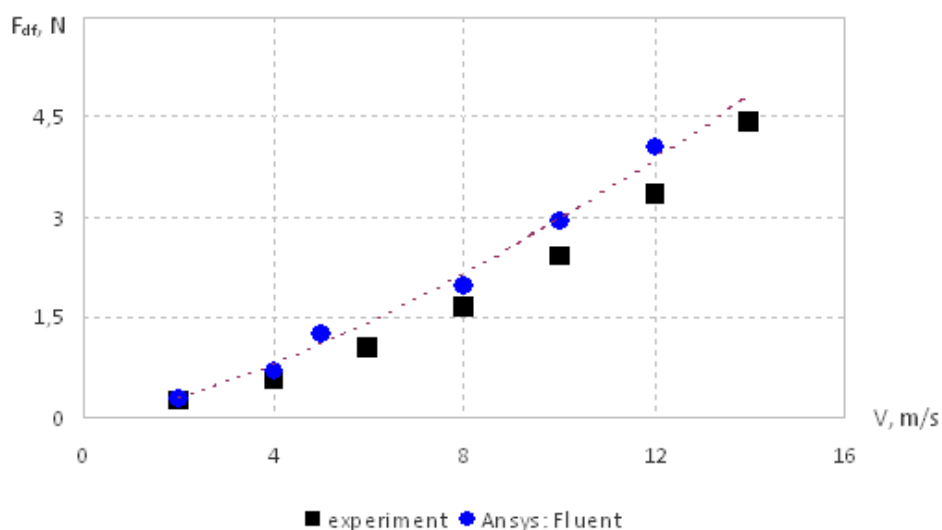


Рис. 3. Зависимость силы лобового сопротивления вращающегося цилиндра от скорости потока

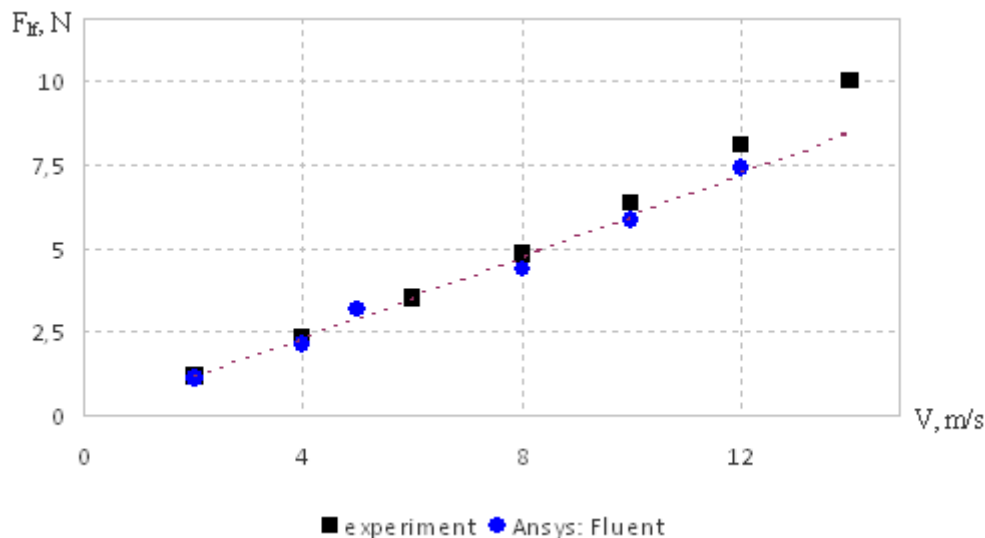


Рис. 4. Зависимость подъемной силы вращающегося цилиндра от скорости потока

Характер этих зависимостей показывает, что при увеличении скорости потока повышается сила лобового сопротивления и подъемная сила. Это связано с тем, что при обтекании цилиндра потоком воздуха на его поверхности появляются несимметричное распределение давления и поток завихряется. Как видно из рисунков экспериментальные и расчетные значения исследуемых параметров довольно близки.

Зависимость безразмерных коэффициентов лобового сопротивления и подъемной силы определяемых численным моделированием для двух значений интенсивности турбулентности представлены в графиках рис. 5-6. Здесь же приведены экспериментальные значения при начальной турбулентности потока 3%.

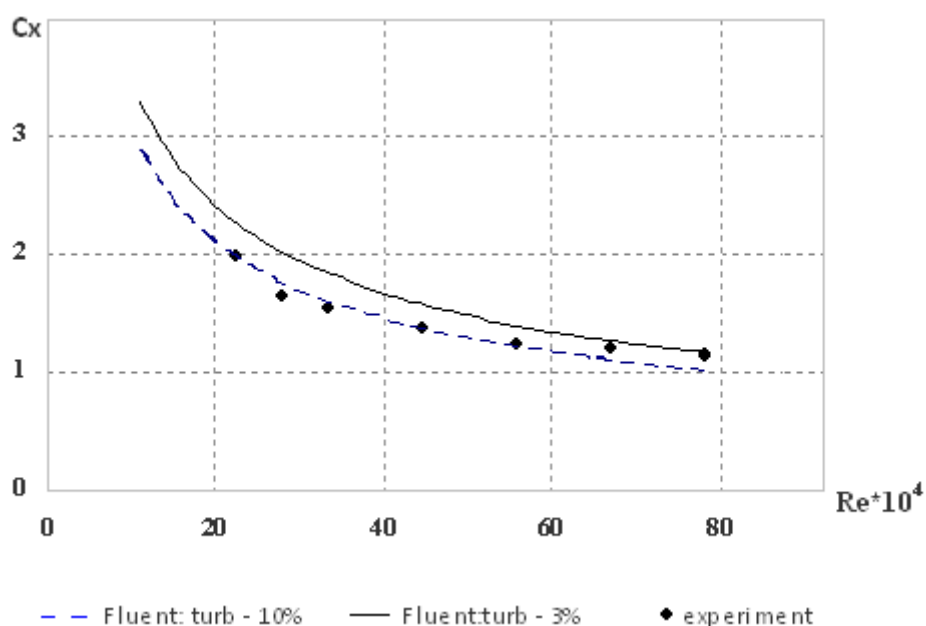


Рис.5. Зависимость коэффициента лобового сопротивления от числа Рейнольдса

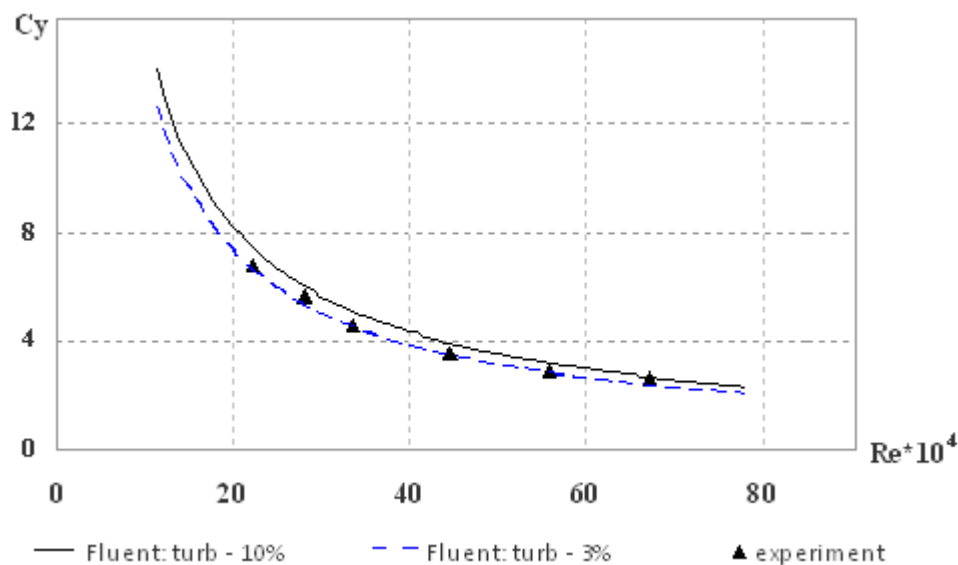


Рис. 6. Зависимость коэффициента подъемной силы от числа Рейнольдса

Зависимости исследуемых параметров от числа Рейнольдса носит убывающий характер. Увеличение интенсивности турбулентности набегающего потока приводит к возрастанию изучаемых коэффициентов, что объясняется значительным нарушением симметрии потока и процессами интенсивного вихреобразования.

Видно, что экспериментальные данные и расчетные значения коэффициентов удовлетворительно согласуются.

Заключение

В результате математического моделирования установлены закономерности обтекания вращающегося цилиндра в турбулентном потоке воздуха. Получены картина обтекания и поле давлений объясняющие физическую природу появления сил лобового сопротивления и подъемной силы. Полученные значения численного моделирования аэродинамических параметров удовлетворительно согласуются с экспериментальными результатами.

Результаты этих исследований показывают, что при малых значениях скорости потока, вращающийся цилиндр обладает относительно более высокими коэффициентами подъемной силы и эффект усиливается с возрастанием интенсивности турбулентности.

При оптимизации лобового сопротивления вращающихся цилиндров их можно эффективно использовать в качестве силового элемента ветроустановки.

Источники

[1] W.M. Swanson. The Magnus Effekt.-ASME. Engineering, 1961

- [2] S.I. Isatayev, Zh.S. Akyibaev, A.Zh. Turmuhambetov. Aerohydrodynamics and Heat Exchange of Curvilinear Bodies. – Almaty: Gylym, 1996.
- [3] K. Kussaiynov, N.K. Tanasheva, M.M.Turgunov, K.M. Shaimerdenova, A.R. Alibekova. The Effect of Porosity on the Aerodynamic Characteristics of a Rotating Cylinder. - *Modern Applied Science. - Canadian Center of Science and Education*, Vol. 9(2): 218-227, 2015.
- [4] K. Kussaiynov, N.K. Tanasheva, M.M.Turgunov, A.R. Alibekova. The study of aerodynamic characteristics of rotating porous cylinder. *Technical Physics*, Vol.60 (5): 23-26, 2015.
- [5] K.Kussaiynov, S.E. Sakipova, N.K.Tansykbaeva, A. Kussaiynova. Experimental research of aerodynamics of the system of the revolved cylinders in a turbulent stream: *Turbulence, Heat and Mass Transfer* 7:577-580, 2012.
- [6] L.V. Mikhnenko. Wind Turbine planetary type. Bulletin of business life, 23, 2004.
- [7] L.V. Mikhnenko. Aerodynamic Magnus effect, as a basic principle of some aircraft and wind power devices, MGTUGA. 2008.
- [8] N.M. Bychkov. Wind turbine with Magnus: 1. The results of modeling studies, Thermophysics and Aeromechanics, 11, 4, 583-596, 2004.
- [9] N.M. Bychkov. Wind turbine with Magnus. 2. Features of the rotating cylinder. Thermal physics and aerodynamics, 12, 1, 2005.
- [10] O.V. Baturin, N.V. Baturin, V.N. Matveev. Construction of computational models in the preprocessor Gambit universal software package Fluent: Tutorial: Publishing House of Samar. State. aerokosm. University, Samara, 172, 2009.

УДК 621.311

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 6-10КВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

¹М. Е. Волгин, ¹Е. М. Волгина, ¹В.П. Марковский, ¹Н.А. Дубинец
¹НАО «Торайгыров университет», Республика Казахстан, г. Павлодар
volgin_m@mail.ru., volgina.em@mail.ru., wadim54@mail.ru

Аннотация В статье рассматривается вопрос повышения эффективности системы электроснабжения промышленного предприятия, которая определяется уровнем потерь электрической энергии в её элементах.

Одним из важнейших путей повышения эффективности систем электроснабжения и распределительных сетей, обеспечивающих передачу и распределение электроэнергии, является снижение расхода электрической энергии, который тратится на этот процесс. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях производят за счёт снижения реактивной составляющей

электрического тока, т.е. повышения $\cos \varphi$. ПУЭ рекомендует для этого в первую очередь использовать имеющиеся на предприятии синхронные двигатели, которые, как известно, могут вырабатывать и потреблять реактивную мощность в зависимости от величины тока возбуждения.

Решить поставленную задачу по минимизации потерь активной мощности в электрической сети целесообразно с использованием методов математического моделирования и математического программирования.

В статье приводятся основные черты метода критериального программирования для решения класса задач с положительной степенью трудности, который достаточно хорошо известен в электроэнергетике для решения оптимизационных задач. Особенностью данного метода является то, что кроме параметров режима, он позволяет найти критерии подобия целевой функции с последующим анализом полученных результатов оптимального решения.

Предлагается методика применения метода критериального программирования для решения задачи повышения эффективности электрической сети за счёт оптимального управления работой синхронных двигателей по режиму реактивной мощности.

Ключевые слова: электроснабжение, распределительная сеть, потери электроэнергии, реактивная мощность, критериальное программирование, целевая функция, матрица размерностей, минимизация функции, оптимальные параметры.

MATHEMATICAL SOLUTIONS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF 6-10KV DISTRIBUTION NETWORKS IN POWER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

M.E. Volgin, E.M. Volgina, V.P. Markovskiy, N.A. Dubinets
"Toraigrov University" NCJSC, Kazakhstan, Pavlodar
volgin_m@mail.ru., volgina.em@mail.ru., wadim54@mail.ru

Annotation. The article deals with the issue of increasing the efficiency of the power supply system of an industrial enterprise, which is determined by the level of electricity losses in its elements.

One of the most important ways to improve the efficiency of power supply systems and distribution networks that ensure the transmission and distribution of electricity is to reduce the consumption of electricity that is spent on this process. The reduction of electricity losses in electrical networks is carried out by reducing the reactive component of the current, i.e. increase $\cos \varphi$. The PUE recommends that, first of all, the synchronous motors available at the enterprise be used for this.

It is advisable to solve the problem of minimizing active power losses in the electrical network using the methods of mathematical modeling and mathematical programming.

The article presents the main features of the criterion programming method for solving a class of problems with a positive degree of difficulty, which is well known in the electric power industry for solving optimization problems.

A methodology for applying the method of criteria programming for solving the problem of increasing the efficiency of an electric network due to the optimal control of the operation of synchronous motors according to the reactive power mode is proposed.

Key words: power supply, distribution network, power losses, reactive power, criterion programming, objective function, dimension matrix, function minimization, optimal parameters.

Введение

Эффективность системы электроснабжения определяется уровнем потерь электроэнергии в её элементах.

Одним из важнейших путей повышения эффективности систем электроснабжения и распределительных сетей, обеспечивающих передачу и распределение электроэнергии, является снижение расхода электроэнергии, который тратится на этот процесс. По мнению международных экспертов, относительные потери электроэнергии при ее передаче и распределении в электрических сетях большинства стран можно считать удовлетворительными, если они не превышают 4-5%. Потери на уровне 10% можно считать максимально допустимыми с точки зрения физики передачи по сетям электроэнергии.

Таким образом, одним из критериев при оценке эффективности электрических сетей и систем является уровень потерь энергии в них.

Основная часть

Потери электроэнергии в линиях

На стадиях передачи и распределения электроэнергии потери в сетях РФ и РК в 1998 составили 16,2% от отпущенной электроэнергии. Для сравнения [1]: в сетях ФРГ эти потери составили 4,4%, Канады – 7,1% , а в сетях Японии на протяжении ряда последних лет не превышали 5,5%.

В таблице 1 приведена ориентировочная структура потерь по элементам электроэнергетической системы.

Таблица 1

Структура потерь электроэнергии по элементам
электроэнергетической системы

Всего	В том числе			
	Линии электропередачи	Трансформаторы и автотрансформаторы	Реакторы, синхронные компенсаторы, СТК, силовые конденсаторы, счетчики, измерительные трансформаторы тока и напряжения	Собственные нужды подстанций
100%	65% из них 5% на корону	~30% из них половина - потери в стали	3%	2%

Передача значительного количества реактивной мощности по линиям и через трансформаторы сети электроснабжения невыгодна по следующим основным причинам:

а) возникают дополнительные потери активной мощности и энергии во всех элементах системы электроснабжения, обусловленные нагрузкой их реактивной мощностью;

б) возникают дополнительные потери напряжения.

в) нагрузка реактивной мощностью линий электропередачи и трансформаторов сети электроснабжения уменьшает пропускную

способность сети, что в ряде случаев не позволяет использовать полную установленную мощность генераторов электрических станций.

Для устранения перечисленных причин, снижающих эффективность сетей электроснабжения, прибегают к увеличению коэффициента мощности. Его повышают без применения компенсирующих устройств и с применением компенсирующих устройств.

В первом случае выполняются следующие мероприятия:

а) упорядочение технологического процесса, ведущее к улучшению энергетического режима оборудования;

б) замена мало загруженных асинхронных двигателей двигателями меньшей мощности;

в) ограничение холостого хода двигателей;

г) применение синхронных двигателей вместо асинхронных той же мощности в случаях, когда это возможно по условиям технологического процесса;

д) повышение качества ремонта двигателей;

е) замена мало загруженных трансформаторов.

Во втором случае для повышения $\cos \varphi$ в электрических сетях используют следующие технические средства – синхронные компенсаторы (СК), статическими компенсаторами (СТК), конденсаторными батареями (КБ), а также синхронные двигатели (СД), которые имеются на предприятии по технологическим требованиям. Как известно, СД могут как вырабатывать реактивную мощность, так и потреблять её. Эти режимы работы СД зависят от величины тока возбуждения.

В связи с вышеизложенным, важным вопросом при решении задачи эффективности электрической сети является оптимальное управление режимом реактивной мощности.

Использование методов математического программирования

Поставленную задачу целесообразно решать с использованием методов математического программирования. Одним из методов является метод критериального программирования.

Основная задача данного метода формулируется следующим образом:

- найти минимальное значение функции

$$Y(X), X = (X_1, X_2, \dots, X_m), \quad (1)$$

- при условии

$$X_1 > 0, X_2 > 0, \dots, X_m > 0,$$

- и ограничениях

$$g_1(X) \leq 1, g_2(X) \leq 1, \dots, g_p(X) \leq 1.$$

При этом считается, что целевая функция $Y(X)$ и ограничения $g(X)$ выражаются положительными обобщенными полиномами вида

$$Y(X) = \sum_{i=1}^n A_i \prod_{j=1}^m X_j^{\alpha_{ij}}, \quad (2)$$

где $A_i > 0$, α_{ij} – произвольные вещественные числа; X_j – оптимизируемый параметр; n – число слагаемых целевой функции и ограничений; m – число оптимизируемых параметров; α_{ij} – любое вещественное число.

Для определения минимума целевой функции в критериальном программировании (класс задач с ненулевой степенью трудности) применяется теория двойственности [5, 6], где прямая задача поиска оптимальных значений X_0 заменяется определением компонент вектора критериев подобия π_0 с последующим выявлением максимума такой мультипликативной функции $D(\pi)$, что:

$$D_{\max}(\pi_0) = Y_{\min}(X_0).$$

Функция $D(\pi)$ при этом называется двойственной, а определение ее максимального значения и максимизирующего вектора π_0 соответственно решением двойственной задачи.

Для целевой функции $Y(X)$ и ограничений $g(X)$ прямой задачи с положительной степенью трудности ($d = n - m - 1 > 0$), что наиболее характерно для поставленных в энергетике технико-экономических задач оптимизации, общее решение двойственных ограничений будет иметь вид [4]:

$$\pi = b_0 + \sum_{j=1}^d c_j b_j, \quad (3)$$

где c_j – j -ая базисная переменная; имеет значение произвольного вещественного числа, удовлетворяющего условию неотрицательности:

$$b_{i0} + \sum_{j=1}^d c_j b_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, n;$$

где b_0 – вектор нормализации, b_{i0} – его i -ая компонента; b_j – j -ый вектор невязки, b_{ij} – его i -ая компонента.

При подстановке выражения (3) в решение двойственной задачи и после некоторых преобразований, получают выражение максимизирующего вектора π_0 через обобщенные константы целевой функции и ограничений:

$$\prod_{i=1}^n \pi_i^{b_{ij}} = \prod_{i=1}^n A_i^{b_{ij}}. \quad (4)$$

При определении оптимальных значений переменных прямой задачи критериального программирования исходят из того, что

$$D(\pi_0)_{\max} = \prod_{i=1}^{n_1} \left(\frac{A_i}{\pi_i} \right)^{\pi_i} \cdot \prod_{k=1}^p (\lambda_k)^{\pi_k}, \quad (5)$$

$$Y_{\min}(X_0) = D_{\max}(\pi_0) = \sum_{i=1}^n A_i \prod_{j=1}^m X_{j0}^{a_{ji}}, \quad (6)$$

где X_0 - искомый минимизирующий вектор основной задачи; n_1 - число слагаемых целевой функции; p - число ограничений; λ_k - k -ое ограничение.

На основании определений критериев подобия π можно записать n уравнений вида

$$D_{\max}(\pi_0) \pi_{i0} = A_i \prod_{j=1}^m X_{j0}^{a_{ji}}, \quad (7)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Логарифмирование системы уравнений (7) определяет систему линейных уравнений относительно $\ln X_{j0}$:

$$\ln = \left(\frac{D_{\max}(\pi_0) \pi_{i0}}{A_i} \right) = \sum_{j=1}^m \alpha_{ji} \ln X_{j0}, \quad (8)$$

где $j = 1, 2, 3, \dots, m$.

В этой системе уравнений $(d + 1)$ уравнения являются линейно-зависимыми. Выделив из (8) систему m линейно независимых уравнений и решив ее, находят вектор решений относительно $\ln X_{j0}$:

$$B = \begin{vmatrix} \ln B_1 \\ \ln B_2 \\ \dots \\ \ln B_m \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \ln X_{10} \\ \ln X_{20} \\ \dots \\ \ln X_{m0} \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Потенцирование полученного решения определяет координаты минимизирующей точки основной задачи оптимизации, т.е. X_{10} , X_{20} , X_{30} , ..., X_{m0} .

Алгоритм решения задачи

Теоретические положения критериального программирования достаточно полно изложены в [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], поэтому остановимся на алгоритме решения ниже поставленной задачи.

На рисунке 1 представлен магистральный участок распределительной сети 6-10 кВ. К магистрали подключены распределительные устройства №4, №5 и №6. К распределительным устройствам подключены синхронные двигатели, а также прочая нагрузка.

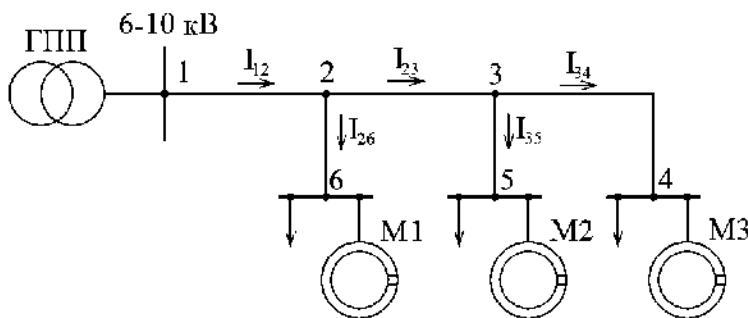


Рис.1. Схема участка распределительной сети

Задача формулируется следующим образом: оптимизировать режим электрической сети по реактивной мощности. Критерий оптимальности – минимум потерь активной мощности на участке распределительной сети.

Математическая модель электрической сети будет иметь вид:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n 3 \cdot r_i \cdot (I_{ia}^2 + I_{ip}^2),$$

при

$$I_{ia} \geq G_{ia}, \quad I_{ip} \geq G_{ip},$$

где r_i – активное сопротивление i -й ветви электрической сети;

I_{ia} , I_{ip} – соответственно активная и реактивная составляющие тока в i -й ветви;

G_{ia} , G_{ip} – соответственно активная и реактивная составляющие тока i -й ветви, определенные по расчетной схеме;

n – число ветвей в электрической сети.

Как видно по математической модели, потери активной мощности в электрической сети состоят из двух составляющих: первая зависит от активной, а вторая – от реактивной мощности. Так как в рассматриваемой сети отсутствуют устройства, позволяющие регулировать потоки активной мощности в ветвях, которая зависит от производительности механизмов, то целесообразно исследовать только возможность уменьшения потерь за счет перераспределения потоков реактивной мощности. Таким образом,

задача минимизации потерь активной мощности свелась к определению оптимальных величин реактивной мощности, что можно осуществить за счёт синхронных двигателей.

Результаты и обсуждения

Математическая модель для нашей задачи запишется в виде

$$\Delta P_p = 3 \cdot r_{12} \cdot I_{12p}^2 + 3 \cdot r_{23} \cdot I_{23p}^2 + 3 \cdot r_{34} \cdot I_{34p}^2 + 3 \cdot r_{35} \cdot I_{35p}^2 + 3 \cdot r_{26} \cdot I_{26p}^2,$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} I_{12p}^{-1} \cdot G_{12p} &\leq 1; & I_{23p}^{-1} \cdot G_{23p} &\leq 1; & I_{34p}^{-1} \cdot G_{34p} &\leq 1; \\ I_{35p}^{-1} \cdot G_{35p} &\leq 1; & I_{26p}^{-1} \cdot G_{26p} &\leq 1. \end{aligned}$$

Независимыми переменными в данной задаче являются токи в ветвях, их число равно пяти, всего членов, включая ограничения – 10. Степень трудности задачи d [4] будет равна:

$$d = 10 - 5 - 1 = 4.$$

Этой модели с ограничениями соответствует матрица размерностей (матрица показателей степеней при оптимизируемых параметрах) [3,4, 9]:

$$\alpha = \begin{vmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} \quad (10)$$

Преобразованная методом Гаусса-Жордана, она будет иметь вид

$$\alpha' = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/2 \end{vmatrix} \quad (11)$$

Взяв с обратным знаком матрицу, лежащую справа от единичной и дописав снизу единичную матрицу размером $[(d+1) \times (d+1)]$, получим матрицу β запишется

$$\beta = \begin{vmatrix} 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (12)$$

Векторы нормализации b_0 и невязки b_j определяются по известным соотношениям из матрицы β . Для получения вектора нормализации нужно взять любой вектор столбец матрицы и разделить его на сумму его первых компонент. Для получения j – го вектора невязки нужно взять оставшийся вектор-столбец матрицы β и вычесть из него произведение суммы его первых компонент на вектор нормализации. Получим:

$$b_0 = \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad b_1 = \begin{vmatrix} -1/2 \\ 1/2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad b_2 = \begin{vmatrix} -1/2 \\ 0 \\ 1/2 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad b_3 = \begin{vmatrix} -1/2 \\ 0 \\ 0 \\ 1/2 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad b_4 = \begin{vmatrix} -1/2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/2 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix}. \quad (13)$$

Согласно (3) вектор критериев подобия в общем случае запишется

$$\pi = \begin{pmatrix} 1 - \frac{1}{2}C_1 - \frac{1}{2}C_2 - \frac{1}{2}C_3 - \frac{1}{2}C_4 \\ \frac{1}{2}C_1 \\ \frac{1}{2}C_2 \\ \frac{1}{2}C_3 \\ \frac{1}{2}C_4 \\ 2 - C_1 - C_2 - C_3 - C_4 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Определим максимизирующий вектор π . Для этого согласно выражения (4) запишем систему уравнений

$$\begin{cases} \left(1 - \frac{1}{2}C_1 - \frac{1}{2}C_2 - \frac{1}{2}C_3 - \frac{1}{2}C_4\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{1}{2}C_1\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (2 - C_1 - C_2 - C_3)^{-1} \cdot C_1 = \\ = (3r_{12})^{-\frac{1}{2}} \cdot (3r_{23})^{-\frac{1}{2}} \cdot G_{12}^{-1} \cdot G_{23}; \\ \left(1 - \frac{1}{2}C_1 - \frac{1}{2}C_2 - \frac{1}{2}C_3 - \frac{1}{2}C_4\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{1}{2}C_2\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (2 - C_1 - C_2 - C_3)^{-1} \cdot C_2 = \\ = (3r_{12})^{-\frac{1}{2}} \cdot (3r_{34})^{-\frac{1}{2}} \cdot G_{12}^{-1} \cdot G_{34}; \\ \left(1 - \frac{1}{2}C_1 - \frac{1}{2}C_2 - \frac{1}{2}C_3 - \frac{1}{2}C_4\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{1}{2}C_3\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (2 - C_1 - C_2 - C_3)^{-1} \cdot C_3 = \\ = (3r_{12})^{-\frac{1}{2}} \cdot (3r_{35})^{-\frac{1}{2}} \cdot G_{12}^{-1} \cdot G_{35}; \\ \left(1 - \frac{1}{2}C_1 - \frac{1}{2}C_2 - \frac{1}{2}C_3 - \frac{1}{2}C_4\right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{1}{2}C_4\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (2 - C_1 - C_2 - C_3)^{-1} \cdot C_4 = \\ = (3r_{12})^{-\frac{1}{2}} \cdot (3r_{26})^{-\frac{1}{2}} \cdot G_{12}^{-1} \cdot G_{26}. \end{cases} \quad (15)$$

Обсуждение

Задавая исходной информацией о ветвях электрической сети и решая систему (15) относительно переменных C , подставляя их значения в выражение для вектора критериев подобия (14), получают численные значения его компонент. Далее используя выражения (5), (6), (7) (8) и (8) в конечном итоге определяются оптимальные значения реактивных составляющих токов в ветвях распределительной сети. Таким образом, получено решение на поставленную задачу по минимизации потерь активной мощности в электрической сети с использованием методов математического моделирования и математического программирования.

Заключение

С помощью метода критериального программирования разработан пример решения задачи повышения эффективности электрической сети за счёт оптимального управления работой синхронных двигателей по режиму реактивной мощности.

Источники

[1] Белей, В. Ф. Научное обоснование методов повышения эффективности электротехнических комплексов и систем. // Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. Калининград, 2004 . 372 с.

[2] Электротехнический справочник: справочник: в 3 т. / И.Н. Орлова и др.; ред. И.Н. Орлова, – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 880 с. – 3 т. кн. 1.

[3] Критериальный метод анализа технико-экономических задач в электрических сетях и системах: учебное пособие / Н.М. Черемисин, В.В. Черкашина. – Харьков: Факт, 2014. – 88 с

[4] Ю. Н., Лежнюк, П. Д., Овчинников, В. В **Астахов**. Решение оптимизационных задач в электроэнергетике критериальным анализом. Депон. 29 марта 1979, ИНФОРМЭНСРГО № Д/585. – 41 с.

[5] Даффен., Р., Питерсон., Э., Зеннер, К. Геометрическое программирование. М., Мир, 1972. – 312 с.

[6] Зеннер, К. Геометрическое программирование и техническое проектирование. М., «Мир», 1973, – 112 с.

[7] Астахов, Ю. Н., Веников, В. А. и др. Электрические системы. Кибернетика электрических систем. М., "Высшая школа", 1974. – 327 с

[8] Астахов, Ю. Н., Гордиевский, И. Г., Карасёв, Д. Д. и др. Критериальный анализ технико-экономических задач в энергетике. В кн. Кибернетику на службу коммунизму. Т 7, М., «Энергия», 1973, – 232 с.

[9] Утегулов, Б. Б., Волгин, М. Е. Методика критериального программирования оптимизации параметров систем электроснабжения угольных разрезов. Вестник ПГУ. Научный журнал. Павлодарского Государственного университета им. С. Торайгырова. № 2. Павлодар. 2001.

[10] Астахов, Ю. Н., Лежнюк, П. Д., Ярных, Л. В. Оптимизация режимов электрических сетей методом критериального программирования. Изв. АН СССР. «Энергетика и транспорт», 1979, №1.

[8] Astahov, Ju. N., Gordievskij, I. G., Karasjov, D. D. i dr. Kriterial'nyj analiz tehniko-jekonomicheskikh zadach v jenergetike. V kN. Kibernetiku na sluzhbu kommunizmu. T 7, M., «Jenergija», 1973, – 232 p.

[9] Utegulov, B. B., Volgin, M. E. Metodika kriterial'nogo programmirovanija optimizacii parametrov sistem jelektrosnabzhenija ugol'nyh razrezov. Vestnik PGU. Nauchnyj zhurnal. Pavlodarskogo Gosudarstvennogo universiteta im. S. Torajgyrova. № 2. Pavlodar. 2001.

[10] Astahov, Ju. N., Lezhnjuk, P. D., Jarnyh, L. V. Optimizacija rezhimov jelektricheskikh setej metodom kriterial'nogo programmirovaniya. Izv. AN SSSR. «Jenergetika i transport», 1979, №1.

УДК 621.31

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГИБКОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4 КВ Г. АТЫРАУ

Кенесов Е.К., Михалкова Е.Г., Карибаев Т.Д.

НАО «Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева»
yer.kenessov@aes.kz, e.mikhalkova@aes.kz, t.karibaev@aes.kz

Аннотация. Одним из основных вопросов, связанных с повышением коэффициента мощности в электрических сетях, является компенсация реактивной мощности (КРМ). В работе приведена структура системы, которая обеспечивает гибкую компенсацию реактивной мощности в распределительных сетях 0,4 кВ. Разработан алгоритм управления системой гибкой КРМ, реализован программно-технический комплекс (ПТК), состоящий из батареи статических конденсаторов, программируемого логического контроллера (ПЛК) и системы сбора и передачи информации на базе SCADA. Произведен экспериментальный ввод системы для участка распределительных сетей 0,4 кВ г. Атырау. Согласно историческим данным полученным с разработанной SCADA системы выполнена оценка эффективности установленной системы гибкой компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова. Реактивная мощность, распределительные сети, компенсация реактивной мощности, система гибкой компенсации реактивной мощности

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR FLEXIBLE COMPENSATION OF REACTIVE POWER FOR 0.4 KV ELECTRIC NETWORKS OF ATYRAU CITY

Kenessov E.K., Mikhalkova E.G., Karibaev T. D.

Non-profit JSC «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev»
yer.kenessov@aes.kz, e.mikhalkova@aes.kz, t.karibaev@aes.kz

Annotation. One of the main issues related to increasing the power factor in electrical networks is reactive power compensation (RPC). The paper presents the structure of the system, which provides flexible reactive power compensation in 0.4 kV distribution networks. A control algorithm for a flexible CRM system has been developed, a software and hardware complex (STC), consisting of a battery of static capacitors, a programmable logic controller (PLC) and a SCADA-based information collection and transmission system has been implemented. An experimental commissioning of the system for the section of distribution networks 0.4 kV in Atyrau was made. According to the historical data obtained from the developed SCADA system, the effectiveness of the installed flexible reactive power compensation system was evaluated.

Key words. *Reactive power, distribution networks, reactive power compensation, flexible reactive power compensation system*

Введение

Реактивная мощность является непроизводительной составляющей мгновенной мощности и способствует повышенным уровням загрузки элементов сети ввиду протекания дополнительных токов, вследствие чего возникают дополнительные активные потери электроэнергии, результатом таких потерь становится уменьшение пропускной способности элементов сети и коэффициента мощности. В последние годы не проявлялось особого интереса к вопросу компенсации реактивной мощности в распределительных сетях 0,4 кВ, в связи с тем что характер нагрузки в таких сетях по большей части являлся активным. На сегодняшний день характер нагрузки в распределительных сетях значительно изменился вследствие распространения новых видов приемников электроэнергии (холодильные машины, кондиционеры, микроволновые печи, компьютеры, стиральные машины и т.п), потребляющих помимо активной также и немалое количество реактивной мощности. Согласно с [1] нормативное значение коэффициента мощности для электрических сетей 0,4 кВ должно превышать 0,93, при этом по различным экспертным оценкам коэффициент мощности в распределительных электрических сетях имеет значение примерно 0,8–0,85 ($\text{tg } \varphi = 0,75\text{--}0,62$) [2]. Отсюда следует что для распределительных сетей целесообразно использование компенсации реактивной мощности в целях улучшения показателя коэффициента мощности в сети. На сегодняшний день существует 2 способа компенсации – динамическая и статическая. Динамическая компенсация реактивной мощности представляет собой простой метод, при котором батареи статических конденсаторов включаются в сеть или отключаются от нее посредством коммутации автоматических выключателей, реле, которые обладают медленным откликом и вместе с этим требуют частого обслуживания. Метод динамической компенсации реактивной мощности ограничивается «неточной» компенсацией связанной с изменением потребляемой нагрузки в сетях. Другим способом является использование статической компенсации состоящей из конденсаторов постоянной емкости для точной и плавной компенсации реактивной мощности. Недостатком статической компенсации является то, что при неправильном выборе мощности конденсаторов появляется риск недокомпенсации или перекомпенсации реактивной мощности, что приведет к невыполнению установленных значений $\cos(\varphi)$ и дополнительным нагрузочным потерям электроэнергии в электрических сетях.

В данной статье рассматривается система «гибкой» КРМ, сочетающая в себе оба вышеописанных способов компенсации реактивной мощности. Реализация системы предлагается за счет использования интеллектуальных электрических систем, а именно технологии IoT.

Применение технологии IoT для реализации интеллектуальных систем

Технологии IoT (Internet of Things) - концепция сети передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащёнными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой. Технология IoT широко распространена во многих областях, таких как отслеживание транспортных средств, дистанционное управление автоматизированными устройствами, машинами или системами. Методы передачи данных с использованием технологии IoT в основном используют компьютеры, мобильные телефоны, дополнительное аппаратное обеспечение, удаленный мониторинг и периодические измерения. (приложения для умного дома). Для различных отраслей с высокими уровнями риска (нефтегазовая, металлургическая, химическая) решения IoT обеспечивают практически полную видимость рабочих процессов и операций. Информация передаваемая в режиме реального времени позволит заранее выявлять неполадки и устранять их. Технологии IoT находят достаточно широкое применение и в сфере интеллектуальных электрических сетей, они предлагают возможности для мониторинга распределенной генерации в сетях с помощью средств удаленного считывания и отключения нагрузок в аварийных ситуациях [3]. Кроме того, в таких сетях выполняется прогноз спроса о производстве и потреблении энергии с использованием исторических данных, а баланс между поставкой энергии и спросом на нагрузку обеспечивается точным управлением генерирующих мощностей [4,5]. При эксплуатации таких систем широко распространено удаленное управление и чтение. Интеллектуальные измерения и управление данными наряду с двунаправленной связью обеспечивают ряд упрощений в производстве, передаче и распределении энергии [6,7]. Например, можно избежать перебоев в электроснабжении, применяя потребительский порог энергопотребления в случае отсутствия энергии, а также предотвратить длительные отключения абонентов за счет сокращения времени простоя, вызванного перегрузкой [8,9]. Помимо этого, накопление энергии является еще одной формой сетевого баланса путем регулирования подачи энергии и потребности в нагрузке в каждом иерархическом управлении частотой в микросетях [10].

Структура системы гибкой КРМ в распределительных сетях

Потоки реактивной мощности в сетях сильно влияют на режим и напряжения в системе. Следовательно, потокораспределение реактивной мощности в системе может рассматриваться как задача оптимизации. Регулирование потоков реактивной мощности увеличивает стабильность и надежность электрических сетей. Главной задачей регулирования потоков реактивных мощностей в распределительных сетях является обеспечение эффективного энергоснабжения за счет современных технологии интеллектуальных систем управления. В связи с вышеуказанными

факторами для городской распределительной сети была разработана система гибкой компенсации реактивной мощности, которая заключается в использовании обоих способов компенсации реактивной мощности и их связью со SCADA системами. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - диспетчерское управление и сбор данных) - программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. На рисунке 1 показана блок-схема алгоритма системы гибкого управления компенсацией реактивной мощности.

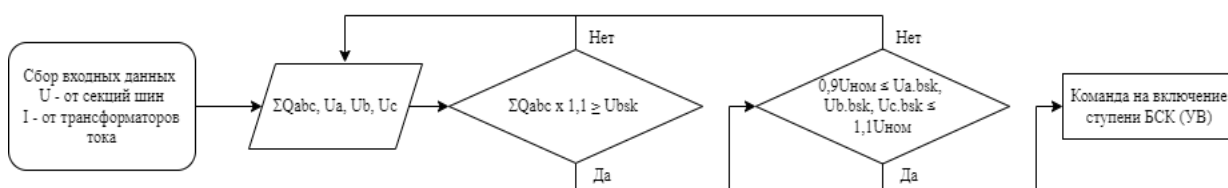


Рис. 1. Блок-схема алгоритма системы гибкого управления компенсацией реактивной мощности

Модуль измерения электрических параметров передает информацию о состоянии сети в ПЛК. В свою очередь ПЛК принимает решение о подключении (или отключении) БСК в сеть на местном уровне и отправляет данные в ПК оператора для верификации локального решения ПЛК.

Для реализации подсистемы связи с ТП использован GPRS-модем и сервер OPC, с которым связан ПК оператора состоящий из специализированного ПО на основе SCADA запрашивающего данные о текущих измерениях потребляемой активной мощности (P), реактивной мощности (Q), напряжения (U) и тока (I) в заданном интервале времени. OPC (Open Platform Communications) – семейство программных технологий, обеспечивающих единый интерфейс управления объектами автоматизации и технологическими процессами. Основной целью стандарта OPC, является обеспечение возможности совместной работы средств промышленной автоматизации, работающих на разных платформах, в разных сетях и выпускаемых разными компаниями. Система гибкой компенсации может функционировать как статическая, так и динамическая в зависимости от характера потребляемой нагрузки. Применение централизованного управления компенсации реактивной мощности дает возможность анализировать разные временных отрезки и со временем оптимизировать количество переключений БСК и компенсируемой реактивной мощности, в следствии чего ступени регулирования становятся плавными. Далее по результатам решения управляющие команды направляют на нижний уровень трансформаторной подстанции сигналы о работе конденсаторов. На нижнем уровне системы

гибкой компенсации реактивной мощности в трансформаторной подстанции находится шкаф управления конденсаторными батареями, который определяет управляющие воздействия для конденсаторов на основе работы локального алгоритма управления. Нижний уровень системы гибкой компенсации реактивной мощности представлен на рис. 2.



Рис. 2. Нижний уровень системы гибкой компенсации реактивной мощности

В системе дополнительно разработан локальный алгоритм управления для повышения безопасности работы электрических сетей на случай потери связи с центральным сервером. Алгоритм разработан в ПО CoDeSys – это интегрированная среда разработки (IDE) приложений для программируемых контроллеров. CoDeSys поддерживает все 5 языков программирования стандарта МЭК 61131-3 (LD, FBD, IL, ST, SFC) и включает дополнительный язык CFC. На сегодняшний день Алгоритм работает с помощью блока получения исходных данных измерения по сети, блока уставок и ограничений в сети, блока сравнения, блока гистерезиса, блока принятия решений для управления контакторами, блока анализа событий и блока распределения для каждого ТП. При согласовании отправленного на нижний уровень управляющего воздействия с работой локального алгоритма идет команда на включение конденсаторных батарей. Важным дополнением в алгоритм стала функция контроля влияния на качество электроэнергии, а именно контроль за уровнем напряжения после включения батарей статических конденсаторов. На рис. 3 приведен алгоритм локального (нижнего уровня) управления.

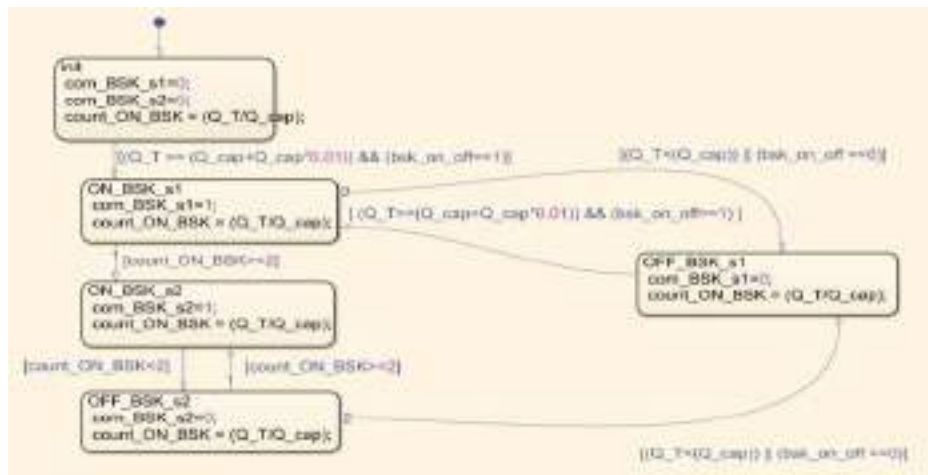


Рис. 3. Алгоритм нижнего уровня управления переключениями контакторов БСК

Экспериментальное исследование эффективности разработанной системы гибкой компенсации реактивной мощности для электрических сетей 0,4 кВ г. Атырау

Экспериментальный ввод системы произведен для участка распределительных сетей 0,4 кВ г. Атырау. Участок распределительной сети получает питание с РП «ПС-7» и состоит из 4-х фидеров (ф-701, ф-702, ф-703 и ф-709) и 11 трансформаторных подстанции 6/0,4 кВ. Выбор оптимального размещения устройств компенсации реактивной мощности, способа их расстановки и номинальных мощностей БСК для участка электрических сетей 0,4 кВ приведен в [11]. На рис. 9 представлен участок электрических сетей 0,4 кВ для которого реализована система гибкой компенсации реактивной мощности в г. Атырау

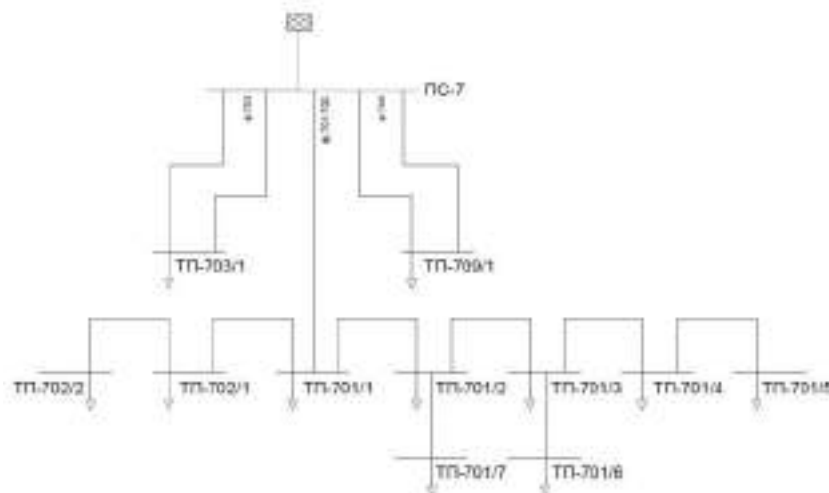


Рис. 2. Участок распределительной сети 6/0,4 кВ в г. Атырау

По результатам проведенных в [11] расчетов выбрана ТП с наименьшим показателем $\cos(\phi)$ - ТП-701/5. Разработана система гибкой компенсации реактивной мощности, связанная с системой сбора и передачи информации на базе Rapid SCADA.

В период апробации и тестирования системы, произведена наладка связи GPRS модема с сервером OPC. Система гибкой компенсации также

включает в себя программно-технический комплекс (ПТК) состоящий из батареи статических конденсаторов, подключенных к шинам 0,4 кВ трансформаторной подстанции (ТП) через контакторы и автоматические выключатели. Контакторы отвечают за включение и отключение БСК в сеть с помощью сигнала от программируемого логического контроллера (ПЛК). Экспериментальная установка системы гибкой компенсации реактивной мощности на ТП-701/5 представлена на рис. 4.



Рис. 4. Экспериментальная установка системы гибкой компенсации реактивной мощности на ТП-701/5

Разработан интерфейс SCADA системы включающий в себя графическое представление осуществляющее сбор данных, которые отображаются на рабочей станции оператора для управления БСК. Мнемосхема состоит из текстовых и графических элементов, которые имеют множество свойств, определяющих их внешний вид и поведение. На рис. 5 показана разработанная функционирующая мнемосхема ТП, работающая в автоматическом режиме.

Состав нагрузки выбранных участков в основном коммунально-бытовой и двигательный. Нынешние электроприемники коммунально-бытовой и моторной нагрузки имеют порядочную долю потребления реактивной мощности, что является ключевым аспектом для установки систем компенсации реактивной мощности.

Главным вопросом исследования эффективности ввода системы гибкой КРМ является опытное подтверждение повышения коэффициента мощности и пропускной способности сети за счет снижения потребления реактивной мощности из внешней сети. На рис. 6 показано состояние работы одной из ступеней системы гибкой компенсации реактивной мощности, суточный график получен из разработанной SCADA системы.

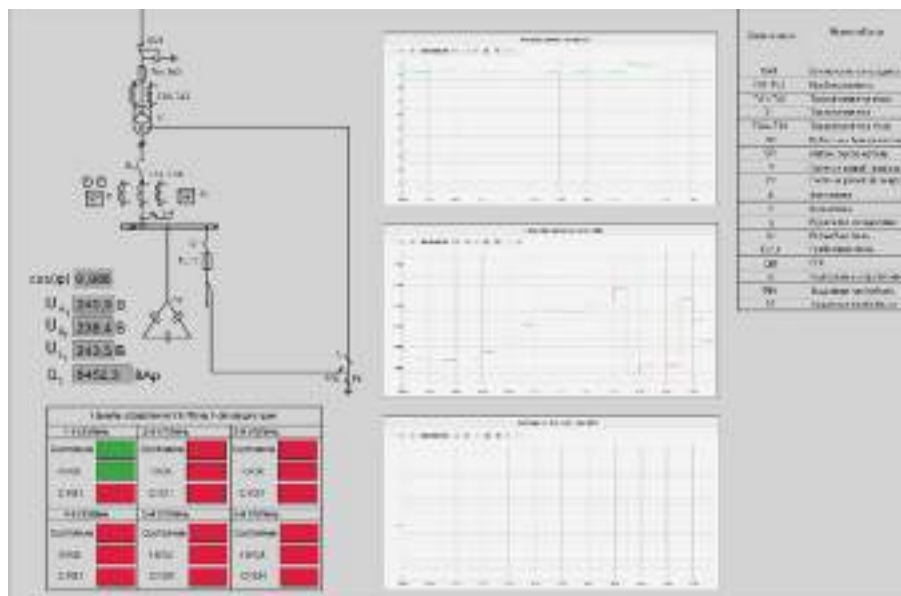


Рис. 5. Web представление мнемосхемы для системы гибкой КРМ

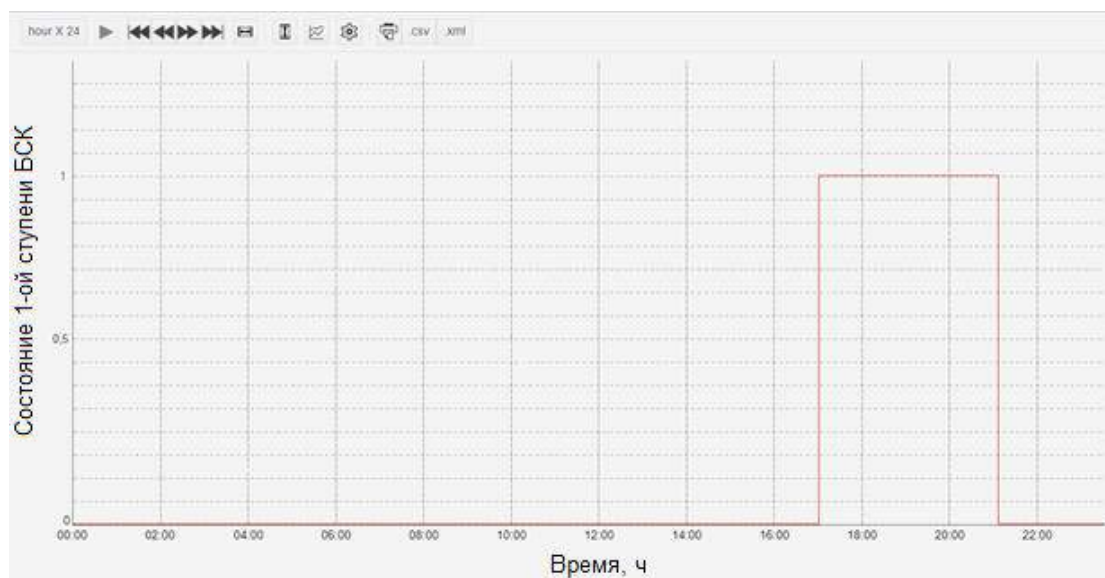


Рис. 6. Изменение состояния одной из ступеней БСК в системе гибкой КРМ (исторические данные с системы SCADA)

График исторических данных о состоянии ступени БСК полученного из SCADA системы формируется исходя из последнего принятого сигнала за каждый час, то есть система гибкой КРМ каждый час направляет на ПК оператора последний замер с шин ТП. Из рис. 6 видно что система была активна с 17:00 до 21:00. Ниже на рис. 7 представлен график изменения потребляемой реактивной мощности на ТП-701/5.

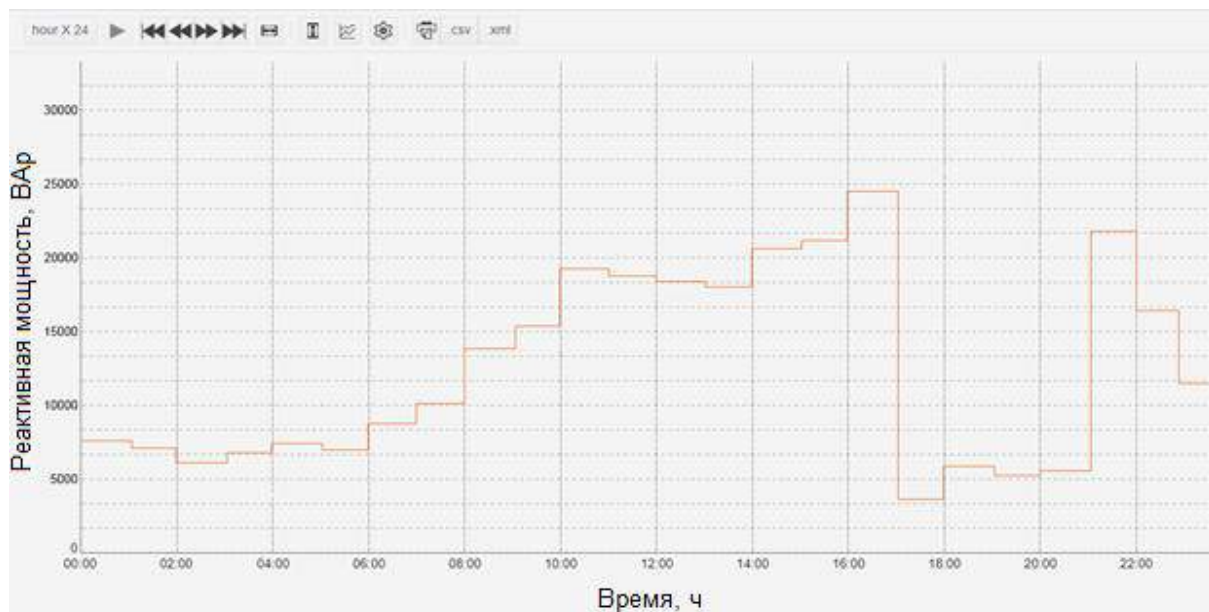


Рис. 7. График потребляемой реактивной мощности с шин ТП-701/5 (исторические данные с системы SCADA)

Из рис. 7 заметно резкое уменьшение потребления реактивной мощности с 17:00 до 21:00, следовательно в данный период была превышена заданная уставка по потреблению реактивной мощности, то есть потребление превысило номинальную мощность установленной ступени БСК что привело к срабатыванию установленной системы. На рис. 8 показаны исторические данные изменения коэффициента мощности на шинах ТП.

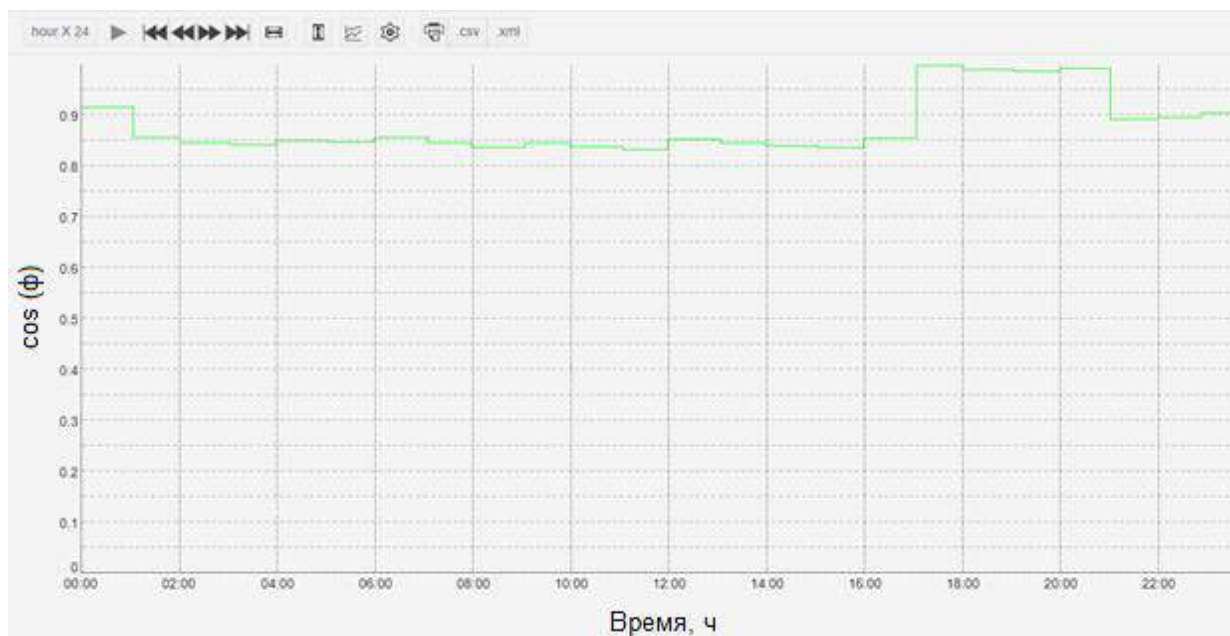


Рис.8. График изменения коэффициента мощности на шинах ТП-701/5 (исторические данные с системы SCADA)

На рис. 8 можно наблюдать повышение коэффициента мощности с 0,85 до 0,98 в момент работы системы гибкой компенсации.

Заключение

В результате проведенной работы разработаны основные принципы и архитектура системы гибкой компенсации реактивной мощности, разработана система сбора и передачи информации с локальной передающей станцией, архитектура средств связи с диспетчерским пунктом. Создана система сбора и передачи информации на базе Rapid SCADA. Реализован программно-технический комплекс (ПТК).

Произведен экспериментальный ввод разработанной системы для распределительных сетей 0,4 кВ г. Атырау. Согласно историческим данным, полученным с системы SCADA, произведена оценка эффективности установленной системы гибкой компенсации реактивной мощности. Можно сделать вывод что в момент работы системы $\cos(\varphi)$ в сети увеличился с 0,85 до 0,98.

Источники

[1] Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 31 марта 2015 года № 393. / Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 21 мая 2015 года № 11108.

[2] Овсейчук, В., Трофимов, Г., Кац, А., Винер, И., Укасов, Р., & Шимко, А. (2008). Компенсация реактивной мощности // Новости электротехники, (4), 52.

[3] Ancillotti E, Bruno R, Conti M. The role of communication systems in smart grids: Architectures, technical solutions and research challenges. ComputCommun 2013;36(17–18):1665–97.

[4] Workers M, Forum C, Ground C. a Road Map To Integration. no. june; 2014

[5] Khan MF, Jain A, Aranuchalam V, Paventhan A. Communication technologies for smart metering infrastructure. In: Proceedings of the 2014 IEEE students' conf. electr. electron. comput. sci.; 2014. p. 1–5

[6] Gharavi H, Ghafurian R. Smart grid: the electric energy system of the future. Proc IEEE 2011;99(6):917–21.

[7] Rietveld Gert, Braun Jean-Pierre, Martin Ricardo, Wright Paul, Heins Wiebke, Ell Nikola, Clarkson Paul, Zisky Norbert. Measurement infrastructure to support the reliable operation of smart electrical grids. IEEE Trans InstrumMeas 2015;64(6):1355–63.

[8] Jang BW, Shin YS, Kang ST, Choi JS. Design and implementation of building energy management system with quality of experience power scheduling model to prevent the blackout in smart grid network, 16th International Conference on Advanced Communication Technology, PhonixPark, Pyeong Chang, South Korea, February 16-19 2014.

[9] Bae Hyoungchel, Yoon Jongha, Lee Yunseong, Lee Juho, Kim Taejin, Yu Jeongseok, Cho Sungrae, Bae H, Yoon J, Lee Y, Lee J, Kim T, Yu J, Cho S.

Userfriendly demand side management for smart grid networks. In: Proceedings of int. conf. inf. netw.; 2014. p. 481–485.

[9] Jamnani J. G., Pandya M. Coordination of SVC and TCSC for management of power flow by particle swarm optimization //Energy Procedia. – 2019. – Т. 156. – С. 321-326.

[10] Palizban O, Kauhaniemi K, Guerrero JM. Microgrids in active network management – Part I: hierarchical control, energy storage, virtual power plants, and market participation. Renew Sustain Energy Rev 2014; 36:428–39.

[11] Е. Г. Михалкова, Е.К. Кенесов, О.Д. Баймаханов. Определение эффективности расстановки компенсирующих устройств для оптимизации работы участка электрических сетей 6/0,4 кВ // Вестник Алматинского университета энергетики и связи № 1(56). 2022.

УДК 620.9

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Д.И. Семин, Р.Р. Гибадуллин, В.А. Гаврилов

Казанский государственный энергетический университет

piligrim.10@inbox.ru, gibadullin.rr90@mail.ru, 2s19gavr@gmail.com

***Аннотация.** Вопрос цифровизации и автоматизации в настоящее время актуален в любых сферах жизнедеятельности человека. Вне всяких сомнений, эта тема актуальна и для энергетики. Подтверждение этому можно найти как в исследованиях международных компаний, так и в государственных документах. Например, в Энергетической стратегии РФ до 2035 года среди прочих задач явно обозначены и задачи по цифровизации и автоматизации. А согласно исследованиям IDC, международной исследовательской компании в сфере информационных технологий и телекоммуникаций, к 2023 году ожидается четырехкратный по сравнению с 2018 годом рост спроса на цифровую трансформацию промышленности. Это так же подтверждают и исследования НИУ ВШЭ.*

Одним из главных трендов цифровизации в промышленности является технология цифрового двойника предприятия. Данная технология уже внедряется крупными компаниями. Так, например, «Газпромнефть» приступил к созданию цифровой интегрированной модели восточного участка Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения, «Роснефть» так же запустила работы по цифровому месторождению в Башкирии с целью повышения количества дистанционно управляемых объектов на 60% и повышения на 5% энергоэффективности процессов добычи нефти.

Само понятие «цифровой двойник» многогранно и имеет множество вариаций. Некоторые российские и зарубежные авторы утверждают, что для чтобы программный продукт стал цифровым двойником, необходимо, чтобы он имел реальную связь со своим физическим объектом. Другая часть авторов считает, что под определение «Цифрового двойника» попадают и чисто виртуальные продукты, имитирующие реальный физический продукт. В статье приведен сравнительный анализ программных продуктов, позволяющих создавать имитационные модели производств и промышленных предприятия и приведен подход к созданию простой

имитационной модели ветряной электростанции для ее технического обслуживания с помощью программного продукта «AnyLogic».

Ключевые слова: имитационное моделирование, цифровой двойник, автоматизация, возобновляемые источники энергии, ветряные электростанции.

SIMULATION MODELLING IN THE WIND POWER PLANTS MAINTENANCE

D.I. Semin, R.R. Gybadullin, V.A. Gavrilov

Kazan State Power Engineering University

pilgrim.10@inbox.ru, gibadullin.rr90@mail.ru, 2s19gavr@gmail.com

Annotation. The issue of digitalization and automation is currently relevant in all spheres of human life. Without a doubt, this topic is also relevant for the energy sector. Confirmation of this can be found both in studies of international companies and in government documents. For example, in the Energy Strategy of the Russian Federation until 2035, among other tasks, the tasks of digitalization and automation are clearly indicated. And according to research by IDC, an international research company in the field of information technology and telecommunications, by 2023, demand for digital transformation of the industry is expected to quadruple compared to 2018. This is also confirmed by the studies of the National Research University Higher School of Economics.

One of the main digitalization trends in the industry is the technology of the digital twin of the enterprise. This technology is already being implemented by large companies. So, for example, Gazprom Neft started to create a digital integrated model of the eastern section of the Orenburg oil and gas condensate field, Rosneft also launched work on a digital field in Bashkiria in order to increase the number of remotely controlled facilities by 60% and increase the energy efficiency of oil production processes by 5%.

The very concept of "digital twin" is multifaceted and has many variations. Some Russian and foreign authors argue that in order for a software product to become a digital twin, it must have a real connection with its physical object. Another part of the authors believes that purely virtual products imitating a real physical product also fall under the definition of "Digital Twin". The article provides a comparative analysis of software products that allow creating simulation models of industries and industrial enterprises and provides an approach to creating a simple simulation model of a wind farm for its maintenance using the AnyLogic software product.

Key words: simulation, digital twin, automation, renewable energy sources, wind farms.

Применяются общенаучные методы исследования

Введение

В эксплуатации оборудования важен мониторинг его технического состояния. В настоящее время существует три стратегии технического обслуживания:

1. Обслуживание по событию. Этот вид обслуживания возможен и применяется только при условии низкой себестоимости ремонта, а так же при условии, что перерыв в работе оборудования не повлечет за собой существенного брака производимой продукции или простоя.

2. Планово-предупредительный ремонт, он же – обслуживание по регламенту. Сейчас это самый распространенный вид ТО.

3. Обслуживание по состоянию. Это самый передовой и перспективный вид обслуживания. Отказы оборудования и вытекающие из этого последствия предотвращаются до того, как они произойдут. Это достигается путем непрерывного или периодического контроля параметров оборудования с целью выявления предотказных состояний. Главным плюсом этого метода обслуживания является продление жизненного цикла оборудования, меньшие затраты на ремонт в сравнении с ремонтом уже отказавшего оборудования.

В техническом обслуживании оборудования большую роль играет прогнозирование состояния этого оборудования. Технология «Цифрового двойника» отлично справляется с этой задачей. При наибольшей своей интеграции в производство программный продукт соединен с реальным объектом посредством датчиков, что дает возможность не только мониторинга технического состояния в режиме реального времени, но и большие возможности для прогнозирования и управления реальным объектом [1].

Для реализации имитационной модели технического обслуживания ветряной электростанции можно остановиться и на самом нижнем уровне интеграции технологии – когда существует модель, не соединенная с реальным объектом. И даже этот выбор даст хороший результат в виде инструмента для прогнозирования технического состояния оборудования [2].

Для реализации цифровой модели производства не подходят аналитические методы моделирования, как, например, моделирование в Microsoft Excel, несмотря на большой функционал этого программного продукта, потому что в системе, использующей описание объекта только лишь формулами, любое изменение системы может привести к непригодности модели.

В то же время имеются динамические системы, которым свойственны неочевидные зависимости переменных, большое количество параметров и нелинейность поведения. Для решения таких задач применяется имитационное моделирование [3].

Основная часть

Существует множество программных продуктов для имитационного моделирования. На основе исследований и сравнений, было выделено несколько таких программ и проведено их сравнение по функционалу.

Как видно из таблицы 1, удобных инструментов для создания имитационных моделей много. Здесь были перечислены лишь самые удобные и подходящие под нужды производства. Все эти программные продукты совместимы с MS Excel, с помощью которого можно контролировать параметры модели [4].

Таблица 1

Сравнение программных продуктов для имитационного моделирования по функционалу и сферам применения

Программный продукт	Функции	Сферы применения
AnyLogic	Многоподходное моделирование, дискретно-событийное моделирование, системная динамика, агентное моделирование	- Каналы поставок; - управление складами; - железнодорожная логистика; - добыча нефти и газа; - дорожное движение; - пассажиропотоки; - производство и обработка материалов; - здравоохранение.
ARENA	Используется для имитации и анализа существующих и создающихся систем, а так же оперативного анализа	- Производство; - цепи поставок; - правительство; - здравоохранение; - логистика; - общественное питание; - горное дело; - колл-центры.
FLEXSIM	Моделирование любых процессов с целью анализа, понимания и оптимизации этих процессов	- Производство; - упаковка; - управление складами; - обработка материалов; - цепи поставок; - логистика; - здравоохранение; -аэрокосмическая промышленность.
PLANT SIMULATION	Моделирование дискретных событий, визуализация, анализ и оптимизация процессов	- Здравоохранение; - производство. - горное дело.

В ходе сравнения было выбрано программное обеспечение “AnyLogic”, потому что оно имеет ряд преимуществ перед остальными, такие как: наличие бесплатной версии для обучения, совместимость с основными ОС, понятность в освоении, наличие языка визуального программирования [5].

Кроме того, AnyLogic поддерживает все три метода имитационного моделирования:

- системная динамика;
- дискретно-событийное моделирование;
- агентное моделирование.

А так же комбинацию этих методов.

Для создания имитационной модели технического обслуживания ветряной электростанции был выбран метод агентного моделирования, потому что это позволяет легче сориентироваться на начальном этапе моделирования, когда не ясна четкая схема процессов, но известно, как должны действовать отдельные элементы системы. Создание модели

начинается с идентификации моделируемых объектов (агентов) и задания их поведения [6].

В разрабатываемой имитационной модели ветряная электростанция представлена десятью ветряными установками, расположенными в пространстве и одновременно работающими. Все они требуют техобслуживания, поэтому на начальном этапе было задано поведение ветряных турбин. На рисунке 1 показан интерфейс программы [7].

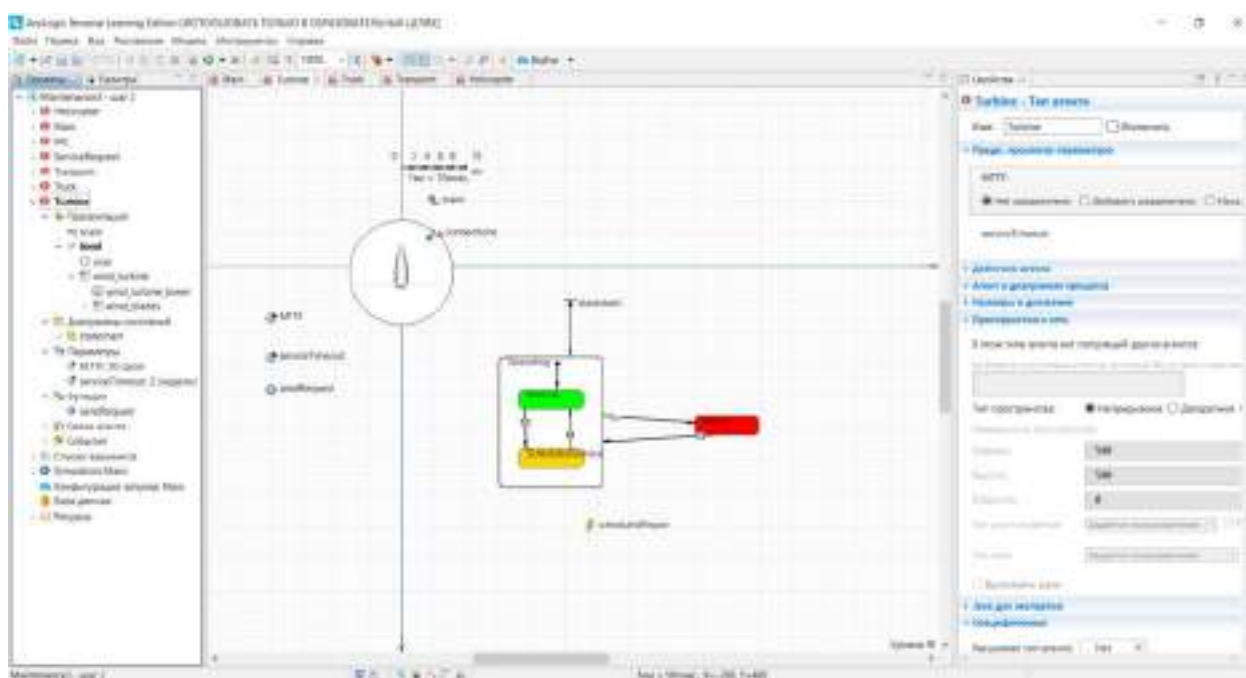


Рис. 1. Задание поведения ветряных турбин

В данной модели турбины имеют 3 состояния: нормальное, требующее планового техобслуживания, состояние поломки.

После задания поведения турбин, необходимо решить задачу проведения технического обслуживания. Учебное пособие по AnyLogic предлагает сделать это, создав сервисный центр, который будет принимать заявки от турбин при изменении их состояния, и решать, какой вид технического обслуживания осуществлять в данный момент. При поломке необходим срочный ремонт для обеспечения бесперебойного электроснабжения, поэтому предлагается создать агента, быстро реагирующего на поломку [8]. Для запланированного техобслуживания – агента, который будет направляться к турбине по истечению таймера. На рисунке 2 показан процесс задания поведения «транспорта», выполняющего роль технического обслуживания.

Поведение агентов, отвечающих за техническое обслуживание ветряных турбин задано с помощью диаграмм состояний. Это состояния, соединенные переходами. Переходы работают в результате заданных условий. Так, например, в создаваемой модели транспорт находится в сервисном центре на старте работы модели. Затем при получении

сообщения от турбины о запланированном ремонте или поломке к турбине отправляется агент, ответственный за техобслуживание [9]. По прибытии происходит «обслуживание» в течение заданного времени, после чего агент отправляется обратно в центр.

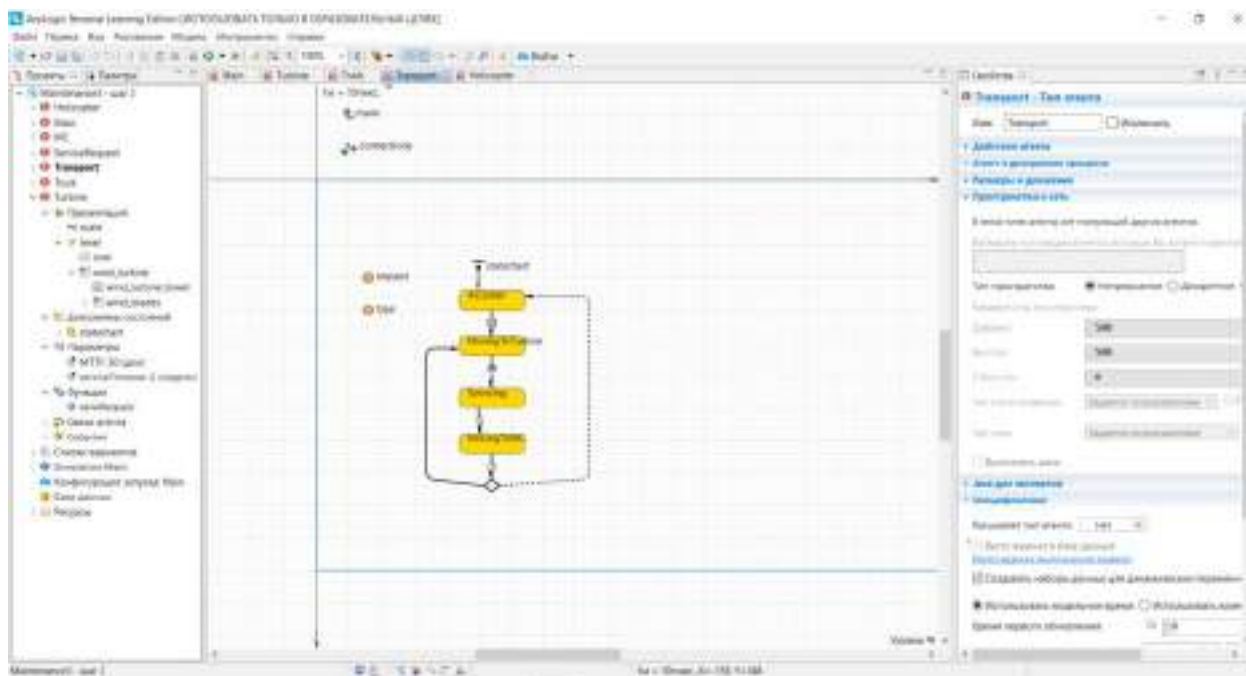


Рис. 2. Задание поведения транспорта

В итоге, в ходе работы была разработана простая имитационная модель технического обслуживания ветряной электростанции. Пока ее возможности не широки, однако в дальнейшем планируется развить их. На начальном этапе имеется десять ветряных турбин, работающих в нормальном режиме, они отмечены зеленым цветом. С течением времени их состояние может меняться на требующее планового техобслуживания или срочной починки – желтый и красный цвета (рис. 3) и (рис. 4) соответственно.

Как видно из рисунков, программа пока что регистрирует время работы системы и все события в отдельном окне справа. Можно так же проследить за состоянием любого из агента, нажав на него.

Обсуждение

Помимо представленных возможностей, с помощью выбранного программного продукта возможно осуществить следующие задачи:

1. Задание больших вариаций технического обслуживания и условий для него;
2. создание для итоговой модели 3D анимацию;
3. задание независимых свойства и поведения для каждого типа агентов;
4. учет типа запчастей для ремонта турбин и их стоимость;

5. вывод получаемых данных не в окно программы, а в таблицы MS Excel для их удобной обработки и анализа;

6. прогнозирование состояния турбин.

При изменении уровня абстракции, можно добавить больше деталей и создавать не только модель всей электростанции, но и модель отдельной турбины [10]. AnyLogic позволяет пересматривать уровни абстракции в процессе разработки. Возможность комбинировать методы моделирования позволит взять необходимые возможности из разных методов. Есть возможность задавать свои данные для поведения модели из MS Excel.

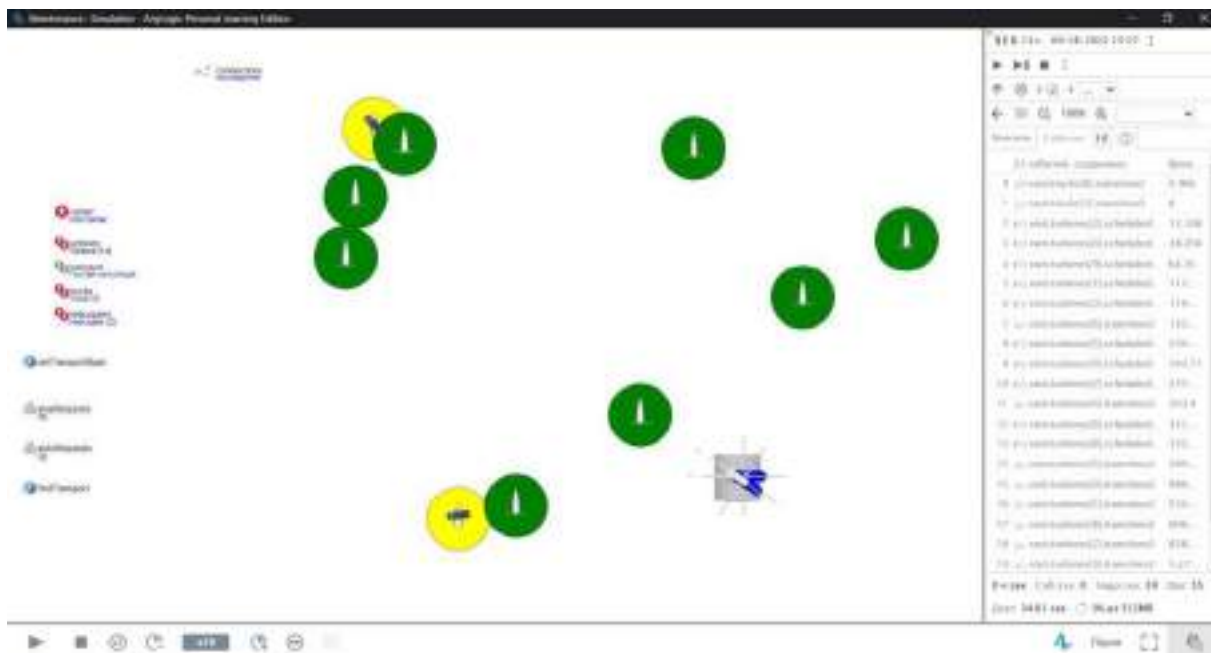


Рис. 3. Плановое техобслуживание ветряных турбин

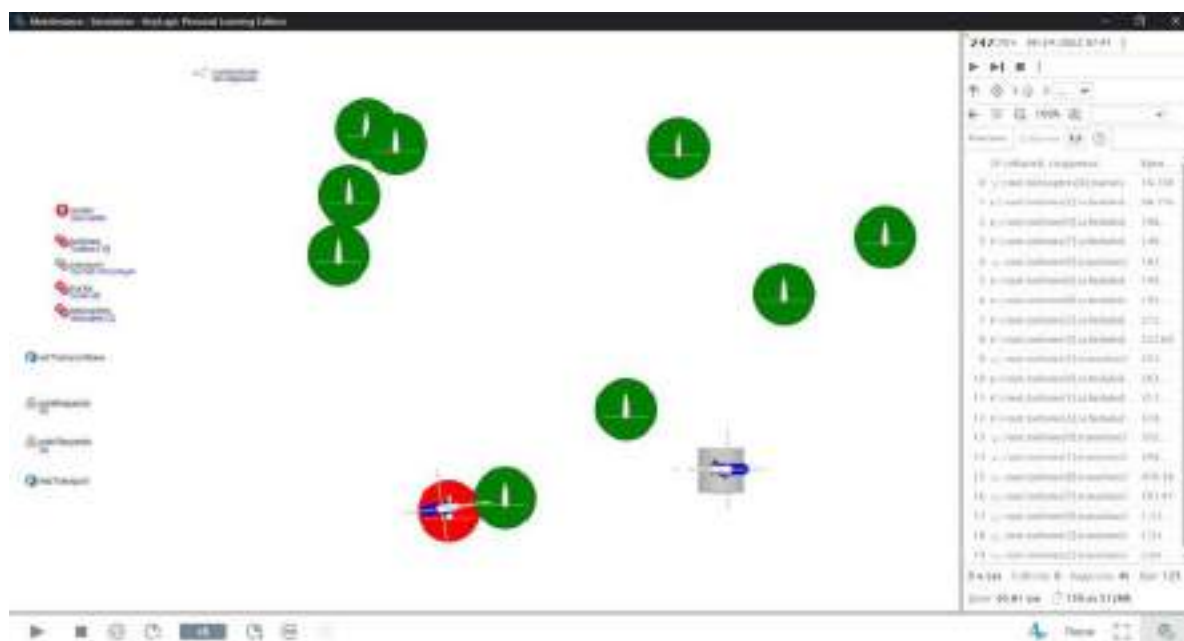


Рис. 4. Ремонт ветряной турбины, вышедшей из строя

Заключение

Часто невозможно решить проблему с помощью натуральных экспериментов. Это может быть слишком дорого, опасно для сотрудников или невозможно. В таких случаях применяется модель реальной системы. Имея множество вариантов, как смоделировать тот или иной процесс, для моделирования технического обслуживания ветряных электростанций был выбран метод имитационного моделирования.

Несмотря на сложность овладения навыком такого моделирования, затраченные усилия дадут хороший результат в виде высококачественного анализа сложной детализированной динамической системы.

Имитационное моделирование не останавливается на этапе создания программного продукта – это часть технологии «Цифрового двойника» и, интегрировав модель в реальное производство можно решать задачи непрерывного мониторинга, анализа загрузки производственных мощностей прогнозирования и управления объектом.

Источники

[1] Цехла С.Ю., Симченко Н.А. Цифровой двойник в системе управления промышленным объектом. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка»: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovoy-dvoynik-v-sisteme-upravleniya-promyshlennym-obektom/viewer>.

[2] Кокорев, Д.С., Юрин, А.А Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка»: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-dvoyniki-ponyatie-tipy-i-preimuschestva-dlya-biznesa/viewer>.

[3] Бочаров, Е.П., Алексенцева, О.Н., Ермошин Д.В. Имитационная модель производственного процесса как элемент системы управления промышленным предприятием. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка»: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnaya-model-proizvodstvennogo-protsessa-kak-element-sistemy-upravleniya-promyshlennym-predpriyatiem/viewer>.

[4] Osterrieder, P., Budde, L., Friedli, T. The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527319302865>

[5] Liebenberg, M., Jarke, M. Information Systems Engineering with Digital Shadows: Concept and Case Studies: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-49435-3_5.

[6] Dashdamirov, F. Development of a Methodology for Creating an Agent Based Model of Transport Hubs in Suburban Area: https://www.researchgate.net/publication/358228713_Development_of_a_Methodology_for_Creating_an_Agent_Based_Model_of_Transport_Hubs_in_Suburban_Area.

[7] Parpala, C. R., Iacob, R. Application of IoT concept on predictive maintenance of industrial equipment: https://www.researchgate.net/publication/319014395_Application_of_IoT_concept_on_predictive_maintenance_of_industrial_equipment.

[8] Григорьев, И. AnyLogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию: практическое пособие: <https://www.anylogic.ru/resources/books/free-simulation-book-and-modeling-tutorials>.

[9] Кораблев, А.В. Ключевые функциональность и преимущества использования цифровых двойников в промышленности: http://digital-economy.ru/images/easyblog_articles/481/DE-2019-02-01.pdf.

[10] Chan Victor., W., K, Foundations of Simulation Modeling: https://www.researchgate.net/publication/319556799_Foundations_of_Simulation_Modeling.

[11]. Шерязов С.К., Исенов С.С., Искаков Р.М., Кайдар А.Б. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 24-33.

[12] Султанов М.М. Модель оценки технико-экономических показателей оффшорных ветроэлектростанций // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 46-55.

[13] Давыдов Д.Ю., Обухов С.Г. Модель оценки технико-экономических показателей оффшорных ветроэлектростанций // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С.115-130.

[14] Червоненко А.П., Котин Д.А., Рожко А.В. Перевод нагрузки с основной сети на резервную с применением типового АВР // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 160-171.

УДК 620.91

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Н.Н.Туйтанова,Ф.Ф.Ахметзянова, В.А. Гаврилов
ФГБОУ«Казанский государственный энергетический университет»
t_nargiz_98@mail.ru, faridaakhmetzyanova@mail.ru

***Аннотация.** Интеллектуальные системы возобновляемой энергетики разработаны как альтернатива традиционным методам производства электроэнергии, использующим природные ресурсы. Развитие автоматизации и*

связанных с ней технологий в последние годы улучшило производительность и функционирование интеллектуальных энергетических систем. В этой статье было изучено понятие автоматизированного планирования управления (ACS) для балансирования выработки электроэнергии и дефицита в системах возобновляемой энергетики. Это планирование управления поддерживается глубоким Q-обучением для определения состояния работы и нехватки энергосистем. Процесс выработки электроэнергии зависит от условий окружающей среды, чтобы получить максимально выгодную мощность при эксплуатационных расходах энергосистем. Система выработки энергии анализирует условия окружающей среды, подходящие для достижения максимальной прибыли и распределения электроэнергии.

Ключевые слова: автоматизация, возобновляемые источники электроэнергии, интеллектуальные системы, планирование.

AUTOMATED CONTROL SCHEDULING TO IMPROVE THE OPERATIVE PERFORMANCE OF SMARTRENEWABLEENERGYSYSTEMS

N. N. Tuitanova, F. F. Akhmetzyanova, V.A. Gavrillov
Kazan State Power Engineering University
t_nargiz_98@mail.ru, faridaakhmetzyanova@mail.ru

Annotation. Smart renewable energy systems are designed as an alternative to conventional power generation methods that utilize natural resources. The development of automation and its allied technologies has improved the performance and operations of smart energy systems in recent years. In this article, automated control scheduling (ACS) for balancing power generation and deficiency in renewable energy systems is introduced. This scheduling control is supported by deep Q-learning to define the operation and shortage state of energy systems. Based on the definitive control schedule, the functions of the systems can be modeled without requiring additional time for power generation and dissemination. In addition, the power generation process relies on environmental conditions to gain maximum profitable power for the operating cost of the power systems. The energy generation system analyzes the environmental conditions suitable for achieving maximum profit, and power dissemination is also modeled. The performance of the proposed system was analyzed using the following metrics: operational profit, imbalance factor, successful prediction of operations, and time lag.

Key words: automation, Control scheduling, Q-Learning, Renewable energy resources.

Введение

Интеллектуальная система возобновляемых источников энергии - это новая разработка для получения энергии из окружающей среды в режиме реального времени. Возобновляемая энергия получается из ветровых и солнечных источников и поддерживается в интеллектуальной сети. Производительность работы измеряется с помощью датчиков и распределяется по конкретным программам [2]. Возобновляемые источники энергии обычно используются в трех различных областях: интеллектуальные электрические, тепловые и газовые сети. Интеллектуальная электросеть используется для подключения различных возобновляемых источников энергии и электромобилей, в то время как

интеллектуальные тепловые сети используются для централизованного охлаждения и обогрева [3]. Интеллектуальная газовая сеть используется для соединения различных отраслей применения, которые полагаются на энергетические ресурсы биогаза. Энергия полученная из этих источников преобразуется в определенный формат, который включает в себя электроэнергию, такую как тепло, водород, синтетические газы и биотопливо. Только необходимая энергия распределяется между другими источниками для поддержания баланса [4]. Возобновляемая энергия получается из ресурсов, которые являются регенеративными по своей природе. Возобновляемая энергия также известна как альтернативная энергия, в отличие от энергии, получаемой из ископаемых видов топлива, таких как нефть и уголь.

Основная часть

Системы энергоменеджмента (EMS) предназначены для управления электрическими сетями с целью наблюдения, организации и оптимизации представления энергии на основе состояния передачи. EMS используется на этапе энергопотребления, поскольку снижается затраты для конкретной организации. Улучшенный EMS вводит три метода: обработка нагрузки, распределение мощности и время использования [7]. EMS может использоваться для экономии энергии в коммерческих, жилых и государственных учреждениях.

Сбор энергии в основном зависит от солнечных, тепловых, радиочастотных и пьезоэлектрических источников энергии, а фотовольтаика (PV) используется для преобразования световой энергии в электрическую [11]. Они обладают самой высокой плотностью и выходной мощностью среди различных устройств сбора энергии. При использовании сбора энергии нет необходимости использовать батареи в конечных приложениях из таких источников, как возобновляемые и невозобновляемые источники энергии [7]. Существует четыре типа энергетических наблюдений, которые могут быть сделаны основанные на ископаемом топливе, возобновляемых источниках энергии, а также гидроэлектроэнергии и атомной энергетике. Обычно сбор осуществляется путем получения энергии из источника для хранения и использования в носимых устройствах и беспроводных сенсорных сетях. Хранение может быть достигнуто на конденсаторе, который использует микропроцессор для передачи энергии. Предлагаемая АСУ направлена на достижение максимальной прибыли за счет использования автоматизированного планирования управления. В процессе работы наблюдается Q-обучение, а дефицит используется для улучшения успешного предсказания энергии для последовательных машин. Это учитывает операционную прибыль, фактор дисбаланса и временную задержку производительности.

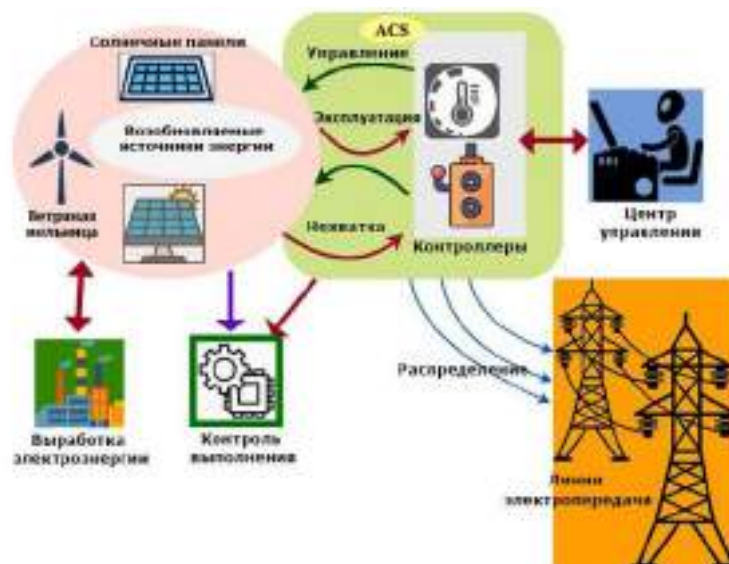


Рис. 1. Процесс планирования распределения энергии

Если для запуска машины требуется больше энергии, то выполняется обнаружение $\theta(e0)$ и выполняется методом, основанным на прогнозировании. Производство энергии осуществляется путем наблюдения за окружающей средой. При этом работа машины выполняется с использованием методов, основанных на планировании; если для машины выделена требуемая энергетическая мощность, производственный уровень перестает получать энергию.

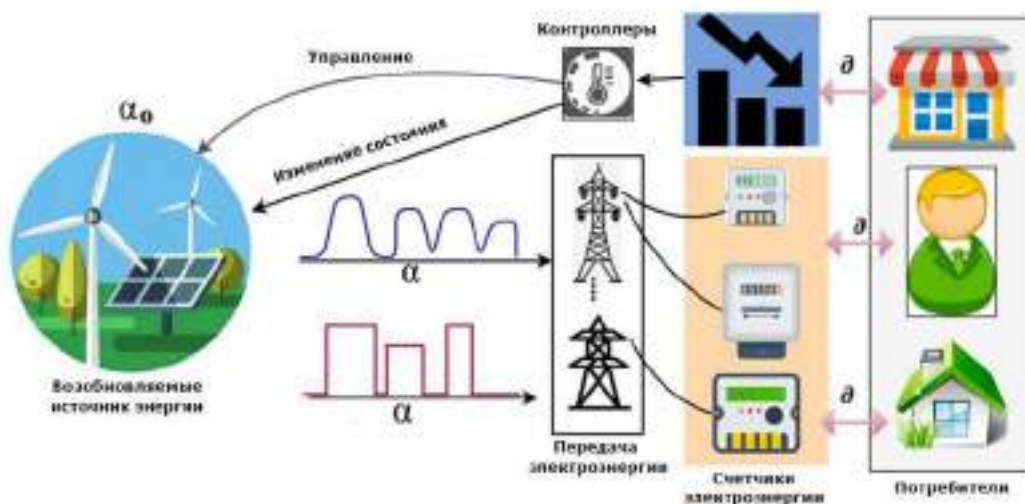


Рис. 2. График распределения энергии

Q-Обучение для ACS

После прогнозирования выполняется Q-обучение для улучшения текущего состояния энергии из интеллектуальной сети в этой предлагаемой операции, а дефицит используется для определения состояния энергии. В Q-обучении обозначаются два состояния: рабочее и

недостаточное. Для рабочего состояния распределение энергии - это действие, а выработка энергии - это действие при нехватке. Основываясь на них, Q-обучение используется для определения оптимальной политики для достижения максимальной прибыли.

Преимущества Q - обучение включают в себя три аспекта: политика, взаимодействие, и расчеты выгоды. Политика используется для рекомендации наилучшего взаимодействия с условиями окружающей среды для максимизации выгоды.

Взаимодействие - это действие, выполняемое с окружающей средой, а награда – это состояние завершения, которое может появиться в данный момент времени или в конце процесса.

Начальное состояние процесса Q-обучение показано на рис. 3(а). Первый указывает на то, что если машина достигает максимальной производительности, распределение мощности обрабатывается. На рис. 3(б) представлен переход состояния из рабочего в состояние дефицита. Аналогично, рис. 3(с) иллюстрирует переход к рабочему состоянию процесса.

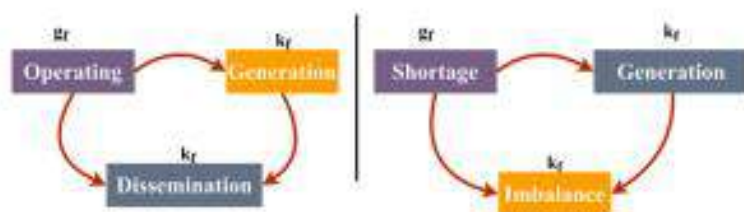


Рис.3а. Представление начального состояния и действия

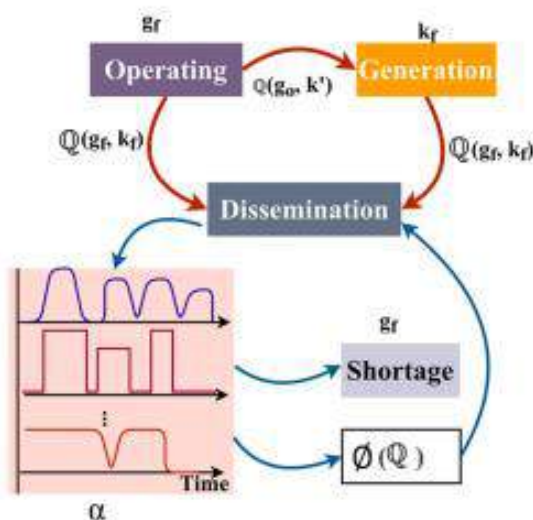


Рис. 3б. Работа в состоянии дефицита

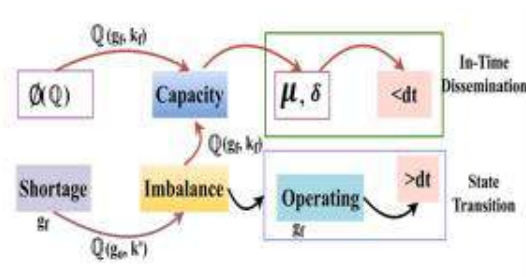


Рис. 3с. Возврат к рабочему состоянию

Эта система основана на процессе планирования. Второе ограничение заключается в том, что если он не достигает максимальной мощности, возникает дефицит энергии, чтобы избежать обработки этого распределения энергии.

Наконец, если в это время в машине нет энергии, она прекращает передачу и создает резервную копию машины на основе процесса прогнозирования. Все три аспекта энергии оцениваются с помощью Q-обучения.

Следовательно, начальным шагом является резервное копирование энергии на основе процесса прогнозирования. Это достигается путем получения энергии из окружающей среды на основе расчетов состояния.

Таким образом, цель предлагаемой АСУ удовлетворяется во втором условии и получает максимальную выгоду. Он показывает оптимальный выбор действия из двух состояний и получает максимальную прибыль для каждого состояния и действия.

Заключение

В этой статье представлен метод автоматизированного планирования управления для повышения производительности систем возобновляемой энергетики в умных городах. Этот метод планирования был разработан для уменьшения дисбаланса в производстве и распространении электроэнергии, чтобы восполнить дефицит требования потребителей. Выявляется дефицит, и состояние системы возобновляемых источников энергии изменяется в зависимости от прогнозируемой потребности в энергии. Для этого процесса используется Q-обучение, помогающее периодически проверять потребность в энергии, ее выработку и нехватку для изменения состояний системы с целью уменьшения временной задержки. Условия окружающей среды также учитываются с целью повышения эффективности распределения электроэнергии и операционной прибыли.

Автоматизированное планирование состояния системы с помощью обучения повышает скорость успешное прогнозирование потребностей в электроэнергии.

Источники

- [1] Юмаев, Н. Р. Экологические аспекты применения возобновляемых источников энергии / Н. Р. Юмаев. Текст : непосредственный // Современные тенденции технических наук : материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Казань, май 2018 г.). Казань : Молодой ученый, 2018. С. 16-21. URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/300/14145/> (дата обращения: 26.09.2022)
- [2] Al-Janabi S, Alkaim AF, Adel Z. An Innovative synthesis of deep learning techniques (DCapsNet & DCOM) for generation electrical renewable energy from wind energy. *Soft Comput* 2020;24(14):10943–62
- [3] Kafazi IE, Bannari R. Multiobjective scheduling-based energy management system considering renewable energy and energy storage systems: A case study and experimental result. *J Control Autom Electr Syst* 2019;30(6):1030–40.
- [4] Li T, Dong M. Real-time residential-side joint energy storage management and load scheduling with renewable integration. *IEEE Trans Smart Grid* 2018;9(1):283–98.
- [5] Гречухина Ирина Александровна, Кудрявцева Ольга Владимировна, Яковлева Екатерина Юрьевна Эффективность развития рынка возобновляемых источников энергии в России // Экономика региона. 2016. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-razvitiya-rynka-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii-v-rossii> (дата обращения: 22.09.2022).
- [6] Фирсова, М. А. Возобновляемые источники энергии в России / М. А. Фирсова // Вызовы и решения для бизнеса: энергия регионов : Сборник материалов II Международного внешнеэкономического научно-практического форума , Москва, 14 октября 2021 года. – Москва: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2021. – С. 441-443. – EDNIFIPDY.
- [7] Liu Y, Li Y, Gooi HB. Distributed robust energy management of a multi-microgrid system in the real-time energy market. 2019 IEEE Power Energy Soc Gen Meet (PESGM) 2019.
- [8] Tarhuni BA, Naji A, Brodrick PG, Hallinan KP, Brecha RJ, Yao Z. Large scale residential energy efficiency prioritization enabled by machine learning. *Energ Effi* 2019;12(8):2055–78.
- [9] Бык Ф. Л. Эффекты интеграции локальных интеллектуальных энергосистем / Ф. Л. Бык, Л. С. Мышкина // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 3-15.
- [10] А.В. Паздерин, В.О. Самойленко, Н. Д. Мухлынин, П. А. Крючков. Ценовые характеристики источников электроэнергии мини и микрогрид // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 122-139.
- [11] Оморев Т. Т. Методика идентификации параметров магистральной линии распределительной сети по данным АСКУЭ / Т. Т. Оморев, Р. Ч. Осмонова, Б. К. Такырбашев, Ж. С. Иманакунуова // Вестник

УДК 621.311

РАЗВИТИЕ SMART GRID ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГОСФЕРЕ

А.С. Хайруллин, В.А. Гаврилов

ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»
hsarturs99@gmail.com, 2s19gavr@gmail.com

Аннотация. С развитием технологий резко увеличился спрос на электроэнергию, что стало проблемой не только для ее производства, но и для ее распределения. Данный спрос увеличивает требования к надежности, эффективности, безопасности и проблемам экологической и энергетической устойчивости. В связи с этим была разработана концепция Smart Grid, которая включает в себя ряд интеллектуальных функций для улучшения работы энергетической сферы. Затрагиваются такие вопросы как особенности их функционирования, включая надежность, безопасность. Кроме того, рассмотрены современные разработки и решения в данной сфере.

Ключевые слова: Smart Grid, управление, энергия, энергетика, технологии, электрические сети.

DEVELOPMENT OF SMART GRID TECHNOLOGIES IN THE ENERGY SPHERE

A.S. Khairullin, V.A. Gavrilo

Kazan State Power Engineering University
hsarturs99@gmail.com, 2s19gavr@gmail.com

Annotation. With the development of technology, the demand for electricity has increased dramatically, which has become a problem not only for its production, but also for its distribution. This demand increases the requirements for reliability, efficiency, safety and environmental and energy sustainability issues. In this regard, the Smart Grid concept was developed, which includes a number of intelligent functions to improve the performance of the energy sector. Issues such as the features of their functioning, including reliability, safety, are touched upon. In addition, modern developments and solutions in this area are considered.

Key words: Smart Grid, management, energy, energy, technology, electrical networks

Введение

Урбанизация, деятельность человека и развитие технологий увеличили потребность в энергии. Это привело к тому, что потребление электроэнергии выросло до уровня, который невозможно контролировать, если не следить за этим должным образом. Это ситуация опасна не только для устойчивой энергетики, но и для сохранения окружающей среды во всем мире. Почти 75-80% всей энергии потребляется в городах, на долю которых приходится 80% выбросов парниковых газов. Традиционная

централизованная система распределения электроэнергии используется уже давно. С момента использования электричества электрические сети по всему миру имеют схожую структуру, динамику и принципы, даже с развитием технологий. Эти традиционные электрические сети сосредоточены только на некоторых основных функциях, таких как производство, распределение и контроль электроэнергии. Электросеть в ее нынешнем виде ненадежна, имеет высокие потери при передаче, плохое качество электроэнергии, склонна к отключениям электроэнергии и коротким замыканиям, а также к недостаточной мощности, что затрудняет интеграцию децентрализованных источников энергии. Традиционным неинтеллектуальным системам не хватает мониторинга и контроля в реальном времени, что затрудняет работу интеллектуальных сетей в качестве решения в реальном времени. Для решения этих задач требуется полное преобразование структуры энергоснабжения. Электрические преимущества являются не только стимулом для реализации концепции интеллектуальной сети, но и экологическими аспектами. Эффективное использование энергии и зависимость от возобновляемых ресурсов также помогут уменьшить углеродный след человека.

Основная часть

В конце девятнадцатого века системы постоянного тока снабжали фабрики и небольшие центральные районы, но не охватывали 95% населения. Электрическое освещение считалось роскошью только в отелях и других предприятиях, а также в особняках известных людей. Первая электросеть переменного тока была установлена в 1886 году в Массачусетсе. В течение 20-го века локальные сети со временем росли и медленно соединялись между собой, в первую очередь из соображений экономии и надежности. В 1960-х годах промышленно развитые страны характеризовались наличием крупных, технологически зрелых и сильно взаимосвязанных энергетических систем, состоящих из многочисленных центральных электростанций. Технологии интеллектуальных сетей появились в 1980-х годах с более ранними попытками использовать электронное управление, измерение и мониторинг. В 2000 году в Италии был запущен первый проект по подключению 27 миллионов домов к умным счетчикам, подключенным через низкоскоростную линию электропередачи [4].

За последние два года было создано 90% данных в мире, и каждый день создается 2,5 квинтиллиона байт данных. Это произошло благодаря цифровым технологиям, которые также расширили отраслевые концептуальные границы, особенно для архетипа интеллектуальных сетей, где конечные пользователи и дополнительные сектора, такие как транспорт, как правило, тесно связаны. Это также связано с достижениями в области вычислительной мощности и эффективности, которые позволили использовать более мощную и сложную аналитику, такую как

искусственный интеллект и автоматизация. Согласно заявлению Международного энергетического агентства цифровые технологии могут помочь сделать энергетическую систему более интеллектуальной, надежной и устойчивой, в то время как они также повышают риски безопасности и конфиденциальности, изменяя рынок.

Технология Smart Grid дает решение для наиболее оптимального производства электроэнергии и эффективный способ передачи и распределения. Благодаря своей универсальности, она легко устанавливается и требует меньше места по сравнению с привычными сетками. Концепция проектирования Smart Grid направлена на обеспечение видимости сети, управление активами, повышение производительности и безопасности энергосистемы и, что наиболее важно, экономичность эксплуатации, обслуживания и планирования. Считается, что технология интеллектуальных сетей может и будет использоваться на уровне микросетей, которые в итоге соединяются со всеми другими микросетями, образуя большую сеть интеллектуальных сетей. Эти «умные» сети обладают огромным потенциалом и могут стать решением проблемы надежности передачи и распределения электроэнергии в развивающихся странах, где отсутствует инфраструктура [1]. В США только 20% всего углекислого газа выбрасывается транспортом, в то время как на производство электроэнергии приходится 40% выбросов углекислого газа. Это связано с высоким спросом на электроэнергию. Интеллектуальные сети подразумеваются как ключ к решению этой проблемы, эффективно распределяя электроэнергию и в конечном итоге сокращая выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ, таких как NO_x и SO_x . Это также может помочь клиенту высчитать свой спрос и наиболее экономичное использование энергии.

Концепция Smart Grid развивается с появлением системы распределения электроэнергии. К тому времени были необходимы другие критерии, такие как контроль, мониторинг, цены и услуги по передаче и распределению энергии. Обычно внедрение Smart Grid связывают с установкой интеллектуального счетчика. В 1970-х и 80-х годах они применялись для отправки информации о потребителях обратно в сеть. Но самая необходимая и главная потребность, которая все еще находится в стадии рассмотрения даже с учетом последних достижений, - это надежность и эффективность передачи и распределения энергии по электрической сети [3]. Но последние передовые исследования дают понять, что сети и энергосистемы не должны ограничиваться передачей и распределением, но также должны играть жизненно важную роль в производстве чистой и устойчивой энергии для сокращения выбросов парниковых газов и углеродного следа.

Технически интеллектуальная сеть представляет собой концепцию элементарных сетей с некоторыми новейшими и автоматизированными функциями, которые делают их более надежными и устойчивыми.

Обычные сети использовались только для передачи и распределения электроэнергии, но современная концепция интеллектуальных сетей предполагает передачу, хранение и принятие решений в зависимости от ситуации. Согласно документу по развертыванию электрических сетей в Европе будущего, «умная» сеть – это интеллектуальная электрическая сеть, которая объединяет действия всех заинтересованных сторон, т.е. производителей и потребителей для эффективного, устойчивого, экономичного и надежного обеспечения электроэнергией. Ниже в таблице 1 представлены основные отличия «умной сети» от традиционной.

Таблица 1

Различия между «умной» сетью и традиционной сетью

«Умная» сеть	Традиционная сеть
Двусторонняя связь в режиме реального времени	Односторонняя связь
Распределенная система выработки электроэнергии	Централизованная выработка электроэнергии
Взаимосвязанная сеть	Радиальная сеть
Задействовано большое количество датчиков	Используется небольшое количество основных датчиков
Цифровое управление	Механическое управление
Автоматическое управление и контроль	Ручное управление и контроль
Широкий диапазон контроля	Ограниченный контроль
Вопросы безопасности и конфиденциальности	Нет проблем с безопасностью или конфиденциальностью

Исходя из данной таблицы можно сделать вывод о том, что «умные сети» являются наиболее гибкими и их применение и функционал может варьироваться с зависимости от целей использования, а также они являются наиболее подходящим решением для современного общества.

Успех сети зависит от потребностей пользователей, которые измеряются надежностью. Это дает безотказную и безошибочную систему с непрерывной подачей электроэнергии. Smart Grid может обнаруживать любую неисправность и обеспечивать самовосстановление системы. У традиционных сетей есть проблемы, связанные с взаимодействием возобновляемых ресурсов, микросетей и реагированием на спрос. С увеличением размера и сложности этих сетей со спросом становится все труднее анализировать их надежность. Но эти проблемы очень хорошо решаются Smart Grids. Для этого интеллектуальные сети имеют возможность отслеживать и хранить все данные и оценивать надежность своих услуг. Также возможно удаленно контролировать гибридную генерацию и управление сетью, что повышает ее надежность [2]. Такие технологии, как Dynamic Stochastic Optimal Power Flow (DSOPF),

помогают в оценке и оптимизации потока энергии в Smart Grid. Следовательно, интеллектуальные сети могут иметь большую надежность с развитием системы связи.

Безопасность- из сложных вопросов для эволюции Smart Grid. С ростом автоматизации удаленный мониторинг и управление сетью делают сеть более ненадежной для кибератак. По данным Исследовательского института электроэнергетики, кибербезопасность системы является одной из самых больших трудностей Smart Grid. Для оценки безопасности Smart Grid необходимо исследование ее методологии. Существуют различные агентства и организации, такие как IEEE Power & Energy Society (PES), IEC по стандартизации интеллектуальных сетей, Национальный институт стандартов и технологий (НИСиТ), которые участвуют и помогают в стандартизации и регулировании интеллектуальных сетей. Некоторые из многообещающих исследований в различных областях обеспечивающих безопасности для интеллектуальных сетей включают: интеллектуальные измерения с сохранением анонимности с несколькими потребителями данных, механизм конфиденциальности ортокода в интеллектуальных сетях с использованием архитектуры кольцевой связи и модели угроз безопасности. Поскольку безопасность считается одним из самых больших препятствий для внедрения технологии Smart Grid, продолжающиеся исследования обещают устранить этот барьер [5].

В настоящее время проводится ряд исследований для развития интеллектуальной сети, чтобы сделать ее более надежной и устойчивой для современных нужд. Эти исследования сосредоточены на различных технологиях.

В настоящее время разные страны мира сделали шаг вперед в эпоху интеллектуальных сетей и приняли ее реальность. Многие из них работают над пилотным проектом интеллектуальной сети или выдвигают инициативы этой концепции для тестирования и исследования, чтобы проверить осуществимость перед выполнением полномасштабной разработки и изменения. Правительства разных стран, таких как Австралия, США, Китай, Великобритания, Южная Корея и Япония, уже рассматривают такие варианты, как интеллектуальная сеть для сокращения выбросов углерода и обеспечения энергетической безопасности. Некоторые инициативы, связанные с интеллектуальными сетями разных стран, следующие:

1. Правительство Австралии интересовалось Smart Grid с 2009 года, когда был объявлен конкурс предложений по Smart Grid. Победителем конкурса была выбрана компания Energy Australia совместно с IBM, GE Energy и Grid Net. Идея заключалась в том, чтобы построить интеллектуальную сеть на основе WIMAX, которая имеет возможности автоматической подстанции, способной принимать электромобили, а также поддерживать подключение 50 000 интеллектуальных счетчиков. Также, был запущен проект для тестирования обнаружения неисправностей сети,

изоляции и восстановления, мониторинга качества электроэнергии и автоматического распределения электроэнергии через систему управления распределением. Австралийское правительство также предоставляет стимулы для поощрения и инвестирования в интеллектуальные сети. Управление спросом, энергетическая безопасность и энергоэффективность являются главными приоритетами правительства Австралии.

2. Правительство Канады сделало обязательной установку интеллектуальных счетчиков для предприятий и домашних хозяйств в Онтарио к 2010 году на основании Закона об ответственности за энергосбережение 2006 года. В том же году правительство также инвестировало 32 миллиона долларов в проект интеллектуальной сети на четыре года для исследования проблем, связанных с управлением возобновляемой энергией. Федеральное правительство также выступило с различными инициативами, такими как фонд экологически чистой энергии и инициатива по инновациям в области экоэнергетики. В настоящее время осуществляются различные пилотные проекты в провинциях Квебек и Онтарио. Для кампании по продвижению и повышению осведомленности о Smart Grid была создана ассоциация под названием Smart Grid Canada, в которую входят научные круги и все заинтересованные стороны. Они отвечали за проведение исследований и формирование различных политик, связанных с интеллектуальными сетями. Существуют различные организации, такие как Natural Resource Canada, Национальный совет по энергетике и Национальная целевая группа по технологиям и стандартам Smart Grid, которые поддерживаются правительством. Национальная целевая группа по технологиям и стандартам Smart Grid была сформирована для разработки всех аспектов, связанных с Smart Grid, а также для координации и привлечения правительств провинций к поддержке и развитию Smart Grid.

3. Великобритания является одним из крупнейших производителей фотоэлектрической энергии. Лондонское учреждение Low Carbon объединило ряд технологий, таких как фотоэлектрические элементы, интеллектуальные счетчики, электромобили и тепловой насос, с системой распределения для сокращения выбросов углерода. Первое в мире криогенное решение для хранения энергии было реализовано в качестве пилотного проекта в Рединге, Великобритания. Точно так же в Ирландии Комиссия по регулированию энергетики завершила успешный запуск 9000 интеллектуальных счетчиков для домов и предприятий.

В настоящее время проводится множество исследований по разработке интеллектуальных сетей. По-прежнему имеется большой потенциал для будущих исследований по различным аспектам в различных областях интеллектуальных сетей. Это включает в себя прогнозирование, оптимизацию потока энергии, связь, интеграцию микросетей, систему управления спросом и энергопотреблением, соответствие стандартам функциональной совместимости, масштабируемость, экономические

факторы, шифрование данных и, что наиболее важно, автоматизацию генерации, передачи и распределения.

Заключение

Предприятие электроэнергетической системы стало свидетелем многих недавних событий, которые не только возродили интерес к исследованиям и разработкам, но и привели к значительным социально-экономическим и другим нематериальным выгодам для общества в целом. Повышение осведомленности о воздействии на окружающую среду и углеродном следе всех источников энергии, включая производство электроэнергии, дало импульс росту и внедрению возобновляемых и альтернативных источников энергии. Рост интеллектуальных сетей является благом не только для общества в целом, но и для всех, кто участвует в электроэнергетической отрасли, ее клиентов и многих заинтересованных сторон.

Совершенствование технологий и устройств может изменить использование энергии экономичным и экологически безопасным способом. Эволюция концепции Smart Grid может удовлетворить все будущие потребности в использовании энергии наилучшим образом за счет сокращения выбросов углерода и интеграции с большим количеством возобновляемых источников энергии. Это может привести к значительным изменениям в традиционной сети и поведении потребителей в отношении использования энергии за счет повышения надежности, эффективности и качества поставки электроэнергии. Государственная политика необходима для облегчения внедрения интеллектуальных сетей.

Источники

[1] Врублевских А. А., Горемыкин Е. В. Технология SMART GRID и альтернативная энергетика // StudNet. 2021. Т. 4. №1.

[2] Гаврилович, Е. В. «Умные сети» Smart Grid – перспективное будущее энергетической отрасли России / Е. В. Гаврилович, Д. И. Данилов, Д. Ю. Шевченко. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 28.2 (132.2). – С. 55-59.

[3] Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.

[4] Ледин С. Интеллектуальные сети Smart Grid – будущее российской энергетики // Автоматизация и IT в энергетике. – 2010. – №10. – С. 39-43.

[5] Михальченко, И. Концепция Smart Grid: возможности и перспективы инновационного развития энергетики / И. Михальченко // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2014. – № 5(26). – С. 48-51.

[6] А.В. Паздерин, В.О. Самойленко, Н. Д. Мухлынин, П. А. Крючков. Ценовые характеристики источников электроэнергии мини и

микрогрид // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 122-139.

[7] Коршунов Е. А. Автоматизация процессов обслуживания энергетического оборудования с помощью специализированных программных решений / Е. А. Коршунов, А. А. Капанский, К. Е. Коршунов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 65-75.

УДК 681.11.031.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

И.А.Шкарупа, В.А.Гаврилов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан, Россия
e-mail: shkarupa.ivan16@gmail.com, 2s19gavr@gmail.com

***Аннотация.** В предлагаемой статье предложен метод выравнивания суточного графика нагрузок и уменьшения потерь мощности в сети имитационной модели промышленного предприятия при помощи накопителя модели СНПФ с литий-ионными аккумуляторами. Представлены результаты расчета потерь мощности без использования накопителя и с накопителем.*

***Ключевые слова:** накопитель энергии, потери мощности, предприятие, суточный график.*

THE USE OF ENERGY STORAGE DEVICES IN ORDER TO REDUCE POWER LOSSES IN THE ENTERPRISE NETWORK

I.A.Shkarupa, V.A.Gavrilov
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
e-mail: shkarupa.ivan16@gmail.com, 2s19gavr@gmail.com

***Annotation.** The article proposes the idea of leveling the daily load schedule and reducing power losses in the network of an industrial enterprise simulation model using a storage device of the SNPF model with lithium-ion batteries. The results of calculating power losses without using a storage device and with a storage device are presented.*

***Key words:** energy storage, power loss, enterprise, daily schedule.*

Введение

Потери мощности являются одной из важнейших характеристик расхода электроэнергии, которые определяют эффективность работы промышленных предприятий.

Процесс использования электроэнергии на предприятии является непостоянным во времени, поскольку зависит от желаний и потребностей абонентов. Мощность нагрузки меняется в зависимости от технологических процессов, расписания работы предприятий, времени суток и просто желаний людей воспользоваться электроприборами.

Неравномерный суточный график приводит к увеличению потерь мощности, что значительно влияет на срок службы электрооборудования, проводников и трансформаторов. Также происходит снижение энергоэффективности производства, возникает потребность в установке дорогостоящего оборудования с завышенными характеристиками, которое работает на своих номинальных значениях лишь незначительный промежуток времени.

Данная проблема актуальна в сетях промышленных предприятий и ее решение может дать значительный эффект, так как приведет к снижению потерь в часы максимума нагрузок. Однако это требует не только значительных капитальных вложений, но и постоянного внимания персонала, его высокой квалификации и заинтересованного участия в эффективном решении данной задачи.

Одним из путей решения данной проблемы является использование накопителей энергии, что позволяет снизить потери электроэнергии в питающих объект линиях электропередач и трансформаторах. В период минимальных нагрузок накопитель заряжается, в момент пиковых нагрузок отдает накопленную энергию. Эффект от использования накопителя проявляется, если потребитель имеет собственную распределительную сеть, понижающие подстанции и накопители устанавливаются в непосредственной близости от энергоемкого оборудования.

Максимальным эффект будет тогда, когда уровень мощности станет постоянным во времени. При таком режиме потери, определяемые среднеквадратичным значением передаваемой мощности, могут снизиться в пределе до половины [2].

Основная часть

В качестве объекта исследования потерь мощности, рассмотрим систему электроснабжения завода коммутационных аппаратов, имеющего на своей территории различных потребителей электроэнергии. Генеральный план предприятия представлен на рис.1.

Проанализируем три различных случая. В первом случае цех питается от одной ТП и имеет плавный суточный график нагрузок. Во втором случае цех питается от одной ТП и имеет явно выраженные максимумы и минимумы потребления мощности. В третьем случае два цеха питаются от одной ТП [1].

В первом случае рассмотрим цех котельной и бойлерной, который питается от ТП-10. Суточный график нагрузок для данного цеха представлен на рис. 2.

Можно заметить, что график имеет плавный вид и максимальные нагрузки достигаются в промежутке с 11:00 до 13:00 и с 14:00 до 17:00 часов.

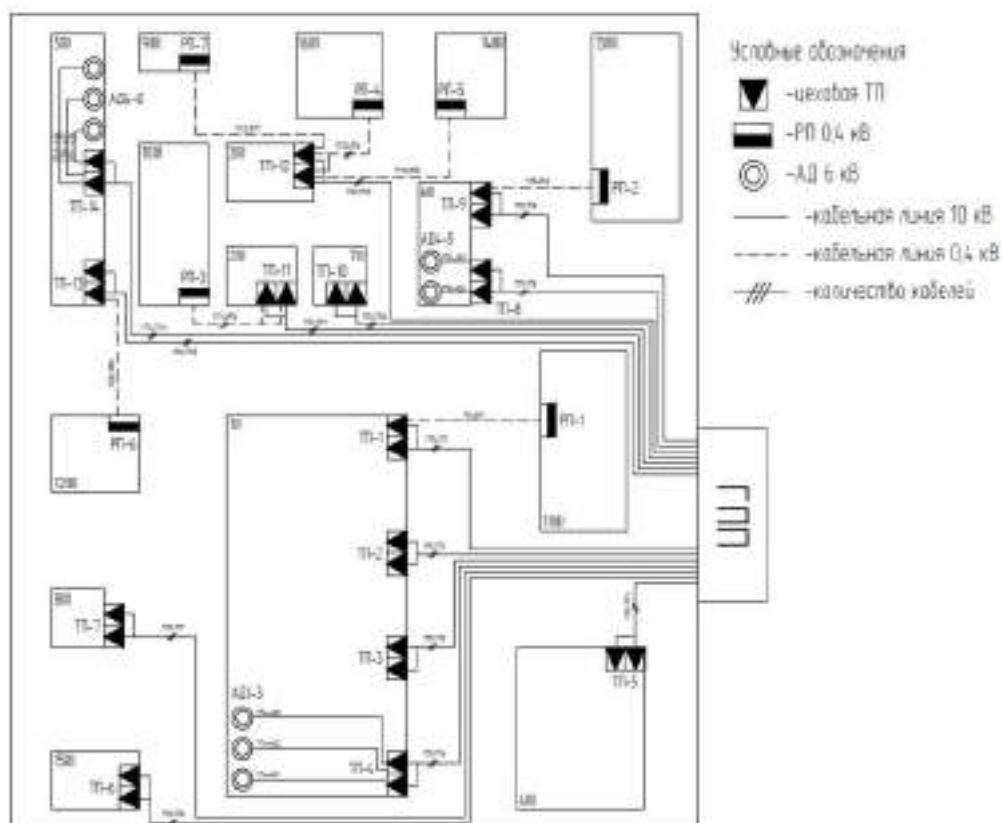


Рис. 1 – Генеральный план завода коммутационных аппаратов



Рис. 2. Суточный график нагрузок котельной и бойлерной

Приведём пример расчета потерь мощности в линии ГПП-ТП10 для цеха котельной и бойлерной в промежуток времени с 00:00 до 1:00:

$$\Delta P = \frac{P^2 \cdot r}{U^2} \cdot l = \frac{371^2 \cdot 1,94}{10^2} \cdot 0,186 = 496,7 \text{ Вт}$$

где P – потребляемая цехом мощность, кВт; r – сопротивление кабеля, Ом/км (для кабеля ААШв 3х16х10 – $r = 1,94$ Ом/км) [5]; " l " – длина кабеля, км; U – передаваемое напряжение, кВ.

Расчет для остального времени суток приводится в таблице 1.

Таблица 1

Расчет потерь мощности на линии ГПП-ТП10

Время, ч	Потребление мощности, кВт	Потери мощности, Вт
00:00-1:00	371	496,7
1:00-2:00	364	478,1
2:00-3:00	375	507,4
3:00-4:00	382	526,6
4:00-5:00	370	494
5:00-6:00	413	615,5
6:00-7:00	439	695,4
7:00-8:00	468	790,3
8:00-9:00	512	945,9
9:00-10:00	505	920,2
10:00-11:00	520	975,7
11:00-12:00	563	1143,8
12:00-13:00	568	1164,2
13:00-14:00	543	1063,9
14:00-15:00	551	1095,5
15:00-16:00	566	1156
16:00-17:00	534	1029
17:00-18:00	487	855,8
18:00-19:00	468	790,3
19:00-20:00	443	708,1
20:00-21:00	401	580,2
21:00-22:00	394	560,2
22:00-23:00	369	491,3
23:00-24:00	357	459,9

Для двух остальных случаях расчет проводится аналогичным образом.

Исходя из проведенных расчетов для трех случаев, построим сравнительную диаграмму потерь мощности за сутки, рис. 3.

Можно сделать вывод, что наибольшие потери мощности за сутки были в третьем случае, где два цеха питаются от одной ТП. Также мы видим, что в первом и втором случаях потери мощности были практически одинаковы.

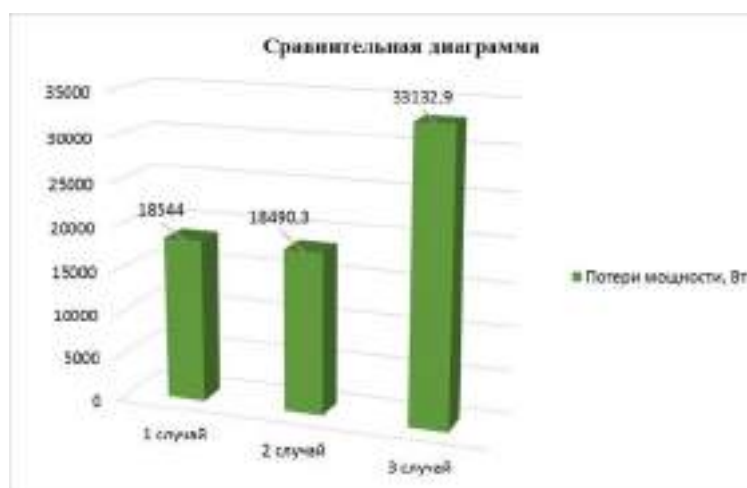


Рис. 3. Сравнительная диаграмма потерь мощности за сутки

По расчетам видно, что наибольшие потери происходили в период максимальных нагрузок. Поэтому, для того, чтобы снизить потери, нужно регулировать графики нагрузок в целях доведения их до равномерных.

Для решения проблемы пикового потребления будем использовать накопитель энергии. Рассмотрев несколько разновидностей накопителей и сравнив их достоинства и недостатки, пришли к выводу, что наиболее востребованы на сегодняшний день накопители с электрохимическими аккумуляторами [6,7]. Мы будем использовать накопитель модели СНПФ с литий-ионными аккумуляторами мощностью 50 кВт и энергоемкостью 200 кВт*ч.

Характеристика данного накопителя:

1. Страна производителя: Россия;
2. Мощность: 50 кВт;
3. Выходной коэффициент мощности: 0,95;
4. Время автономной работы: 4 часа;
5. Тип электрохимической системы: Литий-ионная.

Было принято, что накопители заряжаются ночью, в период минимальных нагрузок, а используются в часы пиковой нагрузки [3,4].

После установки накопителей энергии, был проведен расчет потерь мощности в сети предприятия, аналогично тому, что проводился выше. Исходя из проведенных расчетов для трех случаев, получили сравнительную диаграмму потерь мощности за сутки до установки накопителей и после установки, которая представлена на рис. 4.



Рис. 4. Сравнительная диаграмма потерь мощности без использования накопителя и с накопителем

После проведенных исследований потерь мощности для трех различных случаев, рассчитаем разницу потерь без накопителя и с накопителем.

$$\text{Для 1-го случая: } \Delta = \left(1 - \frac{\Delta P_{\text{н}}}{\Delta P_{\text{бн}}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{18370,1}{18544}\right) \cdot 100\% = 0,94\%$$

Для 2-го случая: $\Delta = (1 - \frac{\Delta P_{\text{н}}}{\Delta P_{\text{бн}}}) \cdot 100\% = (1 - \frac{18089,7}{18490,3}) \cdot 100\% = 2,2 \%$
Для 3-го случая: $\Delta = (1 - \frac{\Delta P_{\text{н}}}{\Delta P_{\text{бн}}}) \cdot 100\% = (1 - \frac{31208}{33132,9}) \cdot 100\% = 5,8 \%$

Заключение

Установка накопителей энергии дала результат во всех трех случаях. В третьем случае после использования накопителей, потери мощности уменьшились на 5,8 % и это наилучший результат среди всех рассмотренных случаев.

Проведя анализ соотношения мощности используемого накопителя и размаха на суточных графиках нагрузки, можем сказать, что подбор мощности накопителя зависит от размаха на графике и использование накопителя мощностью, меньше чем размах, может дать несущественный результат от его применения.

Также заметим, что использование накопителей дало более существенный результат в линиях меньшей протяженностью. Так использование накопителя на РП-3, позволило в значительной мере снизить нагрузку на ТП-11, а вследствие, уменьшить потери мощности в период максимальных нагрузок.

Таким образом, применение накопителей энергии в трех различных случаях, позволило снизить потребляемую мощность в период максимальных нагрузок, а также снизить потери мощности.

Результаты данных исследований могут быть использованы при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий.

ИСТОЧНИКИ

[1] Брагин А.А. Алгоритм формирования графиков электрических нагрузок предприятия с применением аккумуляторных батарей в качестве потребителей-регуляторов мощности: диссертация ... кандидата технических наук; [Место защиты: Нац. минерально-сырьевой университет "Горный"] - Санкт-Петербург, 2013.- 130 с

[2] Добрынин Е.В., Крылов А.Н., Батищев А.М. Оценка эффективности использования накопителей энергии // Экспозиция Нефть Газ. 2020. № 6. С. 110–113.

[3] Н. В. Савина, Л. Н. Лисогурская, И. А. Лисогурский \ Накопители электрической энергии как средство повышения надежности и экономичности функционирования электрической сети // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 2 (92) Часть 1. С. 63—70

[4] Как накопить и сохранить энергию из возобновляемых источников [Электронный ресурс]/Режим доступа: <https://altenergiya.ru/accumulator/kak-nakopit-i-soxranit-energiyu.html>.

[5] Кабели силовые с бумажной изоляцией (1, 6, 10, 20, 35кВ) [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-bumajnoi-izolyaciei>

[6] ГОСТ Р МЭК 62620-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной или другие некислотные электролиты. Аккумуляторы и батареи литиевые для промышленных применений [Электронный ресурс]/Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200140416>.

[7] ПНСТ 405-2020 (МЭК 63056:2020). Предварительный национальный стандарт Российской Федерации. Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной или другие некислотные электролиты. Требования безопасности для литий-ионных аккумуляторов и батарей для использования в система накопления электрической энергии. [Электронный ресурс] /Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293720/4293720380.pdf>

[8] Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М., Логачева А.Г. Влияние низковольтных электрических аппаратов и параметров электрооборудования на потери электроэнергии в цеховых сетях. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 3-13.

[9] Боярская Н.П., Довгун В.П., Егоров Д.Э., Новиков В.В., Шандрыгин Д.А. Минимизация потерь мощности в пассивных силовых фильтрах // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 42-52. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-42-52.

[10] Геркусов А. А. Влияние несимметричной нагрузки на потери электроэнергии в распределительных сетях 0,4-20 кВ / А. А. Геркусов, Е. И. Грачева, О. А. Шумихина // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 15-28.

УДК 620.9

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЕМ КАК СРЕДСТВО КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

И.И. Цицонь, В.А.Гаврилов
ФГБОУ ВО “КГЭУ”, г.Казань, Республика Татарстан
e-mail:honey.roditel@mail.ru, 2s19gavr@gmail.ru

Аннотация: В работе представлен микропроцессорный блок управления возбуждением для тиристорного возбудителя высоковольтного синхронного электропривода компрессора, который является средством регулирования коэффициента мощности в цеху. Данный контроллер позволит удерживать в заданных пределах и регулировать параметр косинуса ϕ , тем самым компенсируя реактивную мощность и снижая потери напряжения в сети.

Ключевые слова: Микропроцессорный блок возбудителя, тиристорный возбудитель, компенсация реактивной мощности.

MICROPROCESSOR – BASED EXCITATION CONTROL UNIT AS A MEANS OF REACTIVE POWER COMPENSATION

I.I.Tsitson, V.A.Gavrilov
FGBOU VO "KGEU", Kazan, Republic of Tatarstan
e-mail:honey.roditel@mail.ru, 2s19gavr@gmail.ru

Abstract: *The paper presents a microprocessor excitation control unit for a thyristor exciter of a high-voltage synchronous compressor electric drive, which is a means of controlling the power factor in the shop. This controller will allow you to keep within the specified limits and adjust the cosine parameter ϕ , thereby compensating for reactive power and reducing voltage losses in the network.*

Key words: *Microprocessor unit exciter, thyristor exciter, reactive power compensation.*

Введение

В настоящее время, проблемы, связанные с экономией электроэнергии, актуальны и по сей день. К показателю экономичности электрической энергии относится не только правильное и рациональное ее потребление, но и отслеживание потребляемой полной мощности, которая состоит из двух составляющих: активной и реактивной. Первая из них предназначена для питания электропотребителей, у которых нагрузка представлена активными сопротивлениями.

Опыт многих промышленных предприятий показал, что конкурентоспособность их продукции во многом зависит от внедрения программ энергосбережения. На каждом из них проводятся определенные мероприятия, которые позволяют снизить реактивную мощность с целью повышения коэффициента мощности и снижения потерь напряжения. Если минимизировать потери такого рода, то и потребление полной мощности будет снижено, следовательно, эффективность такого предприятия будет выше.

Для достижения данной цели существует несколько способов, которые можно классифицировать по нескольким признакам. В первую очередь, данную проблему стараются решить без применения специальных, дополнительных устройств. Если внутрицеховые мероприятия не позволяют снизить реактивную мощность до необходимой величины, заданной на предприятии, появляется необходимость использования компенсаторных установок, например УКРМ. Данные устройства не всегда выгодно устанавливать, так как такие установки нельзя отнести к дешевому оборудованию. В данной статье будет предложено использование контроллера микропроцессорного блока управления возбуждением, который позволит регулировать значение тока возбуждения, подаваемого на обмотку, и, тем самым, изменять и удерживать коэффициент мощности в определенном диапазоне, исходя из желаний заказчика или руководителя предприятия.

Основная часть

Наличие в сети реактивной мощности приводит к ухудшению качества электрической энергии, просадкам напряжения в электрической сети, увеличению тепловых потерь на проводах и контактах электрооборудования, снижению сроков службы приборов и так далее [3]. Для решения данной проблемы предлагается использование синхронного электропривода, который включает в себя автоматический режим компенсации реактивной мощности. Данный режим компенсации будет осуществлен с помощью контроллера МБВ. Его задачей является экономия электроэнергии на предприятии за счет снижения потерь напряжения путем компенсации реактивной мощности из сети [6]. Одним из ключевых элементов данной схемы является микропроцессорный блок управления тиристорным возбудителем, который обеспечивает питанием обмотку возбуждения синхронного двигателя автоматически регулируемым выпрямленным током [4]. Функциональная схема представлена на рисунке ниже [5].

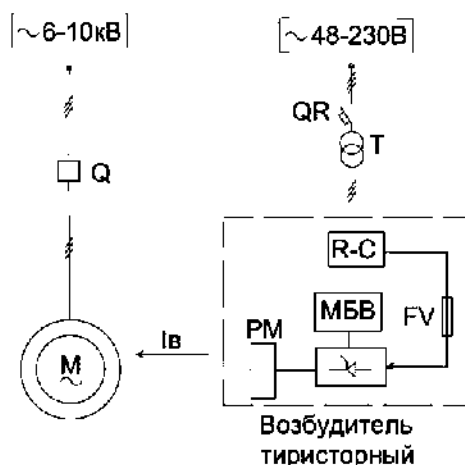


Рис. 1 - Функциональная схема синхронного электропривода с тиристорным возбудителем.

Характерной особенностью синхронного двигателя является его способность работать с любым $\cos\phi$ и регулировать его при помощи специального электрооборудования. Это осуществляется благодаря регулированию тока возбуждения. При регулировании тока возбуждения, подаваемого на обмотку возбуждения синхронного двигателя, мы будем менять режим его работы, что и позволит регулировать коэффициент мощности на предприятии, где установлен контроллер.

На рис. 2 представлена структурная схема системы регулирования тока возбуждения.

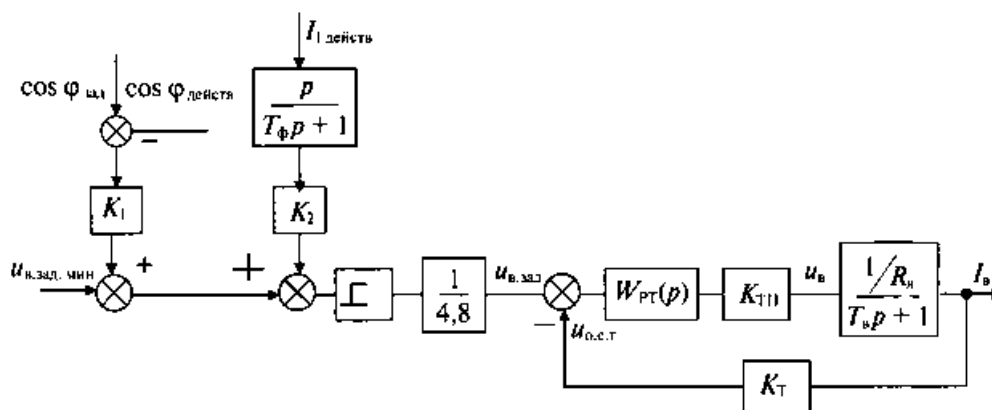


Рис. 2. Структурная схема системы регулирования тока возбуждения

Также процесс компенсации реактивной мощности можно описать физическими составляющими. Пусть нагрузка на валу двигателя будет иметь постоянный характер, тогда и потребляемая из электросети активная мощность $P_\phi = UI \cos \phi$ будет постоянна. Так как напряжение сети U постоянно, то и активная составляющая тока $I \cos \phi$ тоже будет постоянна. При появлении изменений или колебаний тока возбуждения ЭДС будет также меняться. Рассмотрим 3 примера изменения тока I_ϕ :

В режиме недовозбуждения электродвигателя:

($E < U$) ток I_1 отстает по фазе от напряжения на какой-то угол $\phi > 0$ (рис.), то двигатель кроме активной составляющей потребляемой мощности будет иметь реактивную (индуктивную) составляющую.

В нормальном режиме работы электродвигателя:

При каком-то увеличении тока возбуждения настанет равенство ($E = U$), следовательно коэффициент мощности станет равен единице ($\cos \phi = 1$). Ток I_2 совпадает по фазе с напряжением, т.е. угол $\phi = 0$ (рис.).

В режиме перевозбуждения электродвигателя:

Дальнейшее увеличение тока возбуждения будет приводить к росту ЭДС, при этом угол $\phi < 0$ и ток начинает по фазе обгонять напряжение. Двигатель забирает из электросети активно – емкостную мощность.

Можно сделать вывод, что изменение тока возбуждения синхронного двигателя влечет за собой возникновение реактивных составляющих потребляемой из сети мощности, то есть он начинает работать в качестве источника реактивной мощности (ИРМ), компенсируя реактивную мощность из сети.

Следовательно, при уменьшении реактивной составляющей, падение напряжения в сети снизится, что приведет к экономии электроэнергии.

Расчетная часть

Расчет проводился по данным потребления электроэнергии в компрессорном цеху АО "Чепецкого механического завода" за прошлый год.

Таблица 1

Потребление э/э за каждый час

T, ч	P, кВт	Q, кВАр
8:00	47.40	49.72
9:00	48.70	51.09
10:00	51.20	53.71
11:00	55.60	58.32
12:00	56.90	59.69
13:00	59.80	62.73
14:00	60.10	63.04
15:00	62.30	65.35
16:00	59.70	62.63
17:00	54.30	56.96
18:00	50.10	52.55
19:00	47.20	49.51
20:00	38.60	40.49

Суммарный расход активной энергии за сутки:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n P = 47,4 + 48,7 + 51,2 + 55,6 + 56,9 + 59,8 + 60,1 + 62,3 + 59,7 + 54,3 + 50,1 + 47,2 + 38,6 = 691,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Суммарный расход реактивной энергии за сутки:

$$Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q = 49,7 + 51,1 + 53,7 + 58,3 + 59,7 + 62,7 + 63,1 + 65,4 + 62,6 + 56,9 + 52,6 + 49,5 + 40,5 = 725,8 \text{ кВАр}\cdot\text{ч}$$

$$\text{tg}(\varphi) = 725,8 / 691,9 = 1,05 \Rightarrow \cos(\varphi) = 0,69$$

По договору с поставщиком электроэнергии предусмотрен штраф в размере $P=0,5 \text{ р/кВт}\cdot\text{ч}$, если $\cos(\varphi) < 0,9$:

$$W_{\text{рм}} = Q_{\text{м}} \cdot P = 725,8 \cdot 0,5 = 362,9 \text{ руб.}$$

Годовые затраты по штрафу за реактивную мощность:

$$З = W_{\text{рм}} \cdot 247 (\text{рабочих дней}) = 89700 \text{ руб.}$$

Вторая часть расчета:

С помощью контроллера МБВ повышаем $\cos(\varphi)$ до 0,92, в следствие чего плата за реактивную энергию не взимается.

Стоимость контроллера: 150000руб;

Таким образом, срок окупаемости контроллера МБВ:

$$T_{\text{ок}} = (150000 / 89700) \cdot 1,03 = 1,5 \text{ или } 18 \text{ месяцев (рис. 3).}$$

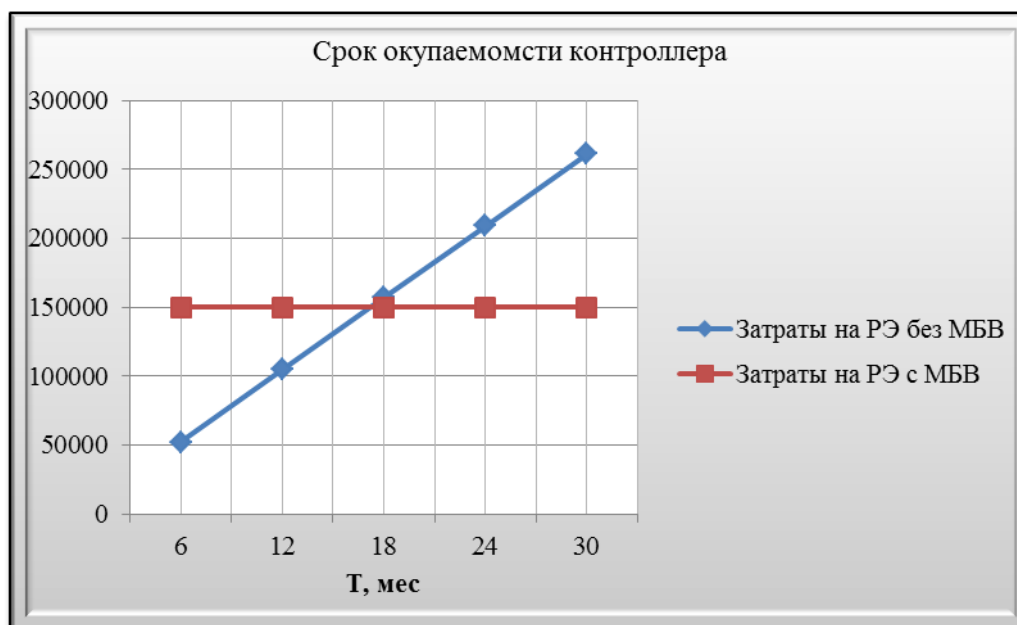


Рис. 3. Срок окупаемости контроллера МБВ

То есть при работе синхронного двигателя, подключенного к сети, контроллер, входящий в состав МБВ будет отслеживать коэффициент мощности и удерживать его в заданном пределе путем повышения тока возбуждения, подаваемого на обмотку [2]. Тем самым двигатель будет работать в режиме перевозбуждения в качестве ИРМ, что позволит ему компенсировать реактивную мощность и снижать тем самым потери напряжения в сети. Значение $\cos\varphi$ будет увеличиваться до необходимого значения за счет того, что двигатель будет потреблять реактивную мощность из сети [1]. Диапазон регулирования коэффициента мощности на данном контроллере имеет обширный диапазон, что позволяет эффективно использовать его на промышленных объектах.

Заключение

Помимо установки дорогостоящего оборудования, такого как устройства компенсации реактивной мощности, энергетические предприятия ищут альтернативные варианты снижения электропотребления, которые позволили бы экономить финансовые затраты и снижать различного рода потери напряжения, которые могут возникнуть.

В данной статье предлагается решить проблему возникновения излишней реактивной мощности в электросети с помощью использования микропроцессорного блока возбуждения с функцией автоматического отслеживания коэффициента мощности. Данное утверждение подтверждают расчеты с реальными данными по расходу электроэнергии за прошлый год на промышленном объекте.

Использование контроллера МБВ позволит наиболее эффективно использовать синхронные машины на технологическом производстве и снизить потери электроэнергии, которые могут возникнуть.

ИСТОЧНИКИ

[1] Беспалов, В.Я. Электрические машины: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / В.Я. Беспалов, Н.Ф. Котеленец. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 320 с.

[2] МБВ.00Х контроллер тиристорного возбудителя синхронного двигателя [Электронный ресурс].

[3]<http://intmash.ru/ru/produkcija/kontrollery-vozbuzhdeniya-sinhronnyh-dvigateli/mbv-00h-kontroller-vozbuditelya-sinhronnogo-dvigatelya/>.

[4] Красник В.В. Автоматические устройства по компенсации реактивной мощности в электросетях предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1983. 136с.

[5] Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / Под ред. В.М. Перельмутера. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 319с.

[6] Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учеб.пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 368с.

[7] Компенсация искажений напряжения в электроэнергетических режимах с тяговой нагрузкой/ Шандрыгин Д.А., Довгун В.П., Егоров Д.Э., Солопко И.В., Шишкин З.А.// Вестник Казанского государственного энергетического университета: научно-технический журнал – 2020. - №4(48), с.38-52.

[8] Копылов И.П. Проектирование электрических машин. – М.: Энергия, 2002.

[9] Кацман М.М. Расчет и конструирование электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

[10] Т. И. Петров, А. Р. Сафин, М. Ф. Низамиев, В. Р. Басенко Применение генетического алгоритма при разработке программного обеспечения для перебора материалов при оптимизации синхронных двигателей // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 2(54). С. 96-105.

[11] Петров Т. И. Разработка и реализация стенда для подтверждения эффективности топологической оптимизации ротора синхронных двигателей с постоянными магнитами / Т. И. Петров, А. Р. Сафин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 100-108.

[12] Мартынов К.В., Пантелеева Л.А., Васильев Д.А., Дресвянникова Е.В. Исследование распределения токов по фазам в асинхронном электродвигателе с совмещённой обмоткой // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 150-159.

[13] Мехтиев А. Д. Энергоустановка на базе свободнопоршневого двигателя и генератора возвратно-поступательного перемещения / А. Д.

Мехтиев, Д. Л. Калужский, Е. Г. Нешина [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 178-188.

УДК 621.311

СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЖИМНОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Трофимов Г.Г., Саухимов А.А., Живаева О.П., Васильев Д.С.
НАО «Алматинский университет энергетики и связи им.Гумарбека Даукеева»
e-mail: depenergy@mail.ru, a.saukhimov@aes.kz., o.zhivayeva@aes.kz,
dan.vassilyev@aes.kz

Аннотация. На сегодняшний день достаточно остро стоит вопрос бесперебойного электроснабжения нефтегазовых комплексов, что связано с рядом сложностей: удаленность от центров питания, отсутствие инфраструктуры, большая протяженность питающих сетей, наличие потребителей с нелинейной нагрузкой и пр. Внедрение ВИЭ ведет к непрерывному изменению режимных параметров, что в свою очередь требует более частых измерений и учета динамики изменения этих параметров. Для выполнения этих требований внедряется система синхронных векторных измерений (СВИ) с векторными измерительными блоками (PMU), которая дополняет традиционные системы SCADA.

Ключевые слова: системы электроснабжения, нефтегазовые комплексы, синхронизированные векторные измерения, WAMS, PMU, SCADA.

MODERN METHOD OF FORECASTING THE REGIME RELIABILITY OF POWER SUPPLY OF OIL AND GAS COMPLEXES

Trofimov G.G., Saukhimov A.A., Zhivayeva O.P., Vassilyev D.S.
Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev
e-mail: depenergy@mail.ru, a.saukhimov@aes.kz., o.zhivayeva@aes.kz,
dan.vassilyev@aes.kz

Abstract. Today the issue of uninterrupted power supply of oil and gas complexes is quite acute, which is associated with a number of difficulties: remoteness from power centers, lack of infrastructure, large length of power grids, presence of consumers with non-linear loads, etc. Introduction of RES leads to continuous change of regime parameters, which, in turn, requires more frequent measurements and consideration of the dynamics of changes in these parameters. To meet these requirements, the system of synchronous vector measurements (SVI) with phasor measuring units (PMU) is implemented, which complements the traditional SCADA systems.

Key words: power supply systems, oil and gas complexes, synchronized vector measurements, WAMS, PMU, SCADA.

Введение

Как правило системы электроснабжения нефтегазовых комплексов удалены от центров питания, находящихся на основной территории, и имеют разнообразные источники энергии. Так для Казахстана они располагаются далеко от центра электрических нагрузок в западном регионе страны, в чрезвычайно трудных природно-климатических условиях, где отсутствуют пути сообщения, развитая дорожная инфраструктуры, населенные пункты, линии электропередач, пресная воды.

В питающих слабых протяженных линиях электропередач нефтегазовых комплексов наблюдается постоянный рост потребляемой мощности, связанный с ростом электрических нагрузок месторождений, а потребители нефтегазовых комплексов территориально разбросаны на большой площади. Поэтому во внешней схеме электроснабжения имеют место неоднократные короткие перерывы, происходящие из-за коротких замыканий и других причин.

Отличительной особенностью предприятий нефтегазовой промышленности является слабые системы электроснабжения с большой протяженностью низко- и высоковольтных сетей, территориальная рассредоточенность потребителей электрической энергии, удаленных на значительное расстояние от ГПП, неравномерность графиков электрических нагрузок, значительный объем двигательной нагрузки большой мощности, наличие искажений из-за интенсивного применения потребителей с нелинейной нагрузкой. Сами потребители нефтегазовых комплексов имеют значительную мощность.

1 Особенности работы электрических сетей нефтегазовых комплексов с источниками ВИЭ

Газокомпрессорные станции для закачки газа в пласт используются в комплексе переработки природного газа на газоконденсатных месторождениях, когда в период добычных работ необходимо поддерживать пластовое давление газа для предупреждения образования конденсата. Отдельные электродвигатели имеют мощностью 75 кВт - 220 кВт. А общая мощность газокомпрессорной станции достигает 50-60 МВт.

Мощность, необходимая для питания головных нефтеперекачивающих станции поддерживающих поток и давление нефти, обеспечивая необходимую пропускную мощность магистральных трубопроводов достигает 40-60 МВт.

На компрессорных газоперекачивающих станциях для привода нагнетателей применяются синхронные электродвигатели мощностью до 25 МВт.

Для насосных станций на нефтяных месторождениях обычно используются синхронные двигатели до 6 МВт, а для установок извлечения нефти используют мощные асинхронные двигатели.

Для бурения нефтяных и газовых скважин требуются специальные буровые установки, общая мощность привода которых колеблется в зависимости от назначения установки от 1000 до 3000 кВт.

Для поддержания пластового давления используются кустовые насосные станции для закачки воды в нефтяной пласт. На них устанавливают от двух до пяти центробежных насосов. Мощность двигателя каждого из насосов может достигать до 500 кВт.

Среди потребителей велика доля нелинейной нагрузки за счет интенсивного применения различного типа преобразователей частоты систем регулируемого электропривода, которые могут стать причиной возникновения резонансных явлений во внутренней схеме электроснабжения, если к сети подключены конденсаторные установки компенсации реактивной мощности. Эти особенности создают проблемы с качеством электроэнергии и устойчивой работы синхронных двигателей в нефтегазовой отрасли. В связи с этим возникает необходимость компенсации высших гармоник тока и напряжения, генерируемых нелинейной нагрузкой, для повышения уровня качества электрической энергии и приведение его в соответствие с нормами ГОСТ 13109-97. Пассивное фильтро-компенсирующее устройство (ФКУ) можно настроить только на одну гармонику, для компенсации нескольких порядков гармоник требуется установка нескольких пассивных фильтров, что не всегда экономически целесообразно. Наиболее современным и перспективным техническим средством компенсации высших гармоник в сетях нефтегазодобывающих предприятий являются системы коррекции кривых тока и напряжения на базе активных фильтров.

Несмотря на то, что обычно все электроприемники нефтегазовых комплексов относятся ко 2 категории по надежности, тем не менее в процессе их эксплуатации огромную роль играет безостановочность рабочего процесса. Учитывая высокую стоимость продукции нефтегазовых комплексов даже небольшие перерывы электроснабжения подобных установок может не только привести к их отключению и срыву технологического процесса, на восстановление которого уходит много времени, но и сильно повлиять на экономику предприятия. При перерывах электроснабжения длительностью более 0,2с. нарушается устойчивая работа синхронных электродвигателей установки поддержания пластового давления. Перерыв электроснабжения установок электроцентробежных насосов на время, превышающее 0,15с, вызывает нарушение непрерывности технологического процесса добычи. Все это приводит к значительным материальным ущербам. В связи с этим становится актуальным вопрос об ограничении длительности перерывов электроснабжения.

Причем ситуация значительно ухудшается за счет широкой интеграции разнообразных ВИЭ в систему электроснабжения нефтегазовых комплексов. Однако сегодня возобновляемые источники

энергии (ВИЭ) являются неотъемлемым элементом развития энергетической и нефтегазовой отраслей.

Суммарная мощность ВИЭ-генерации в мире в 2020 г. составила почти 2800 ГВт, из них общая установленная мощность ВИЭ расположенных только на нефтегазовых комплексах достигла более 2,8 тыс. ГВт, где 25% (707 ГВт) составляют солнечные электростанции с фотоэлектрическими модулями. Однако непостоянный режим работы ВИЭ и возмущения, которые они оказывают на систему электроснабжения создают дополнительные сложности в процессе эксплуатации и требуют постоянного контроля за их режимом в темпе реального времени.

Поэтому в системе электроснабжения нефтегазовых комплексов необходим постоянный мониторинг не только за устойчивостью источников питания и связи с энергосистемой, но и режимом работы самой системы электроснабжения, а также за качеством электроэнергии, и состоянием работы отдельных ответственных электроприемников.

Обычно в таких системах электроснабжения круглосуточно ведется наблюдение за основными режимными параметрами сети.

Функции постоянного контроля параметров режима выполняла система SCADA, которая собирает, обрабатывает, отображает и архивирует информацию, позволяя осуществлять мониторинг и диспетчерское управление. Система SCADA работает только с такими режимными параметрами как мощность и напряжение. Она проводит замеры один раз в секунду и поэтому пригодна только для анализа стационарного потока мощности. SCADA не может отслеживать динамические характеристики энергосистем.

Появление ВИЭ в системах электроснабжения нефтегазовых комплексов в значительной степени изменило ситуацию. До появления ВИЭ поток мощности в энергосистеме был односторонний. Поэтому не было необходимости в постоянном наблюдении за режимом. В этих условиях оказывалось достаточным оценить только огибающую предельных режимных параметров, например, пиковых нагрузок или токов короткого замыкания, что с успехом выполняла система SCADA.

Появление ВИЭ в системах электроснабжения предприятий нефтегазового комплекса сопровождается непрерывным изменением режимных параметров, для чего стало необходимым в реальном времени отслеживать динамику изменения параметров режима сети.

Измерения на основе SCADA традиционно основаны на анализе стационарного потока мощности и, следовательно, не могут отслеживать динамические характеристики энергосистем. Для анализа электромагнитных и электромеханических переходных процессов необходимо не только проводить эти замеры чаще, но и учитывать динамику изменения векторных составляющих режимных параметров в реальном времени.

Только такие режимные параметры могут во времени дать информацию не только о работе всех источников электроэнергии в сети и их связи между собою, но и о происходящих изменениях электромеханических и электромагнитных процессов, сообщить о наличии качаний, о поведении всех узлов, и о многом другом.

2 Технология векторных измерений

Синхронные векторные измерения (СВИ) с векторными измерительными блоками (PMU, Phasor Measurement Unit) и соответствующие средства визуализации отлично дополняют традиционные SCADA системы в диспетчерском пункте.

СВИ – единственная на данный момент технология, позволяющая осуществлять мониторинг динамических процессов в реальном времени.

СВИ в энергетике называют измеренные в определённые моменты времени совокупности скалярных и векторных параметров режима электрической сети, которые синхронизированы с помощью глобальных навигационных спутниковых систем. Векторные измерительные блоки PMU устройств СВИ выполняют измерения синхронизированных параметров режима и передают их в концентратор синхронизированных векторных измерений.

Распределенные системы мониторинга, в которых используются получаемые от PMU данные синхронизированных измерений, имеют отличия от данных «традиционных» измерений, получаемых от SCADA [1]. Эти отличия заключаются в следующем:

- ❖ СВИ передаются от PMU в концентратор синхронизированных векторных данных (PDC) в виде непрерывного потока данных с настраиваемой частотой дискретизации (например, 10, 25 или 50 выборок в секунду);
- ❖ каждое измерение содержит метку времени, позволяющую сопоставлять друг с другом измерения, которые поступают с разных подстанций;
- ❖ замеры напряжения и силы тока также включают информацию о фазовом угле (фиксируются параметры векторов вместо передачи аналоговых значений).

Синхрофазор — это синхронизированное по времени электрическое измерение вектора (как амплитуды, так и фазового угла электрических синусоид).

Наличие синхрофазора является одним из основных требований интеллектуальной сети. Так как все режимные параметры электрической сети постоянно изменяются, то само векторное измерение ничего не значит без сравнения его с другим векторным измерением, выполненным в тот же самый момент времени. Измерения на основе синхрофазора могут быть получены с помощью устройств с быстрой отметкой времени, называемыми векторными измерительными блоками (PMU).



Рис. 1. Сравнение данных, получаемых от PMU и SCADA

Таблица 1

Сравнение PMU и SCADA

Показатели	SCADA	PMU
Разрешение	1 измерение каждые 2–4 с	10–60 отсчетов/с
Наблюдаемость	Устойчивое состояние	Динамический
Измерения	V, I	$ V $, δ , I, частота, ROCOF
Синхронизация	Нет	Да
Угол фазы	Нет	Да
Область применения	Локальный мониторинг и контроль	Мониторинг и контроль на обширной территории

Блоки PMU устройства СВИ это высокоскоростные интеллектуальные измерительные устройства, предназначенные для измерений действующих значений синхровекторов тока и напряжения на основной гармонике (I_a , I_b , I_c и U_a , U_b , U_c) и абсолютного угла тока δI_a , δI_b , δI_c и абсолютного угла напряжения δU_a , δU_b , δU_c) а также скорости изменения частоты (df/dt) ROCOF на основе сигналов напряжения и/или тока и сигнала синхронизации времени. Таким образом УСВИ выполняют измерение векторов фазных напряжений и токов, где модулями являются их действующие значения, а фазовыми углами соответствующие абсолютные углы напряжений и токов [2].

Блок векторных измерений (PMU) — это высокоскоростной интеллектуальный измеритель показателей режима с точностью порядка микросекунд. PMU измеряет напряжения и токи на критических

подстанциях линий электропередачи и вычисляет вектора с отметками времени.

Синхронизация времени в основном обеспечивается Глобальной системой позиционирования (GPS) или протоколом точного времени IEEE 1588.

Концентратора векторных данных (PDC) собирает векторные данные от PMU либо на месте, либо в централизованных местах с использованием разных технологий.

PDC получает векторные данные от нескольких PMU и синхронизирует их по времени, чтобы создать синхронизированный по времени поток выходных данных в реальном времени. Затем эти данные передаются в региональную систему мониторинга (центральную сеть управления), которой управляет местный сетевой оператор.

Выполнять векторные измерения стало возможным только после появления очень точных спутниковых часов. Синхрофазорные измерения можно проводить на большой географической территории. Использование СВИ с GPS, позволяет осуществить динамический мониторинг работы энергосистемы, оценить ее динамическое состояние и на этой основе совершенствовать работу устройств автоматики, управления и релейной защиты и создать глобальную измерительную систему в электроэнергетике.

На основе данных измерений PMU возможно определить действующие значения токов и напряжений, активные, реактивные и полные мощности, $\cos \varphi$ и другие параметры режима по прямой обратной и нулевой последовательности и симметричным составляющими, включая интергармоники, (всего около сотни параметров), что открывает широкие возможности для управления нормальными и аварийными режимами в энергосистемах.

Блоки PMU размещаются на разных подстанциях энергосистемы так, чтобы измерение электрических величин в режиме реального времени позволяло выполнять;

- ✓ глобальный мониторинг состояния энергосистемы;
- ✓ определять запасы устойчивости (пропускная способность линий);
- ✓ обнаруживать качаний мощности по узлам энергосистемы;
- ✓ выявлять аварийные события;
- ✓ контролировать напряжения и фазовые углы в узлах энергосистемы;
- ✓ проверять топологию энергосистемы;
- ✓ осуществлять диагностику наиболее ответственного оборудования энергосистемы;
- ✓ проводить запись событий в энергосистеме.

Средства СВИ позволяют реализовать идентификацию, мониторинг и предупреждения об опасных ситуациях:

- по состоянию векторов напряжения (расхождение фазовых углов);
- по опасным колебаниям (малое затухание и большая энергия);
- по нестабильности частоты (изменение частоты по межсистемным связям);
- по нестабильности напряжения (зоны малого напряжения и чувствительность напряжения);
- по границам устойчивости.

УСВИ за счет реализации системы мониторинга нового типа, позволяют получать в реальном времени синхронизированную с высокой точностью и достоверную информацию о протекающих процессах во всех режимах работы энергосистемы (как установившихся, так и переходных процессах).

Диспетчер энергосистему по информации полученной от СВИ способен в режиме реального времени следить за динамикой режимных показателей для оценки поведения сети.

Использовании синхровекторов вместо выборочных значений тока и напряжения не только расширяет возможности для управления нормальными и аварийными режимами в энергосистемах, но и снижается трафик по шине процесса, упрощает реализацию продольных дифференциальных защит и дифференциальных защит шин, централизованных устройств управления нормальными и аварийными режимами.

Повышение надежности и эффективности функционирования энергосистемы при внедрении автоматизированных систем мониторинга переходных режимов на основе устройств синхронизированных векторных измерений.

В последние годы интеллектуальные системы на основе технологии синхронизированных векторных измерений стали использоваться для решения и других задач, связанных с повышением надежности.

Улучшение оценки состояния энергосистем при применении интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) с поддержкой технологии векторных измерений позволяет:

- выявлять опасные режимы;
- упрощать реализацию устройств релейной защиты и автоматики;
- выполнять ряд функций мониторинга и диагностики оборудования.

Применение УСВИ поможет обеспечить выявление возникающих проблем прежде, чем они приведут к сбоям или серьезным неполадкам в энергосистеме.

В УСВИ должны быть реализованы следующие функции:

- выполнение СВИ в статических и динамических условиях с нормированными погрешностями измерений;

- синхронизация с глобальными навигационными системами;
- формирование кадра данных СВИ на каждом установленном интервале времени;
- передача данных СВИ по одному из протоколов с настраиваемым темпом передачи;
- включение в каждый кадр данных СВИ метки времени UTC;
- передача данных СВИ нескольким получателям;
- регистрация и передача дискретных сигналов;
- самодиагностика функционирования.

3 WAMS – Система глобальных измерений

Система глобальных измерений (WAMS) относится к системе измерения, состоящей из стратегически расположенных синхронизированных во времени датчиков (которые представляют собой блоки PMU). Они могут отслеживать текущее состояние критической области в режиме реального времени.

Областью отслеживания состояния может быть вся система электроснабжения или ее часть.

Измерения WAMS используются глобальной системой управления (WACS) для управления переходной и колебательной динамикой напряжения и частоты системы.

Применением СВИ векторных измерений с использованием концентратора векторных данных, интегрированного в диспетчерский пункт не только обеспечивает управление в энергосистеме, но и критически важно для повышения осведомленности диспетчеров чтобы предотвратить каскадные отказы системы.

Как показали исследования отечественных и зарубежных авторов, установка даже небольшого количества устройств СВИ в составе АСТУ позволит существенно улучшить систему управления энергосистемы.

Массовое же применение устройств с поддержкой технологии СВИ позволит создать в перспективе автоматизированные системы управления нового поколения WACS.

Накопленный опыт использования технологии УСВИ на объектах электроэнергетики в энергосистемах мира и на отдельных нефтегазовых комплексах в разных странах показывает целесообразность их применения для решения следующих задач на нефтегазовых комплексах:

- ❖ Мониторинг нормальных и переходных режимов в системе электроснабжения нефтегазовых комплексов;
- ❖ Выявление опасных режимов в реальном времени;
- ❖ Мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения нефтегазовых комплексов;
- ❖ Совершенствование управления режимом работы систем электроснабжения нефтегазовых комплексов;
- ❖ Мониторинг и диагностики питающих трансформаторов в

электрических сетях нефтегазовых комплексов;

❖ Содействие в интеграции ВИЭ в систему электроснабжения нефтегазовых комплексов.

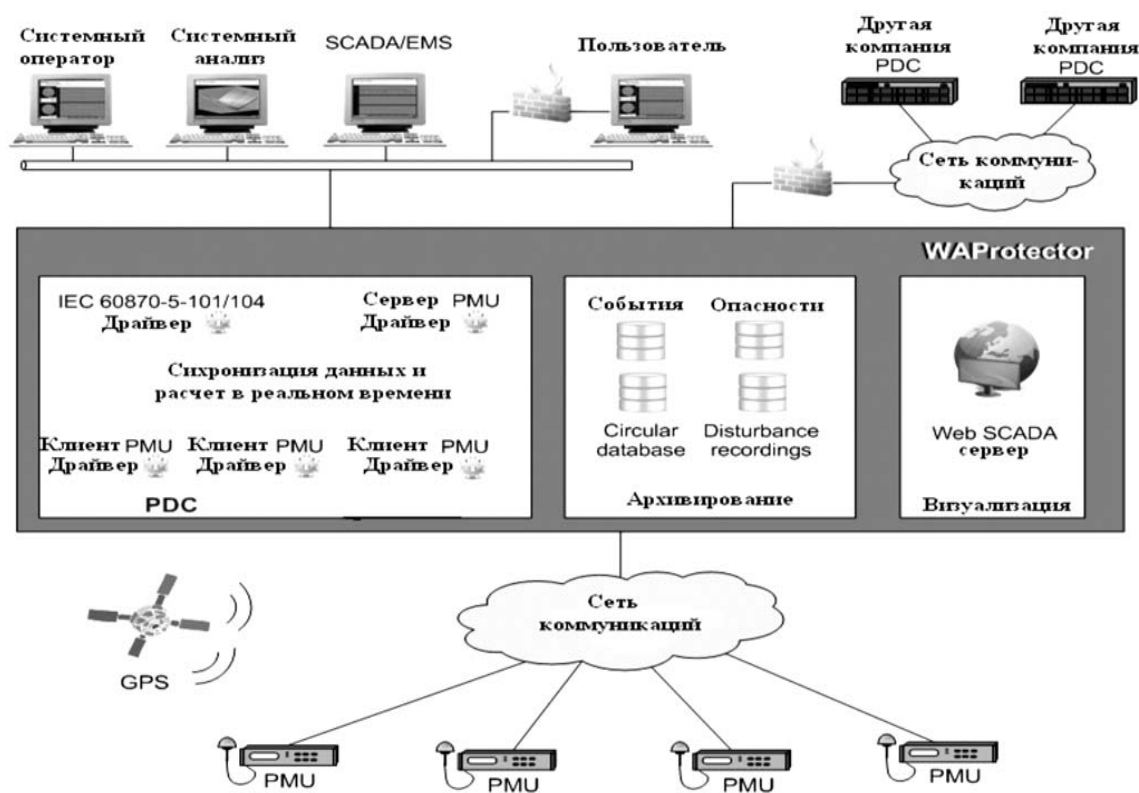


Рис. 2. Схема работы системы WACS

Выполняемый мониторинг на базе СВІ позволяет прогнозировать режимную надежность электроснабжения нефтегазовых комплексов с ВИЭ.

Следует отметить, что имеющиеся функциональные возможности УСВИ значительно шире.

Однако учитывая, что системы электроснабжения (СЭС) нефтегазовых комплексов проще чем энергосистема, поэтому экономически целесообразно размещать блоки РМУ только в критических точках СЭС. Естественно, что в силу возникшей при эксплуатации необходимости области использования УСВИ в нефтегазовом комплексе могут быть значительно расширены.

4 Работы Алматинского Университета Энергетики и Связи по внедрению СВІ

В Казахстане сотрудниками Алматинского Университета Энергетики и Связи (АУЭС) по Государственной программе «Цифровой Казахстан» на современной информационной платформе синхрофазорных измерений выполнялся Проект по внедрению мониторинга и контроля (WAMS/WACS) в Казахстанской компании по управлению электрическими сетями «KEGOC».

Он был запущен в 2019 году. Для этого на 14 подстанциях энергосистемы установили блоки PMU, GPS-часы и коммутаторы с помощью которых, осуществляется сбор данных, их обработка и анализ.

Система мониторинга переходных режимов WAMS измеряет параметры режима, собирает данные со всех этих блоков СВИ, обрабатывает и анализирует их и отправляет на серверы в Национальный диспетчерский центр Республики. Здесь диспетчера энергосистемы на основе данных принимают решения.

Это позволило создать предпосылки для разработки технологических алгоритмов работы систем мониторинга переходных процессов в ЕЭС Казахстана на современной информационной платформе синхрофазорных измерений.

Проект был успешно завершен и на основе данных получаемых из системы WAMS внедряется вторая система автоматизированного технологического управления WACS, которую можно рассматривать как логическое развитие многофункциональных измерительных преобразователей телемеханики. Она позволяет создать в перспективе автоматизированные системы управления нового поколения WACS.

Заключение

Использование систем на основе синхронных векторных измерений позволит улучшить надежность электроснабжения нефтегазовых комплексов, включающих ВИЭ. Проведенная работа по внедрению таких систем была завершена успешно и показала положительные результаты.

Накопленный опыт показал целесообразность применения системы с технологией синхронизированных векторных измерений на нефтегазовых комплексах, что вызвало интерес отдельных нефтегазовых компаний, для которых в настоящее время прорабатывается вопрос интеллектуальной системы контроля и прогнозирования режимной надежности электрических сетей нефтегазовых комплексов, включающих автономные системы с ВИЭ. Результаты данной работы будут в дальнейшем отражены в отчетах и публикациях.

ИСТОЧНИКИ

[1] Дмитрий Дубинин Д, Жуков А., Развитие технологии синхронизированных векторных измерений в ЕЭС России,

[2] A.G. Phadke, J.S. Thorp, Synchronized Phasor Measurements and Their Applications, NY: Springer Science & Business Media, 2008. — 247 p.,

[3] Arun G. Phadke and James S. Thorp, Synchronized Phasor Measurements and Their Applications, 2008,

[4] Национальный системный оператор АО «КЕГОС» внедряет в управление энергосистемой синхрофазорные технологии, Цифровой дайджест, выпуск №9, 2020,

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ КОММУТАЦИОННЫХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ АППАРАТОВ

Е.С. Севастьянов, Д.М. Хаткевич, Р.Р. Галиев, К.А. Долотовских, И.С.
Антипанова

Казанский государственный энергетический университет
egor.sev.se@gmail.com

***Аннотация:** Нами были предоставлены основные принципы гибридной коммутации, которые известны на данный момент. В работе рассматриваются инженерные пути полного или частичного устранения электрической дуги из процесса гибридной коммутации. Так же чуть подробнее раскрыт один из данных принципов. Также были выделены будущие перспективы гибридных аппаратов с транзисторными ключами, так как исключается электрическая дуга и ввиду полной управляемости транзисторов обеспечиваются оптимальные режимы коммутации.*

***Ключевые слова:** коммутационные аппараты, электрический ключ, гибридный аппарат, силовые транзисторные интегральные модули, транзисторные модули, бездуговая коммутация.*

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF HYBRID SYSTEMS OF LOW-VOLTAGE SWITCHING DEVICES

***Abstract:** Engineering ways of complete or partial elimination of the electric arc from the hybrid switching process are considered. Provided the basic principles of hybrid switching, which are known at the moment. We also examined one of these principles in a little more detail. The future prospects of hybrid devices with transistor switches are discussed, since an electric arc is excluded and, due to the complete controllability of transistors, optimal switching modes are provided.*

***Keywords:** switching devices, electric key, hybrid device, power transistor integrated modules, transistor modules, arcless switching.*

Актуальность исследуемой проблемы. В последние годы вопрос замены устаревшего электрооборудования коммутационно-защитными устройствами нового поколения с высокими технико-экономическими показателями, то есть традиционными электромеханическими устройствами, становится все более актуальным во всех сферах жизни.

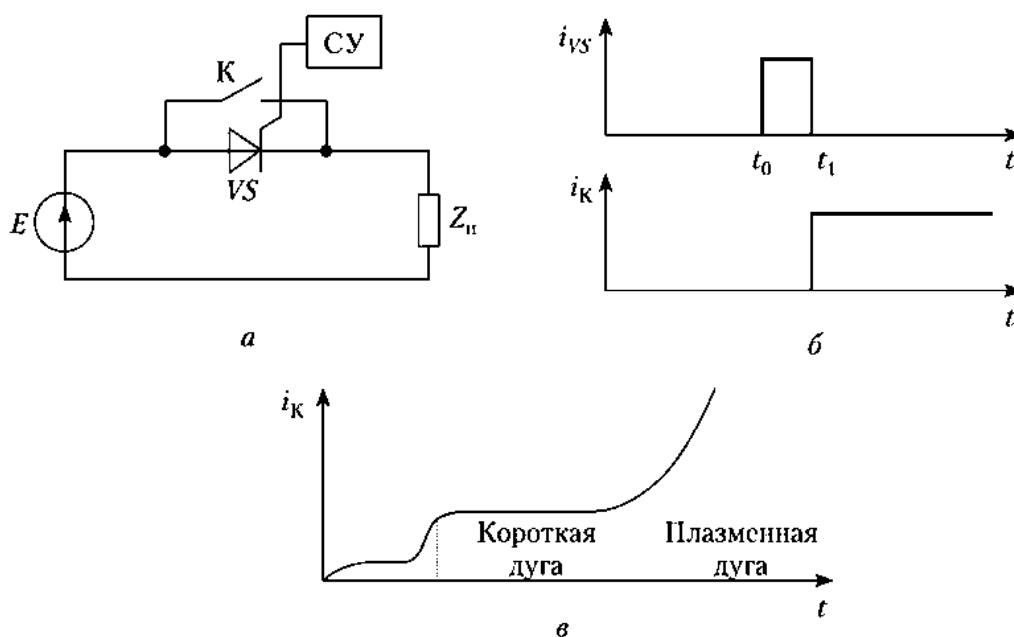
Износ, коррозия и сварка являются основными причинами разрушения коммутационной способности электрооборудования, работающего в условиях образования стабильной дуги на контактах. Наличие искр и быстрый износ контактов, изготовленных из меди, серебра или редких сплавов, делают контактное устройство ненадежным во время эксплуатации. Кроме того, электрическая дуга препятствует использованию этих устройств в космических условиях, увеличивая риск пожара и взрыва. Решение проблемы дугового разряда во время коммутации путем создания нового поколения высокоэффективных выключателей и защитных устройств, которые отвечают растущим

требованиям современных архитектур электрооборудования, предназначенных для передачи тока в десятки и сотни ампер, является серьезной задачей.

С одной стороны, важность работы по этой теме определяется созданием нового поколения управляемых гибридных аппаратов (далее ГА), способных работать в соответствии с заданными, рациональными законами коммутации [6], а с другой стороны, созданием этого инновационного направления в связи с широким внедрением в космические, авиационные и автомобильные технологий [4]. Прошло полвека с момента изобретения первого гибридного устройства, и только в 1960 году был запатентован простейший гибридный диодный контактор [1]. На сегодняшний день ГА получили важные перспективные направления, практические применения и инновационные разработки [4].

Теоретическая база исследования. Гибридный коммутационный аппарат - это гибридный переключатель, который переключает цепи за счет комбинированного действия электронных ключей и механических контактов. Целью этой комбинации является получение новых свойств за счет сочетания полезных качеств электромеханических и электронных устройств, а также улучшение технических и экономических показателей. Механические контакты в замкнутом состоянии имеют низкое падение напряжения при протекании тока и достаточно высокое сопротивление в разомкнутом состоянии. Электронный переключатель позволяет обеспечить бездуговую коммутацию, высокое быстродействие и регулировать электрические параметры.

Простейшая схема гибридного аппарата постоянного тока, реализующего быстродействие тиристора, приведен на рис. 1.



а — принципиальная схема; б — диаграммы тока; в — график дугообразования на контактах

Рис. 1. Принцип гибридной коммутации

При подаче импульса управления на тиристор происходит практически мгновенное подключение нагрузки ZH к источнику напряжения E . Затем происходит замыкание механических контактов K , шунтирующих тиристор. Диаграмма токов приведена на рис. 1, б. В момент времени t_0 происходит включение тиристора, и через него начинает протекать ток нагрузки I_m . Затем в момент времени t_x этот ток переходит в контакты, сопротивление которых на несколько порядков меньше, чем прямое сопротивление проводящего тиристора. Подобная схема может быть успешно использована для быстрого подключения резервных источников питания постоянного тока, например аккумуляторной батареи.

Когда на тиристор подается управляющий импульс, происходит практически мгновенное подключение нагрузки ZH к источнику напряжения E . Затем механический контакт K замыкается, и тиристор шунтируется. Диаграмма тока показана на рис. 1,б. В момент времени t_0 происходит включение тиристора, и начинает протекать ток нагрузки I_m . Затем, в момент срабатывания тиристора t_x , этот ток поступает в контакт с меньшим сопротивлением, чем прямое сопротивление тиристора. Такая схема может быть успешно использована для быстрого подключения резервного источника питания постоянного тока, такого как аккумулятор.

Гибридные аппараты различаются по типу электронных ключей (транзисторные, тиристорные и т.д.) и по способу соединения с механическими контактами (параллельному, последовательному и параллельно-последовательному соединению).

Обычные тиристоры редко используются в гибридных устройствах постоянного тока, поскольку для их выключения требуется принудительная коммутация. Поэтому в качестве электронных ключей обычно используют полностью управляемые ключи: различные транзисторы или запираемые тиристоры.

В низковольтных аппаратах (до 500 В) обычно используются три типа дугогасительных устройств.

- открытый разрыв, когда дуга распространяется в окружающем воздухе и гаснет;;
- щелевые камеры из дугостойкого изоляционного материала (азбоцемента, керамики и др.), дуга попадает во внутреннюю камеру под воздействием магнитного поля и гасится там из-за сильного охлаждения стенок камеры;
- дугогасительная (деионная) решетка, состоящая из набора охлажденных металлических пластин по типу радиатора, разделяющих дугу на несколько коротких дуг.

Результаты исследования. В современных реалиях появляется направление по созданию оптимальных низковольтных коммутационных

аппаратов, на это указывают публикации и темы исследований крупных НИИ и университетских кафедр.

Таким образом, это отражает общую тенденцию современного развития электрических низковольтных коммутационных аппаратов (НВА).

Технический уровень отечественных коммутационных аппаратов во многих отношениях ниже аналогичных зарубежных аппаратов, особенно с точки зрения количества срабатываний низковольтной коммутационной аппаратуры. Несмотря на это, требования к современным коммутационным аппаратам продолжают неуклонно возрастать.

Развитие современных технологий требует совершенствования электротехнических систем и комплексов, в частности, контактных и бесконтактных коммутационных аппаратов, используемых для коммутации (включения, отключения, переключения) и защиты электрических нагрузок.

Одним из важнейших элементов, который определяет надежность и коммутационную износостойкость, является электрический ключ. По его конструкции коммутационные аппараты делятся на контактные и бесконтактные.

В качестве одного из наиболее важных факторов повышения надежности и срока службы коммутационных гибридных аппаратов (далее ГА) были изучены инженерные методы полного или частичного устранения электрической дуги из процесса гибридной коммутации, для оперативной коммутации и защиты электрических цепей постоянного тока. Анализируя отечественные и зарубежные разработки в этой области науки, мы видим, что в настоящее время известны четыре основных принципа гибридной коммутации:

- Принцип параллельности (шунтирования) построения ГА - ЭМК электромагнитного аппарата соединен параллельно СПП бесконтактного аппарата;

- Принцип параллельно-последовательного построения ГА - одна пара ЭМК электромагнитного аппарата подключается параллельно с управляемым СПП бесконтактного аппарата, а вторая пара подключена последовательно;

- Принцип последовательного построения ГА - ЭМК электромагнитного аппарата соединяются последовательно с полностью управляемым силовым транзисторным ключом (СТК)

- Принцип каскадного построения гибридного (SiC-Si) СТК – высоковольтный транзистор VJFET (SiC) и низковольтный MOSFET (Si) объединяются каскоднокристаллами отдельных приборов по гибридной технологии.

В специальных областях силовой электроники (автомобильной, аэрокосмической и военной) в ближайшие годы будут использоваться гибридные СТК на основе полупроводниковых материалов с большой

запрещенной зоной, в основном из карбида кремния (4H-SiC) – высоковольтных силовых полевых транзисторов (с изолированным затвором SiC-JFETs и управляемых р-п-переходом низковольтных SiC-MOSFET). Ведущие европейские производители заинтересованы в создании каскадных гибридных СТК. Например, зарубежная компания Siemens AG создала каскадную схему гибридного СТК основанную на вертикальном высоковольтном VJFET (SiC).

Перспективной считается развитие коммутационных ГА, основанных на каскадном принципе гибридной коммутации. Появление перспективных открытых силовых полупроводниковых ключей – SIT-транзисторов, позволяет создать новое поколение отечественных коммутационных ГА последовательным включением открытого СТК и ЭМК низковольтного электромагнитного аппарата.

В последние годы появление и развитие мощных транзисторных интегрированных модулей определяет удобство и перспективы использования транзисторных модулей в генетических алгоритмах. Дальнейшее развитие ГА связано с использованием силовых транзисторов, к которым относятся контакты нового поколения с электронным управлением, что позволит решить проблему создания ГА с оптимальными законами бездуговой коммутации.

С транзисторными переключателями ГА почти полностью исключается из процесса переключения и обеспечивает оптимальную схему переключения, поскольку транзистором можно полностью управлять.

В зависимости от бездугового или почти бездугового способа переключения технические решения для создания ГА можно разделить на следующие основные группы.

- С полупроводниковыми элементами с управлением процессом бездуговой коммутации;

- Неконтролируемая полупроводниковая элементная база позволяет "отключать" питание от нагрузки во время простоя;

- Шунтирующие контакты конденсатора и разрядника обеспечивают емкостную систему переключения.

Выводы:

Таким образом, при разработке ГА для коммутации низковольтных цепей необходимо соблюдать требования минимальных габаритов и высокой надежности. Перемещение и защита ГА имеет полностью управляемый СТК, который сочетает в себе преимущества контактных электромагнитных устройств. контактное устройство. Можно найти наиболее практичное применение оборудованию.

Поскольку транзистором можно полностью управлять, это может быть выполнено с помощью дугowego переключения. В то же время, исходя из общей теории оптимального управления, критериями оптимального отключения могут быть минимальное время прохождения

минимального перенапряжения на контакте заданного времени прохождения и минимально допустимое перенапряжение на элементе перемещения.

Для того чтобы реализовать закон коммутации без наилучшей заданной дуги, необходимо систематически подходить к проблеме создания низковольтных переключателей. Суть этого метода заключается в создании гибридной системы коммутации, учитывающей характеристики бесконтактной цепи, в которой реализован оптимальный закон управления и обеспечивается бездуговая коммутация всей цепи тока. Применение метода синтеза математической оптимизации управляемой гибридной коммутационной системы позволяет комплексно решить проблему создания бездуговых переключателей, в которых важную роль играет оптимальный режим переключения.

Современной тенденцией является использование принципа модульной конструкции, который позволяет создавать сетки с легко взаимозаменяемыми блоками и значительно расширять их функциональность. Такой принцип построения является перспективным направлением для создания новых устройств с бездуговой коммутацией, предназначенных для работы в автономных конструкциях с повышенной надежностью.

Это изобретение открывает возможность создания нового поколения управляемого выключателя защиты ГА, который последовательно соединяет обычный открытый СПП и ГК. Появление SIT-транзисторов на основе СПП, таких как низкое начальное сопротивление, низкое падение напряжения в состоянии, высокая радиационная стойкость, напряжение пробоя и рабочая температура, позволило производить простые и надежные ГА с последовательным включением ГК и СПП.

ИСТОЧНИКИ

[1] Арайс, Е. А. Моделирование неоднородных цепей и систем на ЭВМ / Е. А. Арайс, В. М. Дмитриев. - М.: Радио и связь, 1982. - 160 с.

[2] Ваткина, М. А. Исследование возможности создания нового поколения низковольтных гибридных аппаратов с заданным законом бездуговой коммутации / М. А. Ваткина, А. А. Григорьев // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. - 2013. - № 2 (78). - С. 29-38.

[3] Григорьев, А. А. Создание нового поколения низковольтных гибридных аппаратов с бездуговой коммутацией для специальной электротехники / А. А. Григорьев, М. А. Ваткина // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. - 2013. - № 2 (78). - С. 49-58.

[4] Григорьев, А. А. К проблеме создания гибридных аппаратов с заданным законом бездуговой коммутации / А. А. Григорьев, А. В.

Никитин // Научно-информационный вестник докторантов, аспирантов, студентов. - 2013. - № 1 (20). - С. 37-42.

[5] Григорьев, А. А. Перспективные направления инновационного развития коммутационных гибридных аппаратов нового поколения для бортовой аппаратуры автономных систем и комплексов / А. А. Григорьев, М. А. Ваткина // Использование инновационных технологий в сервисном обслуживании транспорта : сб. науч. ст. - Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ун-т, 2012. - С. 17-32.

[6] Иванов, И. П. Оценка возможностей создания с использованием микроэлектромеханических систем новых коммутационных аппаратов / И. П. Иванов, С. А. Моисеев // Труды XII Международной конференции «Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты» МКЭЭЭ-2008. - Алушта, 2008. - С. 302.

[7] Могилевский, Г. В. Гибридные электрические аппараты низкого напряжения / Г. В. Могилевский. -М. : Энергоатомиздат, 1986. - 232 с.

[8] Манусов В. З. Определение основных параметров высокотемпературного сверхпроводящего трансформатора с функцией токоограничения / В. З. Манусов, Д. М. Иванов, А. В. Семенов, О. В. Боруш // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 25-38.

[9] Илюшин П. В. Особенности возникновения и протекания аварийных режимов в распределительных сетях с распределенной генерацией / П. В. Илюшин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 3-14.

[10] Бахур С. И. Современные методы повышения энергетической эффективности асфальтобетонных заводов / С. И. Бахур, А. А. Капанский // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 48-60.

УДК 621.311

МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМНОЙ НАДЕЖНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА РК

Тохтибакиев К. К., Гунин А.М., Бектимиров А.Т., Ильясов А.З.
НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека
Даукеева»
e-mail: k.tokhtibakiev@aes.kz, a.gunin@aes.kz, a.bektimirov@aes.kz,
a.ilyasov@aes.kz

***Аннотация.** В статье для повышения надежности функционирования электрических сетей НГК предлагаются мероприятия по устранению некоторых проблем, обусловленных недостатками управления сети при отсутствии полной информации о параметрах режима в реальном времени. Достаточная наблюдаемость сети достигается созданием системы мониторинга режимной надежности (РН)*

электрических сетей нефтегазового комплекса (НГК), которая используется для реализации принципов адаптивного управления энергообъектов. Для мониторинга РН используются наблюдаемые параметры установившихся и переходных режимов. Приведены основные принципы построения и задачи системы мониторинга параметров режимной надежности с использованием синхронизированных векторных измерений.

Ключевые слова: режимная надежность, мониторинг параметров, адаптивные принципы управления, синхронизированные векторные измерения, электростанции малой мощности.

MONITORING OF RELIABILITY PARAMETERS IN THE ELECTRIC NETWORKS OF THE OIL AND GAS SECTOR OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Tokhtibakiev K.K., Gunin A.M., Bektimirov A.T., Ilyasov A.Z.
Non-profit JSC «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev»
e-mail: k.tokhtibakiev@aes.kz, a.gunin@aes.kz, a.bektimirov@aes.kz,
a.ilyasov@aes.kz

Abstract. The article proposes measures to address some of the problems caused by the drawbacks of network management in the absence of full information about the parameters of the regime in real time in order to improve the reliability of functioning of electric networks of oil and gas complex. Sufficient observability of the network is achieved by creating a system of regime reliability monitoring of electric networks of oil and gas complex, which is used to implement the principles of adaptive management of power facilities. For regime reliability monitoring the observed parameters of steady-state and transient modes are used. The basic principles of construction and tasks of the system of monitoring of the parameters of regime reliability using synchronized vector measurements are presented.

Key words: regime reliability, parameter monitoring, adaptive control principles, synchronized vector measurements, small power plants.

Введение

Электроснабжение потребителей нефтегазовых месторождений в РК осуществляются участками электрической сети 35-110-220 кВ, подключенных к системам с крупными электростанциями и от более мелких собственных источников ГТЭС и ГПЭС. Во многих странах в условиях сложности доступа потребителей нефтегазовых комплексов к централизованным системам электроснабжения, и роста стоимости электросетевого строительства при этом, более привлекательным в настоящее время рассматривается использование ВИЭ, что позволяет существенно снизить углеродный след и, соответственно снижение платежей трансграничного углеродного налога. Однако наличие ВИЭ приводит к ухудшению режимной надежности сети нефтегазового комплекса (НГК), вследствие нестабильности выдачи мощности, возникновении низкочастотных колебаний перетоков мощности, сложности демпфирования таких колебаний [1,2]. При этом задачи

диспетчеризации и управления режимами усугубляются отсутствием наблюдаемости и управляемости сети. Для повышения режимной надежности и управляемости таких сетей предлагается создание цифровых систем управления на базе систем векторных измерений (СВИ) [3,4]. Мировой опыт использования СВИ приводятся в многочисленных публикациях в США, Китае, Европе. В ЕЭС РК с 2017 г АО «KEGOC» совместно с НАО «АУЭС» реализует проекты по внедрению и использованию СВИ на транзите Север-ЮГ [5,6]. Эти проекты создания глобальной измерительной системы с использованием систем СВИ, выполнены с участием авторов данной статьи и успешно реализованы в ряде других проектов в РК по созданию современных систем управления режимами в реальном времени.

1 Актуальность проблем повышения надежности функционирования электрических сетей нефтегазовых комплексов

Потребители нефтегазовых комплексов (НГК) осуществляют добычу, доставку сырья и ее переработку на нефтегазоперерабатывающих заводах и состоят из следующих видов нагрузок:

- Синхронные двигатели мощностью 6 МВт и выше на нефтяных месторождениях,
- Оборудования компрессорных и газоперекачивающих станции от 25 до 40-60 МВт
- Нелинейной нагрузки в виде различного типа преобразователей частоты и систем регулируемого электропривода, составляющих более 40%. потребителей на месторождения сырья

Вышеуказанные нагрузки предъявляют повышенные требования к условиям устойчивости и качеству напряжения сети. Подключение конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности может стать причиной возникновения резонансных явлений во внутренней схеме электроснабжения.

Значительная доля потребителей относятся к потребителям первой и высшей категории по надежности электроснабжения. Перерыв электроснабжения установок электроцентробежных насосов на время больше чем на 0,15с приводит к нарушению непрерывности технологического процесса добычи, что в целом требует повышенных требований к схеме электроснабжения в нефтегазовой отрасли.

Значительные проблемы при диспетчеризации возникают при параллельной работе собственных источников генерации небольшой мощности с системой электроснабжения с крупными региональными электростанциями. Подключение собственных источников в виде газотурбинных электростанций (ГТЭС) или газопоршневых электростанций (ГПЭС) усложняют вопросы составления балансов мощности и оперативного управления режимами сети. Особо необходимо отметить вопросы обеспечения управления режимами при интеграции разнообразных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в систему

электроснабжения НГК, которые создают нестабильность балансов мощности и изменчивость потокораспределения в сети.

Существуют проблемы в эксплуатации протяженных линиях электропередач и питающих подстанции НГК:

- Наблюдается постоянный рост потребляемой мощности, связанный с увеличением электрических нагрузок месторождений, что приводит к перегрузкам и ограничениям по условиям пропускной способности сети;
- Возникновение частых аварий с короткими замыканиями (КЗ) и отключениями обусловлены прохождением трасс линий на территории с негативным влиянием окружающей среды и неблагоприятных климатических условий;
- Частым авариям также способствуют эксплуатация в условиях морального износа и отсутствия современных средств РЗА

Эти условия функционирования создают проблемы в системах электроснабжения в нефтегазовой отрасли, которые снижают надежность сети с увеличением числа аварийных отключений, увеличением ограничений, перерывов электроснабжения и приводят к значительному материальному ущербу.

Традиционные мероприятия повышения надежности электрических сетей, связанных с повышением надежности отдельных элементов сети или путем их резервирования, приводят к удорожанию системы электроснабжения потребителей НГК, и не всегда обеспечивают требуемую надежность при управлении по существующим программным принципам планирования режимов. Более привлекательны пути повышения режимной надежности электрических сетей НГК на основе совершенствования технологии диспетчеризации и адаптивного управления режимами ЭС с использованием принципов адаптивного управления. Кардинальные изменения технологии управления режима связаны с переходом на выполнении расчетов режимов в контур управления и адаптивную настройку режимной автоматики.

Для пояснения отмеченного подхода, в следующем разделе приводятся анализ результатов исследований работы электрических сетей НГК на примере схемы Казахстанского газоперерабатывающего завода (КазГПЗ), где показаны сложности настройки ПА по принципу «2 ДО» с выполнением предварительных многочисленных расчетов вне контура управления.

2 Моделирования режимов в электрической сети КазГПЗ при настройке РЗ и ПА

Система представлена Мангистауским энергорайоном, работающий параллельно с единой энергетической системой России по транзиту 220 кВ МАЭК-Атырау-Уральск. По структуре рассматриваемая сеть относится к классической типовой сети 2 – параллельная работа большой системы с небольшой станции с нагрузкой. Жанаозенский энергоузел обеспечивается

электроэнергией от ПС-220кВ «Узень», которая подключена к энергосистеме двумя ВЛ-220кВ длиной 133,8 км, двумя ВЛ-110кВ идущих к шинам 110кВ МАЭК «ТЭЦ-3» через ПС-110кВ «Жетыбай» и двумя ВЛ-110кВ подключенным к ПС «Сай-Утес» и далее к ПС-110кВ «Бейнеу-110». В рассматриваемом энергоузле функционируют потребители ТОО «Казахский газоперерабатывающий завод», энергоснабжение которого осуществляется по линиям электропередач АО «Мангистауская РЭК» ВЛ 220-110 кВ от ТЭЦ – 3 принадлежащей ТОО «МАЭК – Казатомпром».

Для расчета режимов рассмотрены схемы с участками сети 220-110 при вводе электростанции малой мощности ГПЭС «Жанаозен» суммарной номинальной мощностью 30,4МВт.

Для этой схемы характерны в основном режимы передачи мощности из системы в местную сеть, актуальны вопросы обеспечения устойчивости нагрузки, ликвидации асинхронных режимов при КЗ по питающим сетям, деления сети от системы и ресинхронизации для восстановления схемы.

По данной схеме разработана компьютерная модель сети с использованием программы PowerFactory. Для генераторов заданы соответствующие динамические модели, в состав которых входят регуляторы напряжения, АРВ, скорости.

Диспетчеризация режимов сети, обеспечивающая устойчивость и качество режимов сети осуществляется выполнением следующих этапов ведения режимов: планирования, оперативного и автоматического управления. Планирование режимов, настройка устройств РЗА и ПА в электрической сети КазГПЗ выполняются для всех возможных вариантов нормального и аварийных режимов, которые не всегда совпадают с реальными случаями работы сети.

Недостатки настройки автоматики наиболее существенны при работе ПА: специальной автоматики отключения нагрузки (САОН), автоматики ликвидации асинхронного режима (АЛАР), делительной автоматики (ДС). Эти устройства автоматики являются режимными и настройки их определяются параметрами режима, пределами пропускной способностью сети, соотношением выдаваемой мощностью местной электростанции и мощностью, получаемой из сети.

2.1 Выбор дозировки САОН в сети КазГПЗ

Величина дозировки САОН зависит от мощности ГПЭС и пропускной способности сети от МАЭК. Для пояснения отмеченного, рассмотрим вкратце выбор дозировки САОН по существующей технологии или по принципу «2 ДО». Объемы САОН (Таблица 1) в узлах нагрузки определены в случае работы системы по двум линиям 110 кВ МАЭК Узень. САОН реализуется отключением следующих ВЛ-110 кВ: Газлифт 1,2; Карамандыбас 1,2; Плато 1,2; КС-Узень 1,2.

Суммарный объем отключения 98 МВт обеспечивается отключением ввода на ПС указанных выше при условии контроля нагрузки на них. При вводе ГПЭС Жанаозен в работу появляется возможность уменьшения

объема ОН при выдаче мощности от ГПЭС. В зависимости от выдаваемой мощности ГПЭС в доаварийной схеме меняется дозировка САОН при перегрузке питающей линии по условию статической устойчивости (Таблице 2).

Таблица 1

Объемы отключаемых мощности от САОН по условиям устойчивости

ВЛ-110кВ	Режим	Зимний максимум 18.12.2019	
		P, МВт	Q, МВАр
Газлифт 1,2		0	0
Карамандыбас 1,2		30	14
Плато 1,2		47	24
КС-Узень 1,2		21	7
	Сумма	98	45

Таблица 2

Объемы САОН при различной выдаче мощности от ГПЭС Жанаозен

Схема сети	Суммарный объем ОН	Выдача мощности от ГПЭС Жанаозен, МВт
Нормальная	98	0
	92	6
	86	12
	81	17
	68	30

Адаптивные алгоритмы автоматики отключения нагрузки (САОН) с контролем выдачи мощности ГНПС «Жанаозень» дают возможность селективного отключения отдельных потребителей (вместо полного обесточивания потребителя), чтобы не нарушать электроснабжение ответственных, государственных и социально значимых объектов;

2.2 Деление сети для ликвидации асинхронных режимов (АЛАР)

В соответствии с руководящими указаниями по предотвращению и ликвидации АР расчеты по настройке устройств АЛАР выполняется с целью:

- определения места деления в линиях и связей между различными частями системы, по признаку выявления электрического центра качаний (ЭЦК) или места глубокого снижения напряжения)
- необходимость разделения сети по связи для предотвращения развития аварий. отключения крупных узлов нагрузки и потерей СН станции с лавинообразным развития аварий по всей системы;
- возможность ресинхронизации и восстановления системы после ликвидации АР

Вышеуказанные условия определяются моделированием переходных режимов при различных возмущениях.

На примерах расчетов динамической устойчивости с подробным анализом аварийных ситуаций в сети КазГПЗ выявлено возникновение АР при различных расчетных возмущениях. по схеме электрической сети КазГПЗ. Пример такого возмущения приведен ниже.

Возмущение 1 Схема сети – нормальная, выдача ГПЭС – 30 МВт, отключение трансформатора 110/6кВ на ПС-110 кВ «ГПЗ» с 3-х фазным КЗ длительностью 0,2 с.

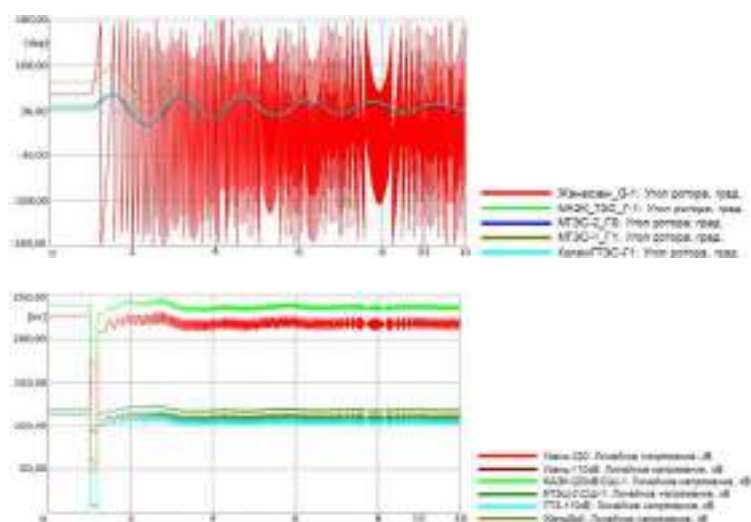


Рис. 1. Угол ротора генераторов на контролируемых ЭС, град (слева); напряжение в контролируемых узлах 110-220кВ, кВ (справа) при возмущении 1.

Анализ результатов расчетов динамической устойчивости подтверждает нарушение динамической устойчивости при некоторых возмущениях в системе электрически близких к ГПЭС, и в некоторых случаях возникновение АР в нормальных и ремонтных режимах.

Как показывают переходные процессы выпадение из синхронизма генераторов фиксируются на первой секунде после КЗ. Это обусловлено малой инерционностью и «легкостью» генераторов ГПЭС., что и приводит к быстрому провороту ротора генератора относительно системы при больших провалах напряжения в сети (рис.1).

Вследствие быстрого выхода из синхронизма генераторов по причине их «легкости», произойдет их отключение технологическими защитами, что понесет за собой серьезные экономические убытки. Для предотвращения такой ситуации предлагаемая система будет выдавать управляющие воздействия на деление сети исходя из схемно-режимных параметров.

Однако при возникновении АР, в сети 6-110 кВ не наблюдаются явные характерные признаки АР с глубоким снижением напряжения и расхождениями взаимных узлов между векторами напряжения, что затрудняет выявление явного места установки устройств АЛАР

Место установки и настройка устройств ликвидации АР во многих случаях определяются режимом выдачи мощности ГПЭС. При отделении

сети по условиям АР в точках критического снижения напряжения возникают трудности в работе двигательной нагрузки и обеспечения условий запуска двигателей от генераторов малой мощности, ресинхронизации и устойчивости по напряжению в узлах отделившихся частей.

В связи с отмеченными особенностями характера асинхронного режима, которые усложняют настройку делительной автоматики, управляющие воздействия на деление сети от системы необходимо вводить раньше наступления асинхронного хода и вывода работы ГПЭС в островной режим со сбалансированной нагрузкой, исходя из режима работы ГПЭС. Для этого рассмотрены три возможных варианта деления системы. Описание вариантов деления сети при контроле режима ГПНС и перетоков по связи с системой приведены на Рис. 2 и в Таблице 4.

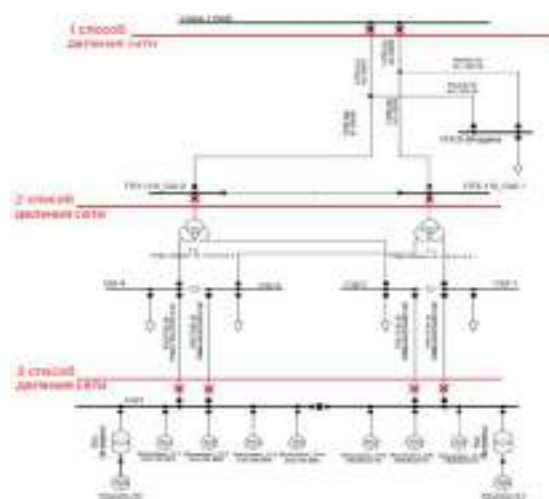


Рис. 2. Точки отделения, рассматриваемого энергоузла на изолированный режим работы

Таблица 4

Варианты деления сети

№	Точки деления	Условие контроля перетока по линиям	Прогноз баланса мощности в остром режиме
1	по сети 110 кВ	1 Переток по ВЛ-110кВ в сторону ПС Узень, либо быть равным нулю, 2- Переток по трансформаторам КазГПЗ шинам ВН трансформатора	Генерация ГПЭС покрывает нагрузку КазГПЗ и УПСВ Устойчивая работа ГПЭС в островном режиме
2	отключение Т-110/6кВ на	1Переток в сторону ПС «КазГПЗ», 2 Переток по трансформаторам КазГПЗ направлен к ВН трансформатора	Нагрузка УПСВ «Впадина» останется за системой, а нагрузка «КазГПЗ» покрывается за счет генерации ГПЭС «Жанаозен»
3	отключение четырех КЛ 6 кВ «ГПЭС-КазГПЗ»	1 контроль собственных нужд станции 2 переток по трансформаторам ПС «КазГПЗ» будет направлен в сторону НН	Сохранение нагрузки собственных нужд станции

Реализация указанных алгоритмов ликвидации АР путем деления сети по различным вариантам возможна при контроле текущего режима в

сети, что не обеспечивается существующими принципами АЛАР и ДС. Адаптивность действия ПА достигается обеспечением наблюдаемости сети в реальном времени, созданием системы мониторинга показателей режимной надежности сети.

3 Показатели режимной надежности электрических сетей

По определению теории надежности Режимная надежность — это функциональная надежность ЭЭС или её способность выдерживать возмущения в ЭЭС. В соответствии с этим, данное свойство оценивается как свойство устойчивости ЭС.

В этом смысле РН сети определяются показателями, характеризующими нахождение системы в области статической и динамической устойчивости сети.

В то же время надежное функционирование режима сети или РН определяется и другими качественными и количественными показателями режима: по отклонениям и колебаниям напряжения и частоты, величиной технических потерь. Эти показатели образуют вектор режимной надежности в пространстве основных и наблюдаемых параметров режима сети. Для количественной оценки данного вектора РН выполняются расчеты нормативных запасов РН, которые определяют количественные показатели запаса РН. Количественные показатели РН нормируются в виде запасов РН от предельных значений параметров.

При этом РН понимается как функциональная надежность работы сети, которая достигается путем контроля нахождения режима в пространстве показателей запасов устойчивости и качества электроэнергии.

Для оценки нормируемых запасов необходимо выполнение в реальном времени расчетов предельных или пороговых значений параметров режима

Для показателей РН используются расчетные величины по отклонению фактических параметров от нормированных значений и аналитические на базе критериев устойчивости в качестве показателей РН (таблица 3)

Таблица 3

Сводная таблица показателей РН

Показатели	Формула	Условие
Запас устойчивости по напряжению в ПА режиме, K_u	$(U - U_{кр})/U$	>0
Запас устойчивости по перетоку мощности, K_p	$(P_{пр} - P - \Delta P)/P$	$0,2$
Критерий устойчивости Якобиана	J	>0
Динамическая характеристика изменения Реактивной мощности от напряжения	dQ/dU	<0
Динамическая характеристика изменения ЭДС от напряжения	dE/dU	15%
Показатели динамической устойчивости по Ляпунову	$V_s \leq V_{sfi}$	0

Для расчетов режимов и устойчивости электрических систем обычно используют статические характеристики нагрузки, под которыми понимают зависимости активной и реактивной мощностей нагрузки от напряжения и частоты питающей сети:

$$P_H = F_a(U, f); Q_H = F_p(U, f). \quad (1)$$

где P_H, Q_H —активная и реактивная мощности в узлах нагрузки

Для электрической сети НГК статическая устойчивость узла нагрузки определяется, прежде всего, свойствами двигательной нагрузки, то есть свойствами синхронных и асинхронных двигателей, так как именно их работа может быть нарушена в результате возмущений нормального режима. Статические характеристики узла нагрузки можно получить расчетным или экспериментальным путем. Трудность определения характеристик расчетным путем состоит в получении достоверных исходных данных.

4 Структура и задачи системы мониторинга Режимной надежности электрических сетей НГК

Обеспечение наблюдаемости параметров режима в контролируемых участках сети НГК предлагается осуществить с использованием устройств СВМ (PMU - Phasor measurement unit). Это обусловлено тем, что положительный мировой опыт использования СВМ с GPS показал преимущества глобальной измерительной системы в электроэнергетике, которые кардинально меняют технологии диспетчеризации и управления режимами ЭЭС.

В Казахстане по Государственной программе «Цифровой Казахстан» на современной информационной платформе синхронизированных векторных измерений выполнен проект по внедрению системы мониторинга (WAMS/WACS) в Казахстанской компании по управлению электрическими сетями «KEGOC», в котором принимали участие сотрудники Алматинского Университета Энергетики и Связи (АУЭС), при решении следующих групп задач:

Накопленный опыт по данному проекту показал, целесообразность применения технологий системы синхронизированных векторных измерений на нефтегазовых комплексах, что вызвало интерес отдельных нефтегазовых компаний, для которых мы начали выполнять работу «Интеллектуальная система контроля и прогнозирования режимной надежности электрических сетей нефтегазовых комплексов, включающих автономные системы с ВИЭ».

Данная работа предполагает поэтапное решение задач диспетчеризации и адаптивного управления режимом ЭС НГК с учетом особенности ее функционирования. Это касается обеспечения режимной надежности электроснабжения потребителей НГК, для которых наиболее

актуальны вопросы опережающего выявления условий ухудшения устойчивости нагрузки сети.

На начальном этапе создания Система мониторинга режимной надежности (СКРН) в ЭС НГК представляет сложный комплекс объединённых самостоятельных устройств, имеющий следующие основные части, указанные на рисунке 3.

- Измерительная часть, размещенная на локальном уровне, на контролируемых точках подключения крупных узлов потребителей электрической сети, на питающих ПС электрической сети, на генерирующих источниках;

- Высокоскоростные каналы передачи данных, осуществляющие прием-передачу информации от локальной измерительной части на центр обработки данных;

- Сервера по сбору и обработки данных, который представляет ядро системы, реализованной в виде программно-технического устройства (PDC - Phasor Data Concentrator).

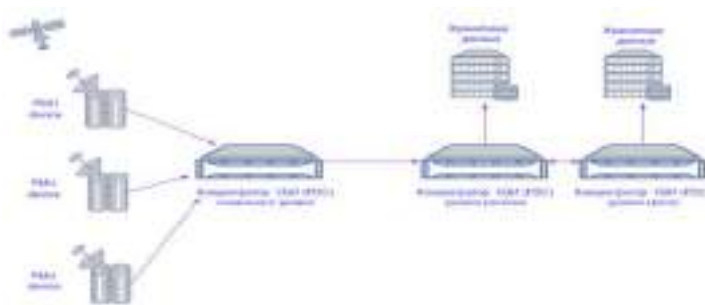


Рис. 3. Типовая архитектура СВИ (надо перерисовать)

Заключение

1 Особенности работы ЭС НГК создают проблемы обеспечения режимной надежности, усложняющих задачи диспетчеризации и управления режимами сети. Традиционные мероприятия повышения надежности электрических сетей НГК, связанные с резервированием элементов сети и генерирующих источников приводят к удорожанию схемы электроснабжения потребителей и не обеспечивают требуемую надежность при управлении по существующим программным принципам планирования режимов. Более привлекательны пути повышения режимной надежности электрических сетей НГК на основе совершенствования технологии диспетчеризации и адаптивного управления режимами ЭС с использованием принципов адаптивного управления

2 Кардинальные изменения технологии управления режима связаны с переходом на принципы адаптивного управления с выполнением расчетов режимов и настройку режимной автоматики в контур управления. Реализация адаптивного управления достигается созданием системы

мониторинга параметров режима и обеспечением наблюдаемости сети в нормальных и аварийных режимах.

3 Мониторинг режимов работы ЭС НГК предполагает формирование показателей РН, которые отражают устойчивость нагрузки с нормируемыми запасами устойчивости и качества электроэнергии. При этом РН понимается как функциональная надежность работы сети, которая определяется путем контроля нахождения режима в пространстве показателей запасов устойчивости и качества электроэнергии. Для оценки нормируемых запасов необходимо выполнение в реальном времени расчетов предельных или пороговых значений параметров режима. Для показателей РН используются расчетные величины по отклонению фактических параметров режима от нормированных значений и аналитические на базе критериев статической и динамической устойчивости.

4 Создание системы мониторинга РН (СМРН) с целью повышения режимной надежности и управляемости ЭС НГК предлагается на базе создание цифровых систем с программно-аппаратным комплексом и современных информационных систем, обеспечивающих достаточную наблюдаемость объекта в реальном времени (WAMS, SCADA). Архитектура и состав СМРН на начальном этапе выполняется по типовой структуре.

ИСТОЧНИКИ

- [1]. Баринов В.А., Совалов С.А. Режимы энергосистем: Методы анализа и управления. - М.: Энергоатомиздат, 1990;
- [2]. P.Kundur. "Power System Stability and Control" //McGraw-Hill, 1994;
- [3]. Тохтибакиев К.К. Адаптивное управление режимами электроэнергетических систем. ТОО «Издательство LEM», Алматы, 2017;
- [4]. K. Tokhitibakiev, A. Saukhimov. Capacity control of transport lines of Kazakhstan national electric grid in real time using synchronized phasor data measurements// Technical Electrodynamics – Kiev, №4, 2015.
- [5]. А.Т. Бектимиров, А.М. Гунин, А.А. Саухимов, К.К. Тохтибакиев, Е.В. Дидоренко, Б.Б. Мукатов. Контроль и прогнозирование запаса статической устойчивости ээс в составе функционала режимной автоматики WACS. Сборник материалов XI Международной научно-технической конференции «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование» – Алматы, НАО «АУЭС», 2020;
- [6]. A.R. Sobbouhi and A. Vahedi, "Transient stability prediction of power system: A review on methods classification and considerations", Electr. Power Syst. Res., vol. 190, Jan. 2021.
- [7]. Илюшин П. В. Особенности возникновения и протекания аварийных режимов в распределительных сетях с распределенной

генерацией / П. В. Илюшин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 3-14.

УДК 331.452

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА ONI В ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАЩИТ ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ В ОПАСНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЗОНЫ

К.В. Николаев, В.А. Гаврилов
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
e-mail: mr.nikolaev.2000@mail.ru,

***Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы обеспечения безопасности работников опасных производственных зон. Рассмотрены недостатки организационных мер защиты и использования индивидуальных средств защиты. Изложены преимущества коллективных средств защиты, которые перекрывают недостатки организационных мер защиты и СИЗ. Ввиду развития электротехники предложено к рассмотрению использование программируемых логических контроллеров, на примере ПЛК ONI, для проектирования технологических защит от проникновения в опасные производственные зоны, например, высоковольтные зоны стационарных испытательных установок. Развитие логических аппаратов и аппаратов коммутации позволяют реализовывать новые исполнения технологических защит опасных производственных зон. Приведены преимущества перед защитой, работающей на классических аппаратах.*

***Ключевые слова:** программируемый логический контроллер, технологическая защита, высоковольтная зона, стационарные испытательные установки, оптимизация.*

USING A PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER ONI IN THE DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROTECTION AGAINST PENETRATION INTO DANGEROUS PRODUCTION AREAS

K.V. Nikolaev, V.A. Gavrilov
Kazan State Power Engineering University
e-mail: mr.nikolaev.2000@mail.ru,

***Annotation.** The article discusses the issues of ensuring the safety of workers in hazardous production areas. The disadvantages of organizational protection measures and the use of personal protective equipment are considered. The advantages of collective remedies that cover the disadvantages of organizational protection measures and PPE are outlined. Due to the development of electrical engineering, it is proposed to consider the use of programmable logic controllers, for example, ONI PLC, for the design of technological protections against penetration into hazardous production areas, for example, high-voltage zones of stationary test installations. The development of logic devices and switching devices make it possible to implement new versions of technological protections for dangerous production areas. Advantages over protection working on classical devices are given.*

Keywords: programmable logic controller, technological protection, high-voltage zone, stationary test facilities, optimization.

Применяются общенаучные методы исследования

Введение

В области промышленности рабочие часто сталкиваются с рисками получения вреда жизни и здоровью впоследствии механического, термического, электрического и иных воздействий на организм. Сфера охраны труда и техники безопасности предусматривает различные способы сохранения жизни и здоровья рабочих:

- организационные мероприятия (ознакомление с инструкциями и требованиями по технике безопасности как общими, так и целевыми);
- обеспечение средствами индивидуальной защиты.

Приведённые выше меры не исключают «человеческий фактор».

На практике зафиксированы фиктивного ознакомления с инструкциями по безопасности, также встречаются случаи намеренного нарушения требований инструкций по безопасности для достижения какой-либо выгоды.

Использование средств индивидуальной защиты требуют с собой правильного обращения. Встречаются случаи, когда правила использования средств индивидуальной защиты нарушаются и это влечёт за собой нанесение вреда жизни и здоровью человека [1].

Для повышения уровня безопасности, где возможно, человека выводят из опасных производственных зон и устанавливают физические преграды (перегородки из металлической сетки или стеклянные перегородки). Но и они не всегда оберегают людей от несчастных случаев, бывает, что работники входят в опасные производственные зоны не выключив устройства, которые могут оказать травмирующее воздействие. Для исключения таких случаев устанавливаются технологические защиты, которые производят автоматическое отключение опасного устройства и включает предупредительную звуковую и световую сигнализацию, оповещающую о попытке проникновения в опасную производственную зону.

Основная часть

В данной работе рассмотрим проектирование технологической защиты высоковольтной зоны учебно-исследовательской лаборатории по испытаниям и диагностике кабельных линий (УИЛ ИДКЛ) в Казанском государственном энергетическом университете. В высоковольтной зоне установлены две ячейки типа КСО-366 УЗ с выводами учебных кабельных линий. В лаборатории проводится обучение по испытаниям и диагностике кабельных линий 10 кВ, т.е. в рамках лабораторных работ на кабельные линии подаётся высокое напряжение, которое и является опасным производственным фактором. Напряжение на кабельные линии подаётся диагностической установкой BAUR frida TD, которая способна

генерировать напряжение до 24 кВ_{дейст} (до 34 кВ_{пик}) [2]. Высоковольтная зона ограждена стеклянной перегородкой. (рис. 1). Согласно требованиям техники безопасности для ЭТЛ [3] и, ввиду того что в лаборатории могут находиться люди, которые только получают квалификацию, высоковольтные зоны лаборатории необходимо оснастить технологической защитой.



Рис. 1. Высоковольтная зона учебно-исследовательской лаборатории по испытаниям и диагностике кабельных линий

Особенностью спроектированной защиты является то, что одним из элементов защиты является программируемый логический контроллер ONI, который выступает альтернативой комплекту электромеханических устройств в классических исполнениях технологических защит. Принципиальная схема спроектированной технологической защиты, построенной на основе программируемого логического контроллера ONI на рис. 2.

Технологическая защита оберегает человека за счёт того, что реализует сценарии, представленные в таблице 1. Такие сценарии исключают «человеческий фактор», т.к. при проникновении в высоковольтную зону питание с установки будет снято при любом из сценариев.

В данной работе выбрана модель PLR-S-CPU0804R-AC-NN (рис. 3). Эта модель является самой простой из линейки ONI. Выбранный ПЛК имеет питание от сети переменного тока 230V, что позволяет не использовать блок питания [4]. Четыре встроенных механических реле на ток 10 ампер, позволяют питать маломощные испытательные или диагностические установки напрямую, но если потребление испытательной или диагностической установки по току более 10 ампер, то нужно использовать контактор на большие токи.

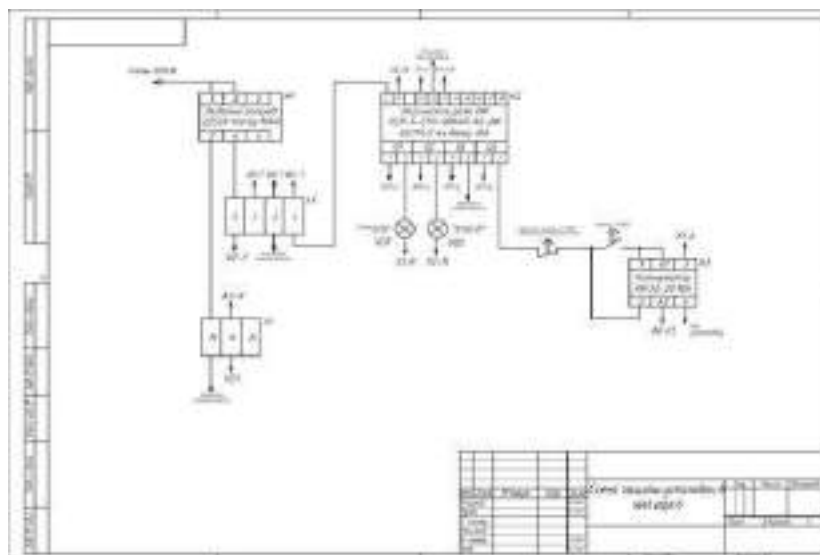


Рис. 2. Принципиальная схема технологической защиты программируемого логического контроллера ONI

Таблица 1

Сценарии работы технологической защиты

№ п/п	Условия работы технологической защиты	Действия технологической защиты
1.	– Останов технологической защиты (состояние готовности)	– Отсутствие питания высоковольтной установки; – Зелёный световой сигнал; – Отсутствие звукового сигнала
2.	– Пуск технологической защиты; – Дверь закрыта (замкнут концевой выключатель)	– Включение питания высоковольтной установки; – Красный световой сигнал; – Кратковременный звуковой сигнал
3.	– Пуск технологической защиты; – Дверь открыта (замкнут концевой выключатель)	– Отключение питания высоковольтной установки; – Красный мигающий световой сигнал; – Непрерывный звуковой сигнал



Рис. 3. Программируемый логический контроллер PLR-S-CPU0804R–AC-NN

Логические функции, которые выполняет ПЛК, такие как «И» или «ИЛИ» в классическом исполнении выполняются контакторами. Каждая пара клемм контакторов занимает одну ячейку на DIN-рейке в щите. А для реализации вышеописанного сценария необходимо более 4 таких ячеек. В то время как ONI занимает только 4 ячейки на DIN-рейке.

Программируемый логический контроллер ONI запрограммирован методом FBD – это удобный и наглядный метод программирования, где алгоритм работы устройства представляется с помощью связанных определённым порядком простейшими логическими функциями. На рисунке 4 изображен алгоритм, заложенный в контроллер в рамках нашей работы.

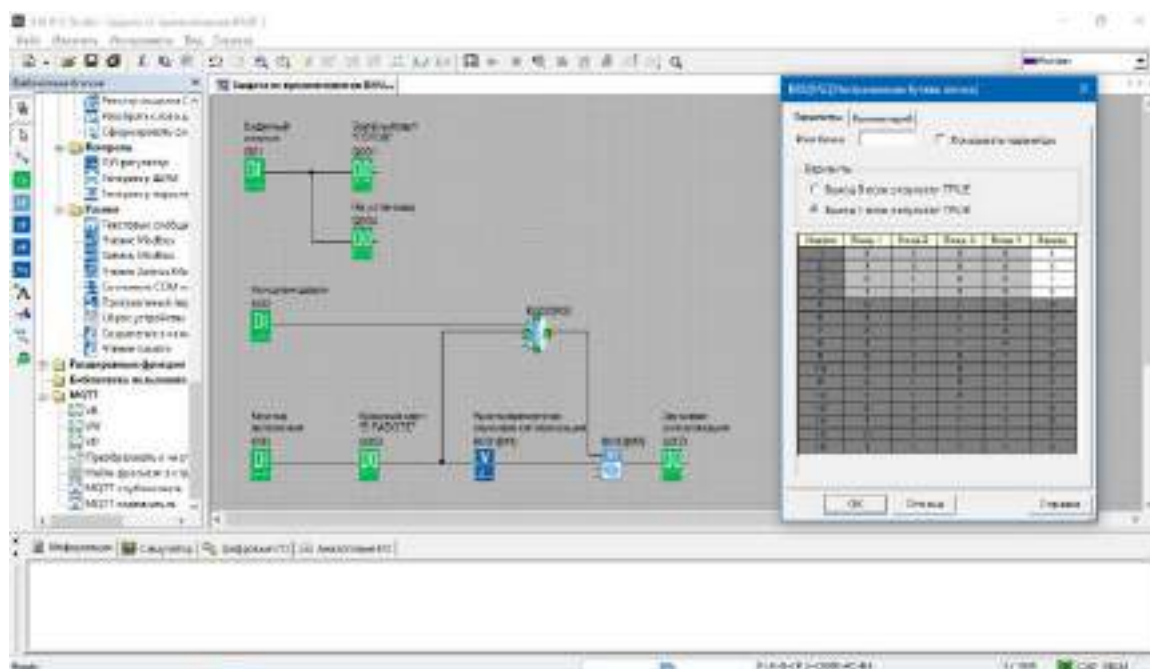


Рис. 4. Алгоритм работы программируемого логического контроллера ONI

Заключение

По результату проведённых работ мы получаем такие показатели безопасности, которые удовлетворяют требованиям нормативно-технической документации. Использование ПЛК позволяет снизить стоимость технологической защиты, за счёт того, что стоимость ПЛК ONI ниже суммарной стоимости устройств, которые он замещает. Также использование ПЛК позволяет уменьшить габаритные размеры щита, в котором находятся все аппараты технологической защиты.

Ещё одним преимуществом является гибкость спроектированной защиты, если потребуется внести изменения в алгоритм работы этой технологической защиты, то при использовании программируемого логического контроллера нам необходимо только изменить код., в случае классического исполнения защиты, необходимо будет приобретать дополнительные логические устройства.

ИСТОЧНИКИ

- [1] Д.А. Воденников, Применение средств индивидуальной защиты в электросетевом комплексе / Д.А. Воденников, Ю.В. Жилкина. Электрические станции, 2020 https://cigre.ru/research_commitets/ik_rus/b3_rus/materials/library/СИЗ%20статья%20Жилкина.pdf
- [2] Прибор для высоковольтных испытаний и диагностики BAUR frida TD. Руководство эксплуатации.
- [3] Межотраслевые правила по охране труда при работе в электроустановке. Раздел XI. Средства защиты работающих в электроустановках. Глава 75. Требования к электролабораториям и стендам для испытания средств защиты.
- [4] Программируемые логические контроллеры ONI PLR. Системное руководство. https://lk.iek.ru/partners/infobaza/files/docs/passp_re/a6b6b4b1b9e4283523b826e633d82d31.pdf
- [5] Коршунов Е. А. Автоматизация процессов обслуживания энергетического оборудования с помощью специализированных программных решений / Е. А. Коршунов, А. А. Капанский, К. Е. Коршунов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 65-75.
- [6] Виноградов А. В. Анализ доли потребителей разной мощности в структуре технологических присоединений в электросетевых компаниях / А. В. Виноградов, М. В. Бородин, А. А. Лансберг, Н. В. Махиянова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 86-95.
- [7] Бирюлин В. И. Исследование проблем качества электроэнергии в сетях напряжением 0,4 КВ / В. И. Бирюлин, Д. В. Куделина, И. В. Брежнев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 109-121.

УДК 631.371:621.311

ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Д.С.Жүнісбеков, Е.К.Умбеткулов

НАО «Алматинский университет энергетики и связи им.Гумарбека Даукеева»

e-mail: d.zhunisbekov@aukes.kz, e.umbetkulov@aukes.kz

***Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы повышения надежности и устойчивости функционирования электрических сетей в условиях воздействия природно-климатических факторов. Проведена оценка влияния геомагнитно-индуцированных токов на устойчивость процессов, происходящих в электрических сетях во время геомагнитной активности. Объектом исследования выбрана трансформаторная подстанция ПС-147А и воздушная линия электропередачи ВЛ110*

кВ на участке Л-169А г.Алматы. Составлена математическая модель участка сети и проведен анализ статистической устойчивости участка электрической сети. Установлено, что корреляционный анализ частоты срабатывания релейной защиты рассматриваемой электрической сети и времени возникновения геомагнитных возмущений в отдельных случаях совпадают. Для более детального изучения наличия связи между аварийными отключениями электрической и геомагнитной бурей необходимо более тщательное изучение механизма индукции тока на сердечниках трансформатора.

Ключевые слова: электрические сети, трансформатор, линии электропередачи, аварийные отключения, геомагнитные бури, сравнительный анализ, оценочный расчет.

INFLUENCE OF GEOMAGNETIC-INDUCED CURRENTS ON THE STABILITY OF ELECTRICAL NETWORKS

D.S.Zhunisbekov, E.K.Umbetkulov

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev

e-mail: d.zhunisbekov@aes.kz, e.umbetkulov@aes.kz

Annotation. The article discusses the issues of increasing the reliability and stability of the functioning of electrical networks under the influence of natural and climatic factors. The influence of geomagnetic-induced currents on the stability of processes occurring in electrical networks during geomagnetic activity has been evaluated. The object of the study was the transformer substation PS-147A and the overhead transmission line of 110 kV on the L-169A section of Almaty. A mathematical model of the network section was compiled and an analysis of the statistical stability of the electrical network section was carried out. It was found that the correlation analysis of the frequency of operation of the relay protection of the considered electrical network and the time of occurrence of geomagnetic disturbances in some cases coincide. For a more detailed study of the connection between emergency shutdowns of electrical and geomagnetic storms, a more thorough study of the mechanism of current induction on transformer cores is necessary.

Key words: electrical networks, transformer, power lines, emergency shutdowns, geomagnetic storms, comparative analysis, estimated calculation.

Введение

Повышение надежности и бесперебойности функционирования электрических сетей является достаточно сложной задачей, на которую влияют множество внутренних и внешних (природно-климатических) факторов. И если значительная часть этих факторов более или менее исследованы и разработаны различные способы и средства предотвращения аварийных ситуаций, все еще имеются малоисследованные причины, вызывающие отключения систем релейной защиты и автоматики в электрических сетях.

В существующих литературных источниках недостаточное внимание уделено исследованию такого природного фактора, как влияние геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ) на устойчивость процессов, происходящих в электрических сетях во время геомагнитной активности. Данная проблематика на сегодняшний день актуальна, особенно в

высокоширотных областях. Этому свидетельством является ряд программ, нацеленные на решение вопросов, связанных с исследованием влияния ГИТ на различные техногенные системы [1].

Если первоначально приводились заключения, что к возмущениям геомагнитного поля более чувствительны системы, как электрические, так любые, технологические, вытянутые в широтном направлении, то в дальнейшем появились работы [2], показывающие, что технологические системы, вытянутые в долготном направлении, также подвергаются влиянию космической погоды.

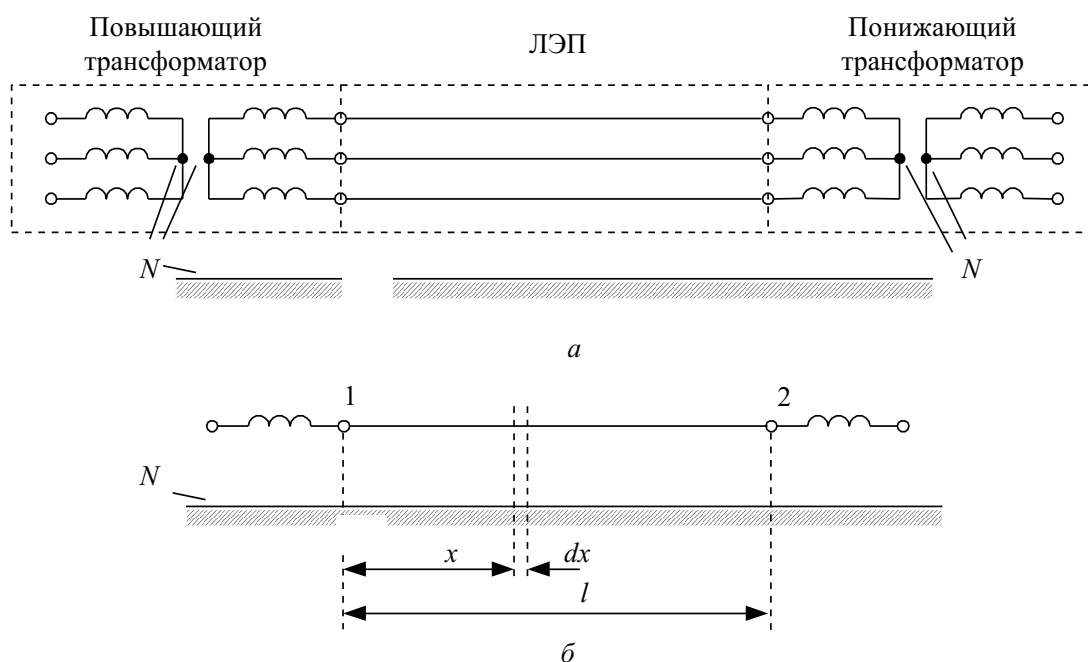
Вместе с тем, на сегодняшний день, когда к сети энергоснабжения все больше и больше подключается потребитель с нагрузкой, имеющей нелинейный характер сопротивления (энергосберегающие лампы, электронные устройства), для Казахстана тем более актуализируется вопрос устойчивости системы, подвергающейся влиянию высоких гармоник.

Основная часть

Проведем анализ воздействия ГИТ на участок линии электропередачи от питающего трансформатора до потребителя.

Для начала составим математическую модель для анализа статистической устойчивости рассматриваемой электрической сети.

Конструктивно воздушные линии электропередачи (ЛЭП) представляют собой систему, состоящую из проводов и опор. Как правило ЛЭП имеют три фазы, которые присоединяются к другим трехфазным элементам сети согласно рис. 1.



(а) ЛЭП, присоединенный к повышающему и понижающему трансформаторам
(б) - однолинейное изображение

Рис. 1. Трехфазная линия электропередачи

Составим уравнения Кирхгофа для электрической цепи на выделенном участке линии:

$$\begin{aligned} (-u) + \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx \right) + \left(r_0 dx i + L_0 dx \frac{\partial i}{\partial t} \right) &= 0, \\ (-i) + \left(i + \frac{\partial i}{\partial x} dx \right) + \left(g_0 dx u + C_0 dx \frac{\partial u}{\partial t} \right) &= 0 \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} -\frac{\partial u}{\partial x} &= r_0 i + L_0 \frac{\partial i}{\partial t}, \\ -\frac{\partial i}{\partial x} &= g_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial t}. \end{aligned}$$

Здесь в C_0 и L_0 учтены влияния соседних фаз линии. u – напряжение на фазе, i – ток в контуре, dx – элементарный отрезок на линии, du – изменение напряжения на элементарном отрезке линии, r_0 – активное сопротивление обмотки трансформатора, g_0 – проводимость.

В последние годы в литературных источниках приводятся данные, указывающие о влиянии ГИТ на работу трансформаторов [3] за счет намагничивания сердечника трансформатора путем проникновения ГИТ через нейтраль.

Для моделирования потерь в стали в схему замещения трансформатора вводят активную проводимость G_μ , а для моделирования эффекта намагничивания сердечника вводят реактивную проводимость B_μ .

Если взять за основу математической модели «идеальный» трансформатор с коэффициентом трансформации $n = \frac{w_1}{w_2}$, для которого относительная магнитная проницаемость равна бесконечности и ток намагничивания равен нулю, то добавлением к нему элементов, учитывающих основные паразитные эффекты, можно получить полную схему замещения трансформатора (рис. 2).

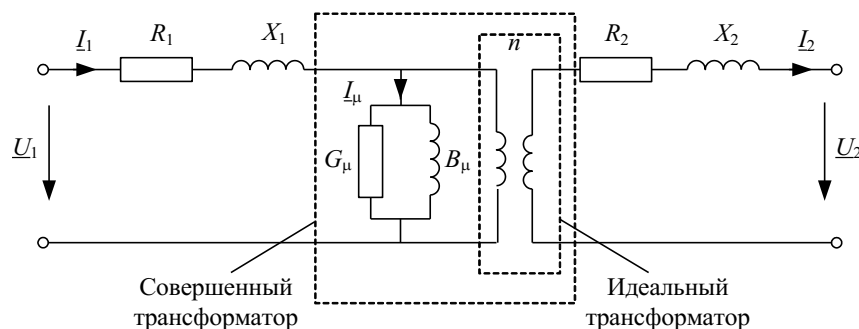


Рис. 2. Полная Т-образная схема замещения трансформатора

Потери энергии в обмотках трансформатора при протекании по ним токов учитываются активными сопротивлениями R_1 и R_2 , последовательно с ними включены индуктивности рассеяния, которые учитывают эффект запасания энергии и наведения напряжения в обмотках от потоков рассеяния. Этим индуктивностям соответствуют индуктивные сопротивления обмоток X_1 и X_2 . Ток намагничивания обуславливает намагничивающую силу, которая создает поток взаимной индукции. Величина тока намагничивания I_μ пропорциональна напряжению первичной обмотки. Параллельно индуктивной проводимости намагничивания B_μ включают активную проводимость G_μ , учитывающую потери в сердечнике.

Предварительный анализ указывает на то, что увеличение частоты производит к ухудшению диэлектрических свойств за счет нагревания, что создает положительную обратную связь и в дальнейшем приведет к пробое.

Для ретроспективного корреляционного анализа была выбрана городская воздушная линия электропередачи ВЛ110кВ на участке Л-169А и трансформаторная подстанция ПС-147А, г. Алматы, Казахстан. ЛЭП введена в эксплуатацию в 2016 г., в 2018 году проводились модернизационные работы. Протяженность этой ЛЭП составляет 4,6 км. Линейная схема приведена рис. 3.

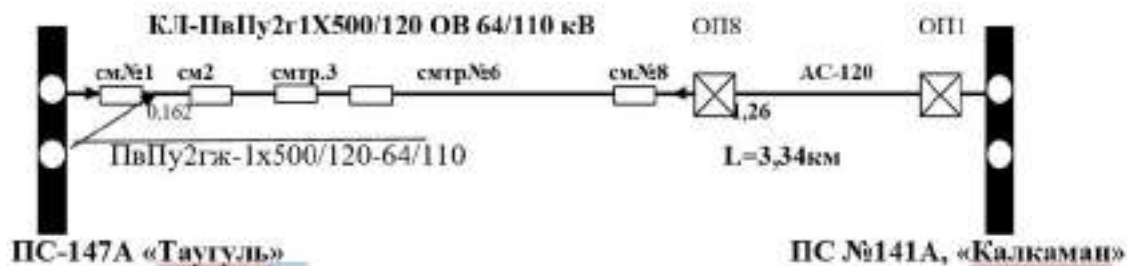


Рис. 3. – Линейная схема воздушной линии электропередачи Л-169А

Географические координаты подстанции ПС-147А «Таугуль» [43°12'31"N; 76°49'54"E] и подстанции ПС №141А, «Калкаман» [51°57'24"N; 76°01'32"E]. Аварийный обход линии осуществляется двумя бригадами (на встречу друг другу). 1 бригада – от ПС №147А в сторону ПС №141А, до встречи с бригадой 2. 2 бригада – от ПС №141А в сторону ПС №147А, до встречи с бригадой 1. Во время обхода между бригадами связь поддерживается по рации или сотовой связи. По окончании обхода линии результат докладывается ЦДУ и руководству Управления ЛЭП. Изучен журнал аварий на ЛЭП с 2016 года по 2021 год. За указанный период было обнаружено 14 случаев аварийных отключений, из которых 2 отключения были обусловлены физическими повреждениями вследствие человеческого вмешательства. По остальным 12 аварийным отключениям был проведен корреляционный анализ с геофизической обстановкой.

В целом за период 2016-2021 годы нами было рассмотрено около 120 геофизических событий, во время которых наблюдалось возмущение геомагнитного поля. Однако прямой корреляции с аварийными отключениями выявлено не было.

Однако, вызывает интерес аварийное отключение 19.10.2016. За пятеро суток до аварийного отключения наблюдалось геомагнитное возмущение, параметры геомагнитной бури приведены в таблице 1 и на рис. 4.

Таблица 1

Показатели геомагнитной бури 2016.10.13 – 2016.10.14

День	Время	DOY	Kp	Ap
2016-10-13	6:00:00	287	4+o	32
2016-10-13	9:00:00	287	5-	39
2016-10-13	12:00:00	287	5-	39
2016-10-13	15:00:00	287	6+	94
2016-10-13	18:00:00	287	6+	94
2016-10-13	21:00:00	287	5o	48
2016-10-14	00:00:00	288	6-	67
2016-10-14	3:00:00	288	5-	39
2016-10-14	6:00:00	288	5-	39
2016-10-14	9:00:00	288	3o	15

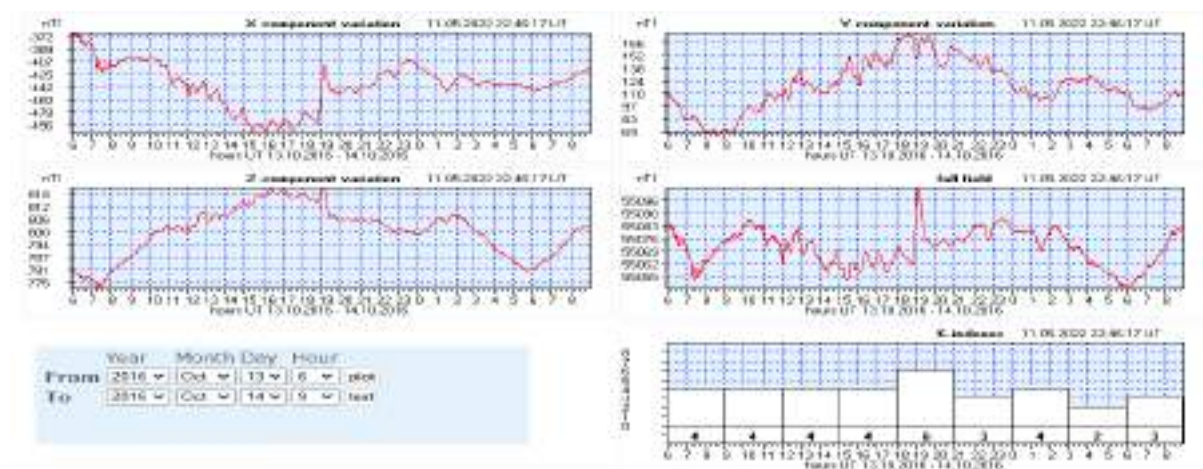


Рис. 4 . Изменения значения полного вектора и компонента геомагнитного поля Земли магнитометрами обсерватории «Алма-Ата» ДТОО «Институт ионосферы» 2016.10.13 – 2016.10.14

По данным измерений Y-компоненты геомагнитного поля были произведены оценки ГИТ, результаты которых приведены на рисунке 5.

Для оценочных расчетов берем однослойную модель, в основе которой лежат закон Фарадея, Ампера и Ома:

$$\begin{aligned}\nabla \times E &= -\frac{\partial B}{\partial T} \\ \nabla \times B &= \mu j \\ j &= \sigma E\end{aligned}\quad (1)$$

где σ - электропроводность, j – плотность тока. Из этих уравнений для x компоненты напряженности электрического поля можем записать:

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 B_y}{\partial Z^2} - \mu\sigma \frac{\partial B_y}{\partial T} &= 0 \\ \frac{\partial B_y}{\partial Z} + \mu\sigma E_x &= 0\end{aligned}\quad (2)$$

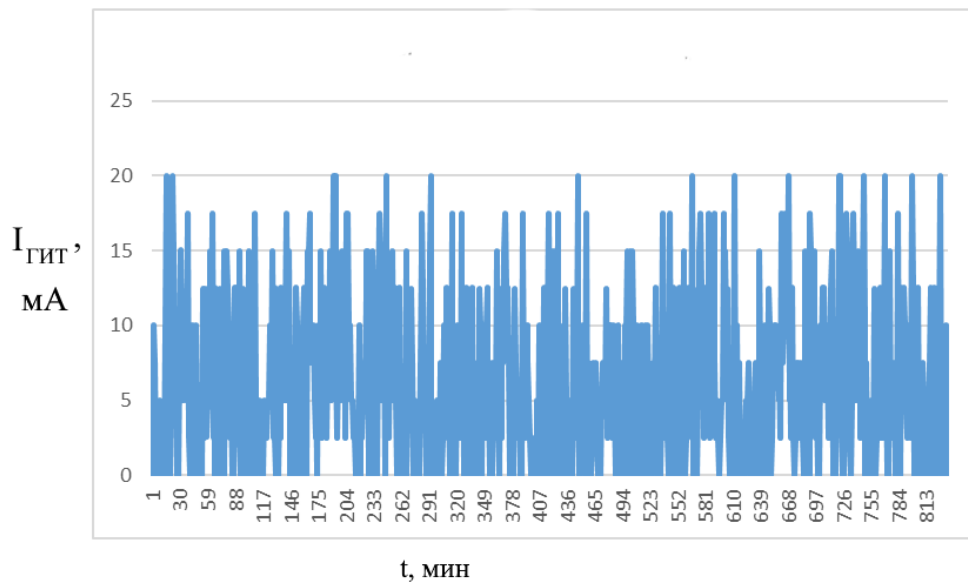


Рис. 5. Оценочные расчеты ГИТ, индуцированных во время геомагнитной бури 2016.10.13 – 2016.10.14

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 B_y}{\partial Z^2} - \mu\sigma \frac{\partial B_y}{\partial T} &= 0 \\ \frac{\partial B_y}{\partial Z} + \mu\sigma E_x &= 0\end{aligned}\quad (2)$$

Оценочные расчеты показывают, что амплитуда индуцированного тока достигала 20 мА, тогда как в целом за рассмотренный период в целом наблюдались максимальные значения тока в пределах 0,5 мА во время сильных магнитных бурь, 0,15 мА во время средних магнитных бурь, до 0,15 мА во время магнитных бурь с показателем $k_p=5-6$, в интервале 0,07 – 0,13 мА во время суббурь. Есть некоторые интересные моменты, когда во время слабой геомагнитной бури со внезапным началом значения тока доходили до 0,8 мА.

Закключение

Было выявлено, что значение индуцируемого тока влияет не столько от интенсивности геомагнитной индукции, сколько от скорости нарастания значения геомагнитного поля. Эти выводы хорошо согласуются с работой [4]. Для более детального изучения наличия связи между аварийным отключением 19.10.2016 года и геомагнитной бурей 2016.10.13 – 2016.10.14 необходимо более тщательно изучить механизм индукции тока на сердечниках трансформатора. Механизм протекания тока между заземленными нейтралями высоковольтных трансформаторов вследствие наличия поверхностного потенциала между ними был ранее предложен в [5].

ИСТОЧНИКИ

[1] Effects of Geomagnetic Disturbances on the Bulk Power System: 2012 Special Reliability Assessment Interim Report //www.nerc.com, Beland J., Small K. Space Weather Effects on Power Transmission Systems: The Cases of Hydro-Québec and Transpower New Zealand Ltd // NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry. - 2005. - 176. - P. 287-299.

[2] Кобелев А.В., Зыбин А.А. Современные проблемы высших гармоник в городских системах электроснабжения // Вестник ТГТУ. - 2011.- Т. 17, 1. - С. 181-191.

[3] Вахнина В.В., Кретов Д.А. Математическая модель силового трансформатора при воздействии геомагнитных бурь на системы электроснабжения // вектор науки Тольяттинского Государственного Университета. - 2012. - 4 (22). - С. 141-144.

[4] Viljanen A., Nevanlinna, H., Pajunpaa, K., and Pulkkinen, A. Time derivative of the horizontal geomagnetic field as an activity indicator // Annales Geophysicae. - 2001. - Т. 19. - С. 1107-1118.

[5] В.В. Кирик, В.И. Моссаковский. Индукционные токи в протяженных электрических сетях при возмущениях магнитного поля земли// Энергетика: економіка, технології, екологія - №2, 2012. С. 44-48.

УДК 621.391

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПИКОВЫХ ЧАСОВ ГАРАНТИРУЮЩИХ ПОСТАВЩИКОВ, ВХОДЯЩИХ В РЕЕСТР АО «АТС»

С.Р.Саитов, Б.Р.Карачурин, М.В.Сидоров
ФГБОУ ВО КГЭУ «Казанский государственный энергетический университет»
e-mail: caapel@mail.ru

Аннотация. Цена электроэнергии для категории "Прочие потребители" зависит от индивидуального фактического почасового потребления предприятия. Она

включает пять составляющих: тариф электроэнергии на оптовом рынке электроэнергии (ОРЭМ), тариф электрической мощности на ОРЭМ, тариф передачи по сетям, инфраструктурные платежи (АТС, ЦФР, СО ЕЭС), сбытовая надбавка. В зависимости от выбора ценовой категории, стоимость мощности для предприятия может варьироваться от 25 до 40% от конечного тарифа на электрическую энергию. Объем мощности, оплачиваемой предприятием по тарифам, определяется по пиковым часам энергосбытовой компании – поставщика электрической энергии и мощности на розничном рынке (РРЭМ). Плановая разгрузка энергоёмкого электрооборудования в пиковые часы замера мощности на 100 кВт способна принести экономию предприятию в размере 70-80 тыс. руб. в месяц (по тарифам на мощность за 2022 год). Однако подобный способ оптимизации платежей за электрическую энергию имеет существенное ограничение – часы пиковой нагрузки публикуются компаниями спустя месяц (чаще всего во второй половине следующего месяца) после начала отчетного периода. В статье предложена методика прогнозирования часов пиковой нагрузки на год вперед, которая может быть применена для любого региона Российской Федерации в рамках Единой энергетической системы (ЕЭС РФ). Методика основывается на статистической обработке данных о пиковых часах гарантирующих поставщиков опубликованных на сайте АО "АТС" atsenergo.ru.

Ключевые слова: дискретная случайная величина, пиковые часы, плотность вероятности, энергосбыт, гарантирующий поставщик.

PREDICTION OF PEAK HOURS OF GUARANTEE SUPPLIERS INCLUDED IN THE REGISTRY OF ATS JSC

S.R.Saitov, B.R.Karachurin, M.V.Sidorov
Kazan State Power Engineering University
e-mail: caapel@mail.ru

Annotation. The price of electricity for the category "Other consumers" depends on the individual actual hourly consumption of the enterprise. It includes five components: electricity tariff on the wholesale electricity market (WEM), electricity capacity tariff on the WEM, grid transmission tariff, infrastructure payments (ATS, CFR, SO UES), sales markup. Depending on the choice of price category, the cost of capacity for an enterprise can vary from 25 to 40% of the final tariff for electricity. The volume of capacity paid by the enterprise according to tariffs is determined by the peak hours of the energy sales company – the supplier of electricity and capacity in the retail market (REM). Scheduled unloading of energy-intensive electrical equipment during peak hours of power measurement per 100 kW can bring savings to the enterprise in the amount of 70-80 thousand Russian rubles per month (at capacity tariffs for 2022). However, this method of optimizing payments for electricity has a significant limitation – peak hours are published by companies a month later (most often in the second half of the next month) after the start of the reporting period. The article proposes a methodology for predicting peak hours for the year ahead, which can be applied to any region of the Russian Federation within the framework of the Unified Power System (UPS of the Russian Federation). The methodology is based on statistical processing of data on peak hours of guaranteeing suppliers published on the website atsenergo.ru of JSC «ATS».

Key words: discrete random variable, peak hours, probability density, energy supply company.

Применяются статистические методы исследования Введение

Мощность – это готовность генерирующей компании в произвольный момент времени предоставить потребителю требуемый объем электроэнергии. Это второй товар, реализуемый на ОРЭМ. Цена на мощность формируется ежемесячно в разрезе зон свободного перетока мощности (ЗСП) и состоит из нескольких составляющих [1]. Тарифицируемый объем мощности определяется как среднее из часовых объемов потребления в рабочие дни в часы пикового потребления в регионе (один час в день).

Класс потребителей, относящийся к «прочим потребителям» (все юридические лица, за исключением Сетевых компаний [2]) и рассчитывающийся за электрическую энергию и мощность по III-VI ценовым категориям, имеет возможность сэкономить значительные средства, если будет знать наперёд пиковый час своего гарантирующего поставщика. Стоимость мощности в отдельных регионах может достигать до 40% от конечного тарифа [3], поэтому снижение нагрузки в пиковые часы на 10% может привести к снижению платежей на 3%, что весьма существенно. Проблема заключается в том, что пиковые часы публикуются на сайте АО «АТС» по факту, когда информация для потребителя уже не актуальна.

Состояние вопроса

Обзор открытых источников (ресурс elibrary) указывает на недостаточную проработанность данной проблемы.

Авторы публикации [4] в своей работе для прогнозирования часов пиковой нагрузки предлагают два различных метода. Первый, косвенный метод, основан на прогнозировании на месяц вперёд суммарного потребления электроэнергии региона. Второй, прямой метод, основан на непосредственном использовании информации о часах пиковой нагрузки в предыдущие месяцы. Авторы в своём исследовании используют аппарат искусственных нейронных сетей.

Методы, предложенные учеными, хоть и заявляются как прямой и косвенный, в сущности, являются оба косвенными: пиковые часы предыдущих месяцев не могут быть приняты напрямую за основу для прогнозирования пикового часа текущего месяца. Причины – сильная разница в продолжительности светового дня, средней температуры воздуха, объеме выходных и праздничных дней и т.д. В данном случае видится целесообразным брать за основу пиковые часы текущего месяца предыдущих лет (благо данные [5], публикующиеся на сайте АО «АТС» с 2011 года позволяют получить всю необходимую для анализа информацию).

Data-инженеры компании ООО «Энсерсофт» выпустили готовое решение – программу для краткосрочного прогнозирования значений временного ряда часов максимальной пиковой нагрузки на предстоящие сутки с использованием искусственной нейронной сети [6]. Исходными данными для программы выступают: количество используемых для расчёта моделей из набора ансамбля обученных моделей, порядковый номер месяца, день недели, продолжительность светового дня, средняя часовая температура в каждый час дня прогноза. Выходные данные программы: прогнозные значения потребления территориальной электроэнергетической системы для каждого часа дня прогноза.

К сожалению, в открытом доступе отсутствуют всякие данные об оценке точности прогнозирования предлагаемого продукта. Кроме того, видится проблематичным подавать на вход программы среднюю часовую температуру в каждый час дня прогноза – поскольку она, температура, также заранее неизвестна, как и пиковый час гарантирующего поставщика

Авторы же статьи [7] находятся лишь на этапе разработки собственной прогнозной модели.

Материалы и методы

В настоящей работе прогнозирование пиковых часов текущего месяца осуществлялось на основании известных часов того же месяца за предыдущие годы. Источником материала выступил сайт АО «АТС» [5], на котором необходимые часы публикуются в формате *.xls. Содержание одного из таких файлов приведено в таблице 1.

Искомый пиковый час принимает целочисленное значение в диапазоне от 0 до 23, поэтому его можно рассматривать как случайную дискретную величину.

Случайная дискретная величина, как и любое случайное значение, подвержено нормальному распределению [8]. Однако чтобы получить достоверную характеристику такого распределения, во-первых, требуется значительный объем накопленных данных, а во-вторых, возникновение каждого часа в диапазоне от 0 до 23 должно быть равновероятностным независимым событием. Что невозможно, учитывая специфику потребления электроэнергии в течение суток.

Учитывая объем накопленных данных с 2011 по 2022 год, характер распределения пикового часа во временном ряду наилучшим образом описывается законом распределения дискретной случайной величины (таблица 2).

Таблица 1 - Формат данных пиковых часов региона с сайта atsenergo.ru

Участник: АО "Татэнергосбыт"
 Субъект РФ: Республика Татарстан
 Отчетный период: С 01.08.2022 по 31.08.2022
 Код(ы) ГТП: PTATENER

Дата	Час максимального совокупного потребления электроэнергии в субъекте Российской Федерации
1	2
01.08.2022	14
02.08.2022	14
03.08.2022	14
04.08.2022	14
05.08.2022	14
08.08.2022	14
09.08.2022	14
10.08.2022	14
11.08.2022	15
12.08.2022	11
15.08.2022	15
16.08.2022	14
17.08.2022	16
18.08.2022	14
...	...
31.08.2022	15

Таблица 2 - Ряд распределения дискретной случайной величины

Значение	0	1		n
Вероятность $p_i = x_i / X$	0	1		n

События $X = x_i$ ($i = 0, 1, \dots, n = 23$) являются несовместимыми и единственно возможными: они образуют полную систему событий. Поэтому сумма их вероятностей равна единице [9]:

$$p_0 + p_1 + \dots + p_n = \sum_{i=0}^{n=23} p_i = 1 \quad (1)$$

Покажем принцип построения функции распределения пикового часа в ноябрьском интервале на примере гарантирующего поставщика Татарстана – АО «Татэнергосбыт». Для этого данные (таблица 1) полученные с сайта АТС [5] за 11 лет объединяем в сводную таблицу 3.

Таблица 3

**Генеральная совокупность ноябрьских пиковых часов АО
«Татэнергосбыт»**

Выходные		Пиковый час с сайта АТС: https://www.atsenergo.ru/results/market/calcfacthour										факт	план	Прогноз
												т	н	
Сутки		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2021	
1 ноя	18	18	19	-	-	18	18	18	11	-	18	18	True	
2 ноя	18	11	-	-	17	17	18	11	-	18	18	18	True	
3 ноя	11	-	-	-	18	18	10	-	-	11	17	11	False	
4 ноя	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
5 ноя	-	-	19	18	18	-	-	-	10	17	-	-		
6 ноя	-	18	19	18	18	-	-	18	18	17	-	-		
7 ноя	19	11	19	17	-	17	17	10	18	-	-	-		
8 ноя	10	10	18	-	-	17	17	10	11	-	17	10	False	
9 ноя	18	11	-	-	17	17	17	17	-	17	17	17	True	
10 ноя	18	-	-	17	17	18	17	-	-	17	17	17	True	
11 ноя	10	-	10	17	17	17	-	-	17	17	17	17	True	
12 ноя	-	10	10	17	17	-	-	18	17	17	17	17	True	
13 ноя	-	10	18	17	17	-	17	10	17	17	-	-		
14 ноя	18	18	18	17	-	18	17	10	11	-	-	-		
15 ноя	11	18	18	-	-	17	17	17	18	-	17	17	True	
16 ноя	18	18	-	-	17	17	17	17	-	10	17	17	True	
17 ноя	18	-	-	17	17	17	18	-	-	10	17	17	True	
18 ноя	18	-	18	17	17	17	-	-	16	10	17	17	True	
19 ноя	-	18	9	17	17	-	-	17	18	17	17	17	True	
20 ноя	-	10	18	17	17	-	11	17	17	17	-	-		
21 ноя	18	18	18	17	-	17	17	17	10	-	-	-		
22 ноя	10	18	10	-	-	17	17	17	17	-	17	17	True	
23 ноя	18	11	-	-	17	17	17	17	-	16	17	17	True	
24 ноя	11	-	-	17	17	18	17	-	-	17	17	17	True	
25 ноя	10	-	18	17	17	17	-	-	11	17	17	17	True	
26 ноя	-	11	18	17	17	-	-	10	10	17	17	17	True	
27 ноя	-	18	18	17	17	-	17	16	17	10	-	-		
28 ноя	10	18	18	17	-	17	17	17	17	-	-	-		
29 ноя	10	18	10	-	-	17	17	17	17	-	16	17	False	
30 ноя	18	18	-	-	17	17	16	17	-	17	16	17	False	

Аналогично таблице 2 определим плотность вероятности пикового часа во всем временном ряду (таблица 4). Значение, обладающее максимальной плотностью, с наибольшей вероятностью окажется пиковым часом.

Данная гипотеза подтверждается столбцами «факт» и «план» таблицы 3: для ноября 2021 года точность прогнозирования пикового часа в Татарстане составила 80 % (16 часов из 20).

Описанный подход позволяет оценить в каждом регионе возможный пиковый час любого рабочего дня месяца на год вперед.

Таблица 4

**Плотность распределения пикового часа во временном ряду в
Татарстане**

Сутки	0	1	...	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	вероятный час	Max p_i
1 ноя	0	0	...	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0	0,71	0,14	0	0	0	0	18	71,4%
2 ноя	0	0	...	0	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0,29	0,43	0	0	0	0	0	18	42,9%
3 ноя	0	0	...	0	0	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	11	40,0%
5 ноя	0	0	...	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0,2	0	0	0	0	18	40,0%
6 ноя	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14	0,71	0,14	0	0	0	0	18	71,4%
7 ноя	0	0	...	0	0	0,13	0,13	0	0	0	0	0	0,38	0,13	0,25	0	0	0	0	17	37,5%
8 ноя	0	0	...	0	0	0,43	0,14	0	0	0	0	0	0,29	0,14	0	0	0	0	0	10	42,9%
9 ноя	0	0	...	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0,71	0,14	0	0	0	0	0	17	71,4%
10 ноя	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0,33	0	0	0	0	0	17	66,7%
11 ноя	0	0	...	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0	0,71	0	0	0	0	0	0	17	71,4%
12 ноя	0	0	...	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0	0,57	0,14	0	0	0	0	0	17	57,1%
13 ноя	0	0	...	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0,63	0,13	0	0	0	0	0	17	62,5%
14 ноя	0	0	...	0	0	0,13	0,13	0	0	0	0	0	0,25	0,5	0	0	0	0	0	18	50,0%
15 ноя	0	0	...	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0,43	0,43	0	0	0	0	0	17	42,9%
16 ноя	0	0	...	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0	0,57	0,29	0	0	0	0	0	17	57,1%
17 ноя	0	0	...	0	0	0,17	0	0	0	0	0	0	0,5	0,33	0	0	0	0	0	17	50,0%
18 ноя	0	0	...	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0,14	0,43	0,29	0	0	0	0	0	17	42,9%
19 ноя	0	0	...	0	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0,57	0,29	0	0	0	0	0	17	57,1%
20 ноя	0	0	...	0	0	0,13	0,13	0	0	0	0	0	0,63	0,13	0	0	0	0	0	17	62,5%
21 ноя	0	0	...	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0,5	0,38	0	0	0	0	0	17	50,0%
22 ноя	0	0	...	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0	0,57	0,14	0	0	0	0	0	17	57,1%
23 ноя	0	0	...	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0,14	0,57	0,14	0	0	0	0	0	17	57,1%
24 ноя	0	0	...	0	0	0	0,17	0	0	0	0	0	0,67	0,17	0	0	0	0	0	17	66,7%
25 ноя	0	0	...	0	0	0,14	0,14	0	0	0	0	0	0,57	0,14	0	0	0	0	0	17	57,1%
26 ноя	0	0	...	0	0	0,29	0,14	0	0	0	0	0	0,43	0,14	0	0	0	0	0	17	42,9%
27 ноя	0	0	...	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0,13	0,5	0,25	0	0	0	0	0	17	50,0%
28 ноя	0	0	...	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0,63	0,25	0	0	0	0	0	17	62,5%
29 ноя	0	0	...	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0	0,57	0,14	0	0	0	0	0	17	57,1%
30 ноя	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14	0,57	0,29	0	0	0	0	0	17	57,1%

Результаты и обсуждения

По алгоритму, описанному выше, был осуществлён расчет прогнозных пиковых часов в 2021 и 2022 годах для следующих регионов: Московская, Оренбургская, Нижегородская и Орловская области, республики Хакасия, Алтай и Башкортостан. Результаты сведены в таблицу 5.

Полученные результаты, на первый взгляд, могут показаться неудовлетворительными. Действительно, точность в ряде регионов оказалась на уровне статистической погрешности. При этом в некоторые дни плотность вероятности отдельных часов достигала более 80%, хотя пиковыми становились совсем другие значения.

Однако если проводить оценку отдельно по месяцам, то результат видится более оптимистичным (таблица 6): в интервалах с января по март и с октября по декабрь модель показывает хорошую точность. В летнее же

время качество прогноза снижается до критически низких значений. В этот период использование модели не рекомендуется.

Таблица 5 - Точность прогнозирования пиковых часов в отдельных регионах РФ

Ценовая зона	Регион	Гарантирующий поставщик	Средняя точность прогноза, %	
			2021	2022
1	Московская область	АО «Мосэнергосбыт»	57,4	56,6
		ЗАО «БЭЛС» (г.Балашиха)	57,4	56,1
1	Нижегородская обл.	ПАО «ТНС энерго НН»	51,6	50,6
1	Орловская обл.	ООО "ИНТЕР РАО - Орловский энергосбыт"	38,1	55,6
1	Башкортостан	ООО «ЭСКБ»	32,0	39,0
1	Оренбургская обл.	АО "ЭнергосбыТ Плюс"	30,1	35,1
2	Хакасия	АО «Хакасэнергосбыт»	29,7	25,8
2	Алтай	АО «Алтайэнергосбыт»	22,6	36,7

Таблица 6 - Оценка качества прогноза по месяцам (2021 год)

Месяц	Моск. обл.	Нижегор. обл.	Орлов. обл.	Башкортостан	Оренб. обл.	Хакасия	Алтай
Январь	53,3%	53,3%	33,3%	33,3%	26,7%	60,0%	43,8%
Февраль	68,4%	89,5%	37,5%	22,2%	15,8%	29,8%	47,4%
Март	75,0%	81,8%	37,5%	14,3%	27,3%	30,2%	59,1%
Апрель	40,9%	72,7%	36,4%	31,8%	50,0%	40,0%	57,1%
Май	42,1%	31,6%	52,6%	16,7%	26,3%	10,5%	22,2%
Июнь	38,1%	38,1%	52,4%	28,6%	0,0%	5,0%	27,3%
Июль	36,4%	13,6%	18,2%	42,1%	22,2%	5,6%	23,8%
Август	36,4%	18,2%	22,7%	31,8%	14,3%	4,8%	13,0%
Сентябрь	72,7%	63,6%	40,9%	63,6%	27,3%	54,5%	13,6%
Октябрь	81,0%	66,7%	42,9%	47,6%	61,9%	47,6%	4,8%
Ноябрь	70,0%	40,0%	33,3%	90,0%	44,8%	53,3%	25,0%
Декабрь	75,0%	50,0%	50,0%	45,5%	45,2%	12,1%	9,1%

Заключение

Предварительная оценка точности предложенного метода показала, что прогнозы на основании только лишь пиковых часов текущего месяца предыдущих лет даёт сомнительный результат. Кроме того не было обнаружено признаков прямой корреляции между ценовой зоной и качеством прогноза. Однако данные выводы могут быть поспешными.

К концу написания статьи верификация модели была проведена всего на 8 гарантирующих поставщиках из 7 регионов (всего 143 и 85 соответственно), поэтому делать однозначный вывод пока рано.

Видится возможным повысить точность предлагаемой модели за счёт включения в неё дополнительных косвенных признаков: значение

пикового часа непосредственно перед датой прогнозирования, метеорологических условий, динамики энергопотребления в регионе и т.д.

В этом случае инструментария пакета Excel уже станет недостаточно. Для работы с таким объемом статистических данных, оказывающих сложноизмеримое влияние на прогнозируемое значение, потребуется использование искусственных нейронных сетей.

ИСТОЧНИКИ

[1] Цена электроэнергии для предприятий. Сайт компании Энкоств. <https://encost.com/publikacii/cena-elektroenergii-dlya-predpriyatij/>

[2] Постановление правительства РФ №1172 от 27.12.2010 (ред. от 23.09.2022) «Об утверждении Правил оптового рынка электрической энергии и мощности и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности» http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112537/

[3] Составляющие предельных уровней нерегулируемых цен // Сайт компании АО «АТС». <https://www.atsenergo.ru/results/market/svnc>

[4] Марьясин О.Ю., Лукашов А.И. Прогнозирование часов пиковой нагрузки региона России // Нейроинформатика-2021: Сборник научных трудов XXIII Международной научно-технической конференции, Москва, 18–22 октября 2021 года. – Москва: Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 2021. – С. 227-236.

[5] Часы пиковой нагрузки // Сайт компании АО «АТС». <https://www.atsenergo.ru/results/market/calcfacthour>

[6] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021617818 Российская Федерация. Программа для краткосрочного прогнозирования значений временного ряда часов максимальной пиковой нагрузки: № 2021616690: заявл. 29.04.2021: опубл. 19.05.2021 / В.С. Журавлев, Е.А. Шаповалов; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Энсерсофт».

[7] Межгорин Д., Петкилев А. Разработка нейросетевой системы для прогнозирования часа пиковой нагрузки потребления электроэнергии на основе ретроспективных данных // От зеленого кампуса – к зеленому городу. Пенза: Пензенский государственный университет, 2022. С. 153-160

[8] Central limit theorem. https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution

[9] Случайные величины. Дискретная случайная величина. Математическое ожидание http://mathprofi.ru/sluchainaya_velichina.html

[10] Chichirova N.D., Chichirov A.A., Saitov S.R. Atomic force microscopy and IR spectrometry application in detecting the type and nature of contaminants on reverse osmosis membrane elements // Earth and Environ. Sci. 288 (2019) 012007.

[11] Saitov S.R., Chichirova N.D. Investigation of the composition and causes of membrane fouling of reverse osmosis // E3S Web of Conf. 216 (2020) 01072.

[12] Chichirova N.D., Chichirov A.A., Filimonova A.A., Saitov S.R. Enhancing the Ecological and Operational Characteristics of Water Treatment Units at TPPs Based on Baromembrane Technologies // Thermal Engineering. – 2017. - №12(64). – С. 920-930.

[13] Chichirova N.D., Chichirov A.A., Saitov S.R. Problems of reliability and economy work of thermal power plants water treatment based on baromembrane technologies // Journal of Physics: Conf. Series 891 (2017) 012276.

[14] Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Сайтов С.Р., Филимонов А.Г., Гирфанов А.А. Анализ опыта внедрения баромембранных технологий на ТЭС РФ // Труды Академэнерго. – 2013. - №4 – С. 70-82.

[15] Сайтов С.Р., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А. Баромембранные технологии в схеме водоподготовки Уфимской ТЭЦ-1 // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2017. - №2(34). – С. 58-67.

[16] Патент № 2753350 С1 Российская Федерация, МПК C02F 1/44, C02F 1/52, C02F 9/04. Способ ведения водно-химического режима и регенерации баромембранной водоподготовительной установки с применением унифицированной коррекционно-отмывочной композиции: № 2020132208: заявл. 30.09.2020: опубл. 13.08.2021 / Сайтов С.Р., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет".

[17] Плотникова Л.В. Программное обеспечение системного анализа сложноструктурированных промышленных комплексов при разработке энергосберегающих мероприятий / Л. В. Плотникова, Ю. В. Торкунова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 140-154.

[18] Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М., Табачникова Т.В., Шумихина О.А, Гибудуллин Р.Р. Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 3-15.

[19] Бородин М.В., Виноградов А.В., Букреев А.В., Панфилов А.А. Структура времени определения источника искажений показателей качества электрической энергии и программно-аппаратный комплекс для его сокращения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 29-41.

УДК 621.316

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА КАК АЛЬТЕРНАТИВА КЛАССИЧЕСКОЙ ВЫРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Чепайкин М. О., Шириев Р. Р.

ФГБОУ «Казанский государственный энергетический университет»

¹maxi.chep@bk.ru, ²shrr@list.ru

Аннотация: Мировое потребление электрической энергии постоянно возрастает. При этом в настоящее время выработка электроэнергии с помощью возобновляемых источников, без учёта ГЭС, составляет около 6% от общего количества выработанной электроэнергии. Ветряные электростанции применяют в качестве альтернативных источников электроэнергии, так как они способны генерировать электрическую энергию посредством трансформации механической энергии ветра в электрическую энергию. В работе описаны конструктивные особенности ветрогенераторов. Статья содержит результаты макетирования и испытания возможностей применения маломощной ветряной электростанций в качестве альтернативного источника электрической энергии.

Ключевые слова: ветряная электростанция, энергетика, возобновляемые источники энергии

WIND POWER AS AN ALTERNATIVE TO CLASSICAL ELECTRICITY GENERATION

Chepaikin M.O., Shiriev R.R.

Kazan State Power Engineering University

maxi.chep@bk.ru, shrr@list.ru

Introduction. The global consumption of electrical energy is constantly increasing. At the same time, electricity generation from renewable sources, excluding hydroelectric power plants, is about 6% of the total amount of electricity generated. Wind power plants are used as alternative sources of electricity, as they are able to generate electrical energy by converting mechanical wind energy into electrical energy. The paper describes the design features of wind turbines. The article contains the results of prototyping and testing the possibilities of using a low-power wind farm as an alternative source of electrical energy.

Keywords: wind power plant, energy, renewable energy sources

К возобновляемым источникам энергии обычно относят энергоресурсы природных процессов, которые постоянно существуют на планете, а также продукты естественной жизнедеятельности растительного и животного происхождения. Наиболее характерной чертой возобновляемых источников энергии можно назвать их неиссякаемость, либо способность естественным образом восстановить свой потенциал за относительно небольшое время, т.е. в пределах среднесрока жизни одного поколения людей [1, 2]. В 1978 г. на Генеральной Ассамблее ООН в соответствии было введено понятие «новые и возобновляемые источники энергии», в которое были включены следующие виды энергии: гидроэнергия, солнечная, энергия морских волн, геотермальная, ветровая, приливов океана, древесного угля, энергия биомассы древесины, торфа, сланцев, тяглового скота, битуминозных песчаников, [2].

Если же говорить о потенциале регионов России в выработке электроэнергии из возобновляемых источников, то он достаточно высок. Так, к примеру, если говорить о перспективе солнечной энергетики, то здесь выделяются: Калмыкия, Ставропольский, Краснодарский и Забайкальский края, Ростовская, Волгоградская, Астраханская, Магаданская и Читинская области, Алтай, Приморье, Республика Саха и Бурятия [3].

В гидроэнергетике могут преуспеть Центральный регион, Северный Кавказ, Дагестан, Сибирь, зона Байкальского рифта, Красноярский край, Чукотка, Сахалин, полуостров Камчатка и Курильские острова. Эти регионы могут вырабатывать до 2000МВт энергии [1, 5].

Что касается ветроэнергетики, то здесь своими сильными ветрами могут похвастаться Ульяновская, Ростовская области, Крым и Краснодарский край, Ленинградская и Курганская области, Карелия, Башкирия, Калмыкия, Самарская, Липецкая, Нижегородская, Пензенская и Владимирская области, а также Чувашия, Челябинская область, Чукотский автономный округ, Новосибирская [3, 6].

Согласно мнению экспертов наибольшие перспективы в развитии ветроиндустрии имеет Ставропольский край. Основным параметром данного заключения является то, что этот регион относится к субъектам Российской Федерации с наиболее высокой среднегодовой скоростью ветра – на высоте 100 м. составляет не менее 8 м/с. Также важным фактором является логистическое положение региона. Ставропольский край находится недалеко от передающих систем и потребителей, а это в свою очередь снижает стоимость подключения [3].

Все эти факторы привели к тому, что в Ставропольском крае в 2020 году была запущена самая мощная электростанция в России – Кочубеевская ВЭС. Она включает в себя 84 ветроэнергетических установки по 2.5 МВт каждая, что в сумме даёт мощность порядка 210 МВт. Планируемая производительность Кочубеевской ВЭС составит порядка 597 млн кВт*ч.

Ветер характеризуется скоростью и направлением, параметрами являющимися переменными во времени и пространстве. Совокупность различных характеристик ветра с учетом особенностей его использования при производстве электрической либо механической энергии называют ветроэнергетическим кадастром [1, 4].

Наиболее значимым составляющим ветроэнергетического кадастра относятся: ветроэнергетический ресурс региона, суточное изменение ветра, среднегодовая скорость ветра, распределение ветровых периодов, цикличность скоростей, максимальная скорость ветра, удельная мощность ветра.

Перед тем как поговорить о принципе действия ветрогенератора стоит поговорить о условии целесообразности его установки. Ветряной генератор принято считать эффективным, когда на высоте порядка 10 метров скорость ветра составляет 5м/с. Это значение скорости ветра является пограничным условием применения ветрогенератора мощностью 100 кВт и более. Увеличение среднегодового значения скорости ветра приводит к росту эффективности ветряной энергетической установки.

Общий принцип действия всех ветрогенераторов сводится к одному: под механическим воздействием воздушных масс происходит вращение ветроколеса с лопастями, которое передает крутящий момент валу генератора посредством применения системы передач. Генератор вследствие вращения ротора вырабатывает электроэнергию. Размер диаметра ветроколеса прямо пропорционален объему воздушный потока, который оно захватывает и, соответственно, объему вырабатываемой электроэнергии.

Ветрогенераторы могут различаться по: расположению главной оси вращения относительно поверхности земли, количеству лопастей ветроколеса и материалам. По числу лопастей ветроколеса они бывают: однолопастные, двухлопастные, трехлопастные и многолопастные. Многолопастные способны начать свое вращение даже при очень небольшом потоке ветра. Однако они применимы только для случая, где важен сам факт вращения, а не объем производимой им электроэнергии.

Такая многолопастная система применима, к примеру, для перекачки воды из глубины [1,2, 4].

Немаловажным компонентом агрегата является ветротурбина. Она служит непосредственно для выработки электроэнергии, т.е. соединенная с генератором, не нуждается в большом начальном моменте вращения поскольку генератор пускается на холостом ходу (без нагрузки). В этом случае достаточно 1-3 лопастей. Ветроустановки с двумя лопастями существенно проще и экономичнее, однако она более шумная и подвержена вибрации.

Датские ученые, занимающиеся изучением данной отрасли, доказали, что наиболее оптимальным решением для ветряных электрогенераторов является конфигурация с тремя лопастями. С тех пор это стало неким отраслевым стандартом [1, 4].

Материалы, применяющиеся в изготовлении лопастей, могут быть жесткие и парусные. Парусные считаются экономичнее жестких, однако менее надежны.

По расположению оси вращения лопастей ветряной установки к поверхности земли выделяют горизонтальные и вертикальные. Их различия настолько тонки, что в зависимости от внешних факторов они меняются местами в своем превосходстве. С вертикальной осью ветровые установки моментально схватывают небольшие потоки ветра, не требуют установки флюгера. Однако они обладают меньшей мощностью, чем горизонтальные.

По направлению действующего ветра на установку различают крыльчатые и карусельные ветрогенераторы. Особенность крыльчатых ветрогенераторов заключается в том, что их наибольшая эффективность достигается при наличии потока воздуха, действующего перпендикулярно ветроколесу. Данному типу необходимо устройство для автоматического поворота оси вращения, а уже эту роль выполняет крыло-стабилизатор.

Преимущества ветрогенераторов:

- экологичность,
- экономия классических энергоресурсов,
- простое и недорогое обслуживание.

Обычному сельскому жителю, дачнику, рыбаку или даже жителю многоэтажного дома достаточно небольшой ветроустановки мощностью 50 Вт – 5 кВт совместно с аккумуляторной батареей и инвертором, чтобы закрывать многие бытовые вопросы (свет, использование электрических приборов или их зарядка (небольшой мощности) или, к примеру, поднимать воду из глубины до 40 метров). Ветряные энергоустановки

малой мощности могут очень эффективно применяться в регионах с небольшой среднегодовой скоростью. Поэтому география возможного применения маломощных установок гораздо шире в несколько раз, чем мощных [5, 6].

Недостатки ветрогенераторов:

- неустойчивость работы и полная зависимость от силы ветра;
- шум, который создается вращением лопастей;
- потенциальная опасность для птиц;
- значительные инвестиционные затраты.

Энергия ветра может быть использована не только в промышленных масштабах. Свою собственную ВЭЛ может собрать каждый желающий, и главное компоненты для этого можно найти в любом радио-электронном магазине. Итак, понадобятся: корпусные вентиляторы 120x120 (10 шт.), коллекторные моторчики (10 шт.), стабилизатор напряжения, провода, пластиковые тубусы под размер моторчиков и кабель USB-A (рис. 1).

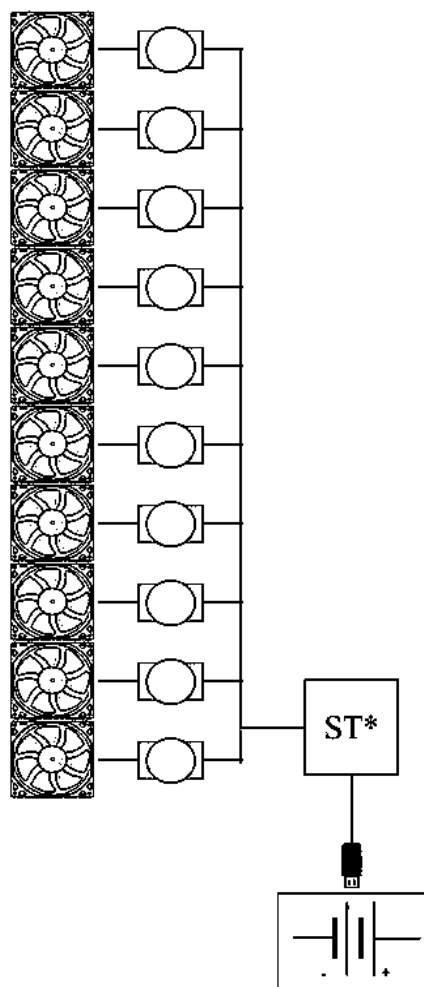


Рис. 1. Принципиальная схема ветрогенератора

При сборке необходимо разбирать корпусные вентиляторы и заменить штатный моторчик на коллекторный. После соединения конструкции параллельно нужно подключить ее к стабилизатору напряжения, который затем необходимо настроить так, чтобы мощность на выходе составляла 5Вт. Выводы стабилизатора присоединяются к кабелю USB-A. Вследствие того, что ветер – субстанция не постоянная, лучше к выводу USB подключить ёмкий аккумулятор, а от него затем уже заряжать различные устройства.

Мощность такого ветрогенератора колеблется в пределах 10Вт. К примеру, аккумулятор емкостью 10КАч с помощью такого генератора можно зарядить за 12 часов.

Заключение

Подводя итог, можно сказать, что ветроэнергетика только начинает свой рассвет. Мы уверены, что в скором времени небольшие локальные электрогенераторы, использующие энергию из возобновляемых источников, будут способны закрывать большинство бытовых задач, что позволит направлять энергию, получаемую из традиционных источников на более глобальные цели.

ИСТОЧНИКИ

[1] Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие / Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 187 с.

[2] Безруких П.П. Ветроэнергетика. Вымыслы и факты. Ответы на 100 вопросов. / П.П. Безруких – М.: Институт устойчивого развития, 2014. 74 с.

[3] Марченко О.В. Конкурентоспособность солнечных и ветровых электростанций в странах СНГ / О.В. Марченко, С.В. Соломин. // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2020. Т. 63. № 4. 301-311 с.

[4] Типы ветродвигателей. Новые конструкции и технические решения // Энергетика и ТЭК. – 2013. №1. 2-4 с.

[5] Рудаков А.И. Согласование работы источников солнечной и ветровой энергии при получении электрической / А.И. Рудаков, И.Н. Гиниятуллина // В сборнике: XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике». – Казань, 2022. 93-95 с.

[6] Григораш О.В. К расчету энергетического потенциала и экономической эффективности ветровой энергетики / О.В. Григораш, П.Г.

Корзенков, Ю.Е. Кондратенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. № 100. 633-645 с.

[7] Шерьязов С.К., Исенов С.С., Искаков Р.М., Кайдар А.Б. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 24-33.

[8] Султанов М.М. Модель оценки технико-экономических показателей оффшорных ветроэлектростанций // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 46-55.

[9] Давыдов Д.Ю., Обухов С.Г. Модель оценки технико-экономических показателей оффшорных ветроэлектростанций // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С.115-130.

УДК 621.396.93:614.8

РАЗРАБОТКА СУТОЧНОГО БАЛАНСА ЕЭС КАЗАХСТАНА И ОЭС ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КВАЗИДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Б. Аман, А.Т. Бектимиров, А.А. Саухимов, Ж.Б. Сагындыкова
НАО «Алматинский университет энергетики и связи им.Гумарбека Даукеева»
e-mail: a.aman@aes.kz, a.bektimirov@aes.kz, a.saukhimov@aes.kz,
zh.sagydykova@aes.kz

***Аннотация.** Разработка суточного баланса является одним из актуальных и важных задач как для системного оператора, так и для электрических станций. Более того, с ростом интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ) разработка прогноза балансов мощности и электроэнергии становится сложной и комплексной задачей. Данная статья представляет решение данной задачи ЕЭС Казахстана и ОЭС Центральной Азии с применением квазидинамического моделирования в программном обеспечении DigSilent PowerFactory (PF). Также разработан прогнозный суточный баланс с учетом регулировочных способностей всех типов электростанций Центральной Азии (ЦА) и внедрением ВИЭ в энергосистему. Разработаны 3 сценария суточного баланса при разной выработке мощности ВИЭ для зимнего и летнего режима. Результаты представляют прогнозные графики генерации и потребления стран ЦА, сальдо перетоки между странами ЦА, перетоки узких мест (сечений), а также объем накопительных устройств в максимальном сценарии выработки мощности ВИЭ.*

Ключевые слова: суточный баланс, квазидинамическое моделирование, возобновляемые источники энергии, баланс мощности, электростанции.

DEVELOPMENT OF THE HOURLY BALANCE OF THE UES OF KAZAKHSTAN AND THE IPS OF CENTRAL ASIA USING QUASI-DYNAMIC MODELING

A.B. Aman, A.T. Bektimirov, A.A. Sauhimov, Zh.B. Sagyndykova

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications

named after Gumarbek Daukeev

e-mail a.aman@aes.kz, a.bektimirov@aes.kz, a.saukhimov@aes.kz,

zh.sagydykova@aes.kz

Annotation. *The development of the daily balance is one of the urgent and important tasks for both the system operator and power plants. Moreover, with the growing integration of renewable energy sources (RES), the development of a forecast of power and electricity balances becomes a complex and complex task. This article presents a solution to this problem of the UES of Kazakhstan and the IPS of Central Asia using quasi-dynamic modeling in the DigSilent PowerFactory (PF) software. A predictive daily balance has also been developed, taking into account the adjusting capabilities of all types of power plants in Central Asia (CA) and the introduction of renewable energy sources into the energy system. 3 scenarios of the daily balance have been developed for different generation of RES power for winter and summer regimes. The results present the forecasted generation and consumption schedules of the CA countries, the balance of flows between the CA countries, the bottleneck (cross-section) flows, as well as the volume of storage devices in the maximum RES power generation scenario.*

Key words: *hourly balance, quasi-dynamic modeling, renewable energy sources, power balance, power plants.*

Введение

Электроэнергию системы и каждой станции можно определить за любой промежуток времени по суточному балансу мощностей: в период ночного провала нагрузки, в период прохождения максимума, в рабочие и выходные дни и для различных месяцев года. Баланс электроэнергии является основой для составления балансов топлива и гидроэнергетических ресурсов. Поэтому период времени доходит до года, а в перспективных задачах и до нескольких лет. Прогнозировать графики нагрузки для каждого суток года практически невозможно, и возникает самостоятельная задача составления баланса энергии.

Программный комплекс PF включает в себя Quasi-Dynamic Simulation toolbox, специализированный инструмент расчета потока нагрузки, изменяющегося во времени, который можно использовать для средне- и долгосрочных имитационных исследований. Этот инструмент совершает серию моделирования изменения нагрузки и генерации с интервалом во времени, при этом пользователю предоставляется возможность гибко выбирать период моделирования и размер шага моделирования. Для достижения этой цели квазидинамическое моделирование использует характеристики параметров, основанные на времени, вариации и этапы расширения, а также запланированные отключения и события моделирования, определяемые пользователем [1], [2]. В рамках данного исследования квазидинамическое моделирование выполнено по суточным графикам нагрузки и генерации для зимнего и летнего дней [3].

Методология моделирования

Потребление. Для определения структуры потребления на сутки необходимы следующие исходные данные: существующее суточное потребление в зимнем максимуме (23.12.) и летнем минимуме (16.06.) нагрузок, коэффициент прироста потребления на 2030 год, потери в энергосистеме каждой отдельной страны. Исходные данные по потреблению каждой страны были предоставлены от системных операторов стран ЦА. Коэффициенты прироста потребления на 2030 год были рассчитаны исходя из прогнозных балансов мощности и электроэнергии Министерства Энергетики РК [3]. Потери в энергосистеме каждой отдельной страны были рассчитаны программе PF. В результате были разработаны суточные графики зимнего максимума и летнего минимума нагрузок для стран ЦА.

Генерация. После составления суточных графиков нагрузки необходимо составить суточные графики генерации по каждой стране для того, чтобы составить суточный баланс между потреблением и генерацией [4], [5]. Необходимо учитывать следующие факторы, влияющие на разработку прогнозного суточного графика генерации:

- Выработка существующих ЭС в зимнем и летнем режимах;
- Ввод новых мощностей (ПГУ, ГЭС, СЭС, ВЭС);
- Выбытие существующих мощностей (ЭС);
- Диапазон регулирования ЭС в зимнем и летнем режиме;
- Экспорт или импорт в другие страны (покупка регулирования мощности из РФ, экспорт в Афганистан, CASA-1000).

Суточные графики выдачи мощности существующих ЭС в зимнем и летнем режимах были разработаны на основе предоставленных исходных данных от системных операторов.

Исходя из особенностей работы каждого типа ЭС, были построены суточные графики выдачи мощности новых ТЭС, ГТЭС (при наличии), ГЭС, ПГУ, СЭС и ВЭС в зимнем и летнем режимах на 2030 год с учетом их регулировочной способности. На рисунке 4.1 классифицированы регулируемые и нерегулируемые ЭС. К нерегулируемым ЭС относятся ТЭС, ГТЭС и ВИЭ. Максимальная регулируемая способность ТЭС и ГТЭС $\pm 10\%$ от рабочей мощности. Для ВЭС и СЭС разработаны 3 сценария выдачи мощности для летнего и зимнего режимов: максимальный, средний, минимальный. В зимнем режиме:

- Максимальная выдача СЭС – 50% (13:00) в пике и ВЭС – 70% в базе от установленной мощности (УМ);
- Средняя выдача СЭС – 30% (13:00) в пике и ВЭС – 30% в базе от УМ;
- Минимальная выдача СЭС – 20% (13:00) в пике и ВЭС – 10% в базе от УМ;

В летнем режиме:

- Максимальная выдача СЭС – 80% (13:00) в пике и ВЭС – 70% в базе от УМ;
- Средняя выдача СЭС – 50% (13:00) в пике и ВЭС – 30% в базе от УМ;
- Минимальная выдача СЭС – 30% (13:00) в пике и ВЭС – 10% в базе УМ;

Суточный график выдачи мощности СЭС разработан в ПО «PVsyst» с учетом координат новых СЭС. Для ВЭС определить суточный график весьма затруднительно, поэтому в суточном графике генерация ВЭС принят постоянной выдачей. Малые ГЭС в зимнем режиме выдают 20% от установленной мощности, в летнем режиме 30% от установленной мощности также прямым графиком.

К регулируемым ЭС относятся ПГУ и ГЭС. Диапазоны регулирования ЭС были учтены исходя из регулировочной способности каждого типа ЭС. Также учитывались особенности выдачи мощности ГЭС по сезонам. Ниже приведена таблица по диапазону регулирования каждого типа ЭС.

После определения суточных графиков по генерации каждой страны с учетом регулировочной способности каждого типа ЭС, необходимо определить, способна ли каждая страна сбалансировать потребление и

генерацию. В случае, если баланс не составлен, применяются 3 пути решения [6]:

- В случае дефицита электроэнергии - покупка электроэнергии из соседних стран для покрытия дефицита;
- Покупка регулирования для балансирования минимальных и максимальных нагрузок;
- Применение накопителей.

Таблица 1

Диапазоны регулирования и регулировочная способность ЭС по сезонам

Тип ЭС	Зимний режим		Летний режим	
	Мин. загрузка от уст. мощности	Макс. загрузка от уст. мощности	Мин. загрузка от уст. мощности	Макс. загрузка от уст. мощности
ПГУ	50%	90%	25%	50%
ГЭС	0%	70%	0%	90%
ТЭС	$\pm 10\%$ от рабочей мощ-ти		$\pm 10\%$ от рабочей мощ-ти	

Ниже представлена методология по разработке суточного баланса.

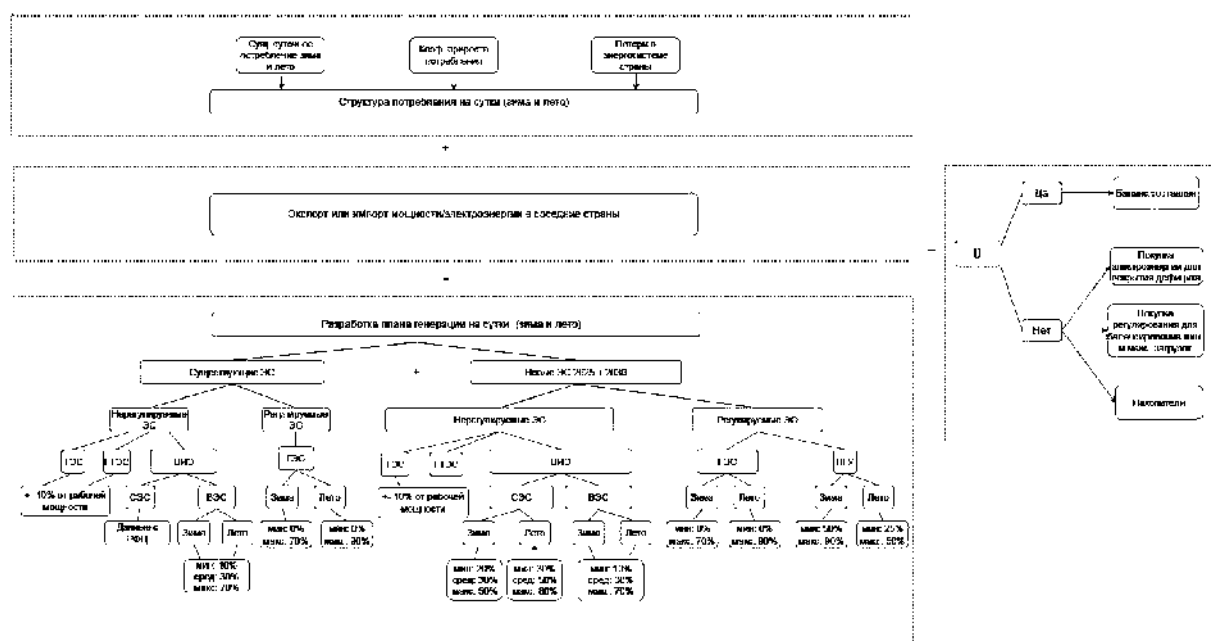


Рис. 1. Методология суточного баланса на 2030 год

После разработки суточного баланса на 2030 год необходимо выполнить квазидинамическое моделирование для определения перетоков мощности на сальдо стран ЦА, сечения транзита Север-Юг, а также проанализировать какие могут быть перегрузы в течение суток по ВЛ и

трансформаторам при вводе новых мощностей [7]. Методология квазидинамического моделирования представлена в рис. 2.

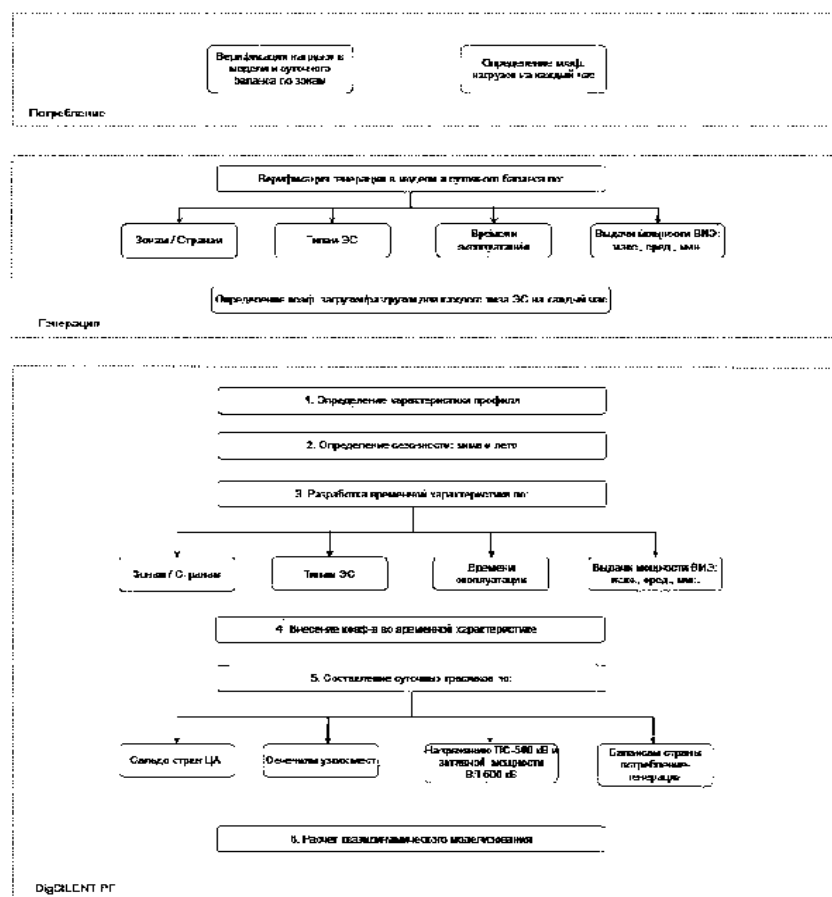


Рис. 2. Методология квазидинамического моделирования в программе PF

Результаты

Суточный баланс разработан для каждой страны отдельно. Для визуального представления выбраны графики суточного баланса Южной зоны ЕЭС Казахстана. Рисунок 3 представляет суточный баланс Южной зоны в зимнем и летнем режимах и в максимальном сценарии выработки мощности ВИЭ.

Зимний день. Сценарий при генерации СЭС от 0 до 50% в пике установленной мощности и ВЭС – 70% в базе от установленной мощности.

В зимний день на 2030 год при генерации СЭС до 50% и ВЭС до 70% от установленной мощности суточный график складывается следующим образом:

1. Максимальное потребление будет составлять 4909 МВт, минимальное 3462 МВт;
2. Традиционная генерация (ТЭС и ГЭС) максимально будет выдавать 2984 МВт, минимально 1575 МВт;

3. Генерация СЭС в пике составит 439 МВт;
4. Генерация ВЭС в пике составит 386 МВт.

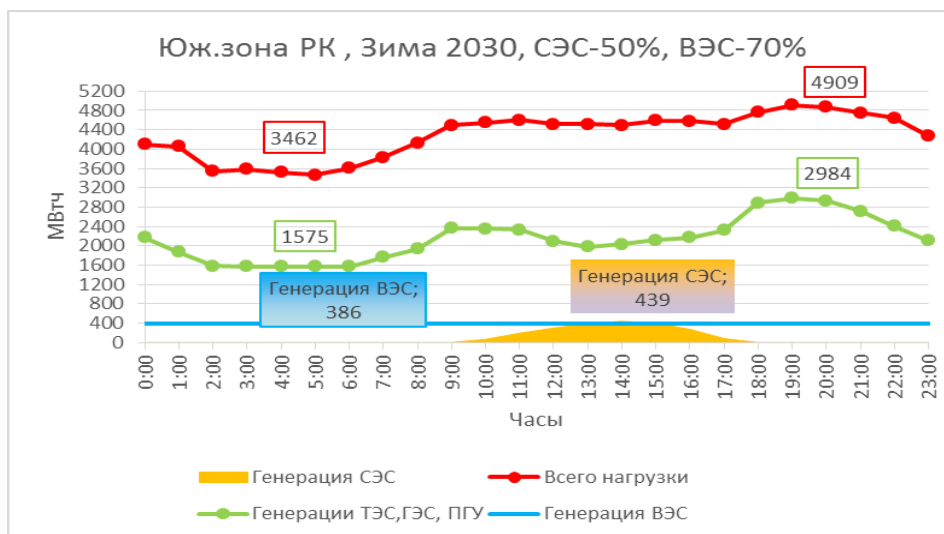


Рис. 3. Суточный баланс Южной зоны на зиму 2030 года

Летний день. Сценарий при генерации СЭС от 0 до 80% в пике установленной мощности и ВЭС – 70% в базе от установленной мощности.

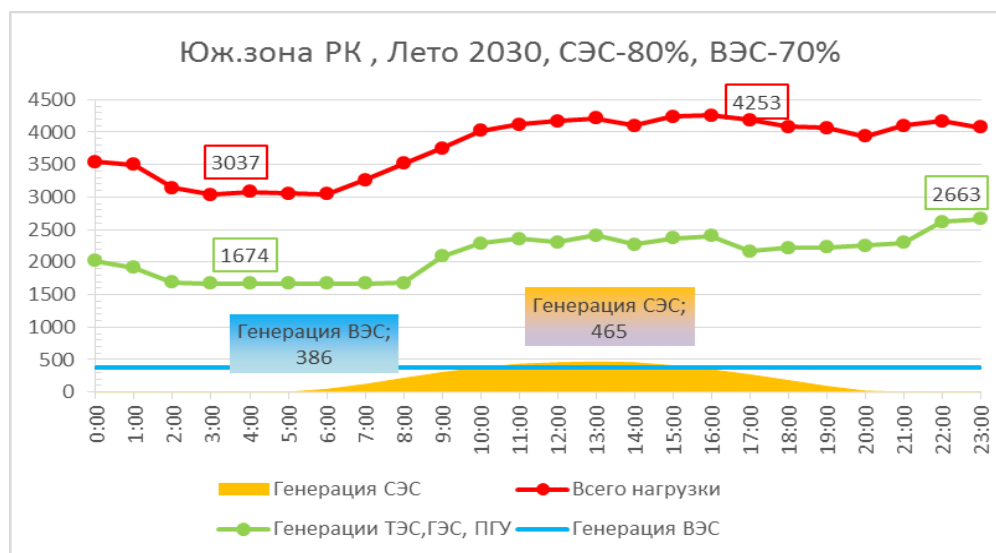


Рис. 4. Суточный баланс Южной зоны на лето 2030 года

В летний день на 2030 год при генерации СЭС до 80% и ВЭС до 70% от установленной мощности суточный график складывается следующим образом:

1. Максимальное потребление будет составлять 4253 МВт, минимальное 3037 МВт;

2. Традиционная генерация (ТЭС и ГЭС) максимально будет выдавать 2663 МВт, минимально 1674 МВт;
3. Генерация СЭС в пике составит 465 МВт;
4. Генерация ВЭС в пике составит 386 МВт.

Квазидинамическое моделирование на 2030 год в зимнем режиме разработано в ПО РФ. За основу моделирования применяются расчеты суточного баланса в базовом сценарии, в зимнем режиме выдача ВЭС 30% и СЭС 30% на пике, в летнем режиме выдача ВЭС 30% и СЭС 50% на пике [8]. Представлены результаты моделирования по следующим параметрам:

- Сальдо перетоки между странами в зимнем и летнем режимах на 2030 год;
- Переток активной мощности по Сечениям «Север-Восток-Юг» на 2030 год;
- Напряжения в контролируемых узлах 500 кВ на 2030 год.

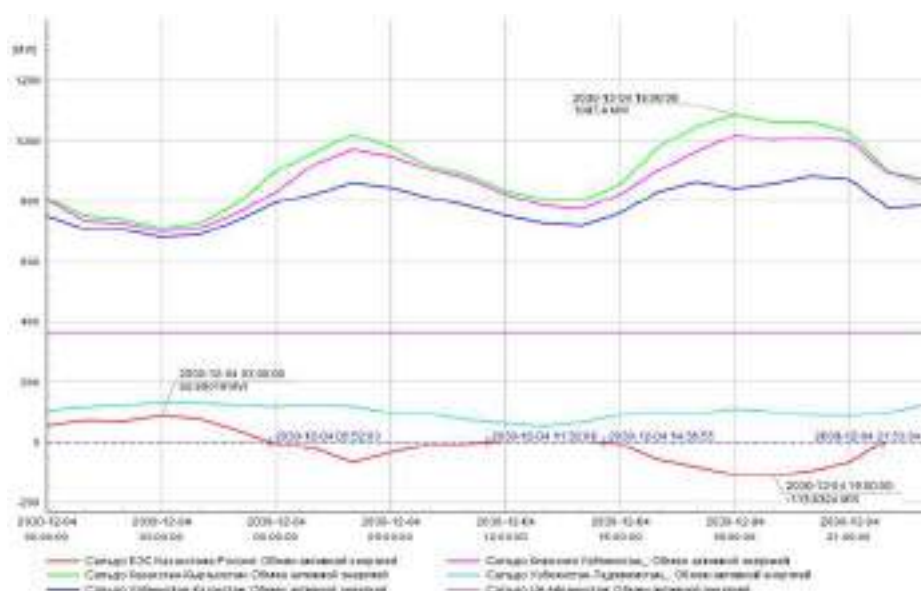


Рис. 5. Сальдо перетоки между странами на зиму 2030 года

В 2030 году в зимнем режиме прогнозируется баланс мощности по всем странам. Осуществляется экспорт мощности 400 МВт из Узбекистана в Афганистан.

Регулирование мощности ЕЭС Казахстана в вечернем максимуме и в ночном минимуме не превышает 110 МВт. Переток второго сечения Транзита «Север-Восток-Юг» составляет 1560 МВт, что является дефицитом южной зоны ЕЭС Казахстана. Напряжение в контролируемых узлах 500 кВ не превышает $\pm 5\%$. Генерация и потребление каждой страны (зоны) соответствует прогнозу суточного баланса. Мощность накопителей

составил 270 МВт в данном сценарии. Накопители в данном сценарии в зимнем режиме не требуются.

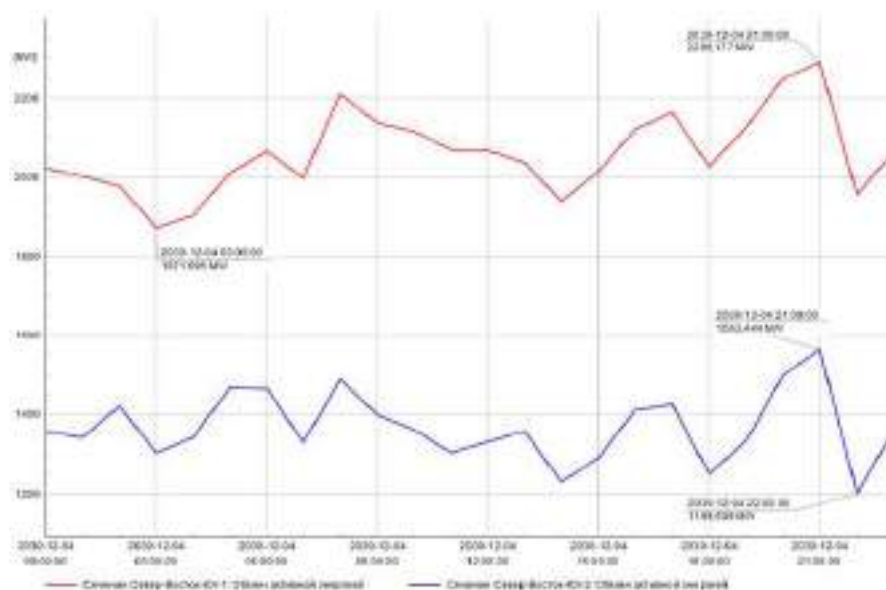


Рис. 6. Переток активной мощности по Сечениям «Север-Восток-Юг» на зиму 2030

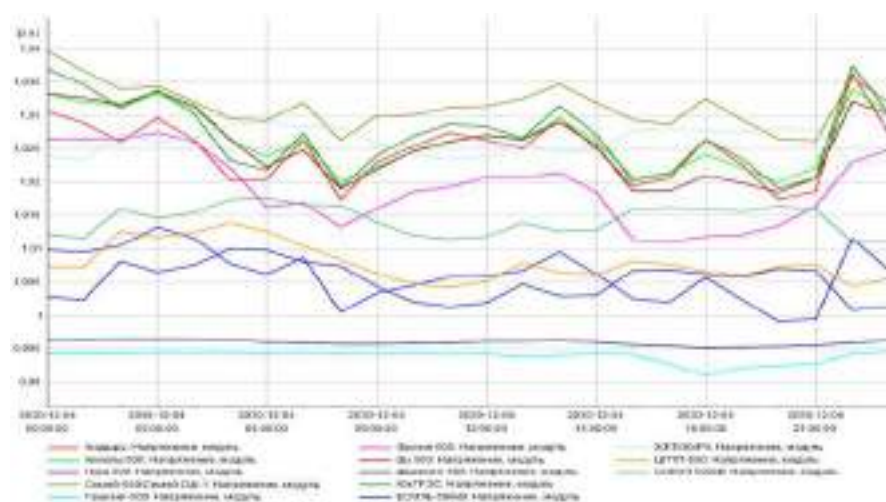


Рис. 7. Напряжения в контролируемых узлах сети на зиму 2030 года

Заключение

Данный метод прогнозирования суточного баланса в масштабах энергосистем является новым для стран ЦА [9]. При помощи разработки суточного баланса и квазидинамического моделирования были определены допустимые регулирующие способности типов электростанций, определены объёмы накопительных устройств при интеграции ВИЭ для каждой страны ЦА, представлены перетоки по узким

сечениям таких как Транзит «Север-Восток-Юг», изменения напряжения в течение суток, также есть возможность проанализировать загруженности электрических элементов за целые сутки. Анализ результатов разработки суточных графиков на 2030 год по энергосистеме Казахстана показал следующее: В зимний день 2030 года в ЕЭС Казахстана с генерацией СЭС от 0 до 30% в пике от установленной мощности, ВЭС в базе 30% от установленной мощности, переток по транзиту "Север-Юг" не превышает значения МДП при условии ввода всех запланированных ПГУ. При средней выдаче ВИЭ как в ночные режимы, так и дневные максимумы СЭС, сальдо перетоки мощности по границе с ЕЭС России минимальны. Необходимость в дополнительном регулировании и установке накопителей электроэнергии отсутствует. В летний день 2030 года в ЕЭС Казахстана с генерацией СЭС от 0 до 50% в пике от установленной мощности, ВЭС в базе 30% от установленной мощности, переток по транзиту "Север-Юг" не превышает значения МДП. При средней выдаче ВИЭ в ночные режимы наблюдается небольшой профицит 35 МВт, в дневные максимумы СЭС профицита нет, суточные сальдо перетоки мощности по границе с ЕЭС России минимальны. Необходимость в дополнительном регулировании и установке накопителей электроэнергии отсутствует.

ИСТОЧНИКИ

- [1] R. Huang, G. Cokkinides, C. Hedrington, and S. A. P. Meliopoulos, "Distribution System Distributed Quasi-Dynamic State Estimator," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 6, pp. 2761-2770, Nov. 2016. <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2521360>
- [2] G. Zöller, M. Holschneider, and Y. Ben-Zion, "Quasi-static and Quasi-dynamic Modeling of Earthquake Failure at Intermediate Scales," Pure Appl. Geophys., vol. 161, no. 9-10, pp. 2103-2118, Aug. 2004. <https://doi.org/10.1007/s00024-004-2551-0>
- [3] Прогнозные балансы мощности и электроэнергии Министерства Энергетики РК <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/press/news/details/345485?lang=ru>
- [4] R. Yao, S. Huang, K. Sun, F. Liu, X. Zhang, and S. Mei, "A Multi-Timescale Quasi-Dynamic Model for Simulation of Cascading Outages," IEEE Trans. Power Syst., vol. 31, no. 4, pp. 3189-3201, Jul. 2016. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2466116>
- [5] A. H. Habib, V. R. Disfani, J. Kleissl, and R. A. de Callafon, "Quasi-dynamic load and battery sizing and scheduling for stand-alone solar system

using mixed-integer linear programming,” in 2016 IEEE Conference on Control Applications (CCA), Buenos aires, 2016, pp. 1476-1481. <https://doi.org/10.1109/CCA.2016.7588009>

[6] Z. Tian, B. Perers, S. Furbo, and J. Fan, “Analysis and validation of a quasi-dynamic model for a solar collector field with flat plate collectors and parabolic trough collectors in series for district heating,” Energy, vol. 142, pp. 130-138, Jan. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.135>

[7] V. Marzano, A. Papola, F. Simonelli, and M. Papageorgiou, “A Kalman Filter for Quasi-Dynamic o-d Flow Estimation/Updating,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 19, no. 11, pp. 3604-3612, Nov. 2018. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2865610> Add to Citavi project by DOI [Links]

[8] Z. Pan, J. Wu, H. Sun, Q. Guo, and M. Abeysekera, “Quasi-dynamic interactions and security control of integrated electricity and heating systems in normal operations,” CSEE J. Power Energy Syst., vol. 5, no. 1, pp. 120-129, Mar. 2019. <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2018.00240>

[9] X. Qin, X. Shen, H. Sun, and Q. Guo, “A Quasi-Dynamic Model and Corresponding Calculation Method for Integrated Energy System with Electricity and Heat,” Energy Procedia, vol. 158, pp. 6413-6418, Feb. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.195>

УДК 621.224.13

ОБОСНОВАНИЕ ЗАМЕНЫ ГИДРОСИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РАМКАХ МОДЕРНИЗАЦИИ КАСКАДА ГЭС НА РЕКЕ БОЛЬШАЯ АЛМАТИНКА

¹Е.Г. Михалкова, ²А.А. Мурадилова

¹НАО «Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева»,

²ТОО «KazElectroSnab»

e-mail: e.mikhalkova@au.es.kz, muradilova.anna@gmail.com

Аннотация. Работа посвящена обоснованию необходимости проведения модернизации Каскада ГЭС на реке Большая Алматинка и разработке технических решений для ее реализации. Основным направлением научного исследования является выбор оборудования, подлежащего замене, на основе произведенных расчетов, и приведение рекомендаций относительно поставщика данного оборудования. По результатам работы на ГЭС-2, входящей в состав Каскада ГЭС, рекомендуется установка новых гидротурбин Пелтона в количестве 3-х агрегатов, суммарной установленной мощностью 18,6 МВт, а также 3-х генераторов мощностью 6300 кВт каждый – изготовленных компанией «CKD Blansko», Чехия.

Ключевые слова: модернизация, гидрогенераторы, напор, мощность, оборудование, замена, гидросооружения, турбины, износ, эксплуатация.

JUSTIFICATION FOR THE REPLACEMENT OF HYDRAULIC POWER EQUIPMENT AS PART OF THE MODERNIZATION OF THE CASCADE OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS ON THE BIG ALMATY RIVER

¹E.G. Mikhalkova, ²A.A. Muradilova

¹Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, ²KazElectroSnab LLP

e-mail: e.mikhalkova@aes.kz, muradilova.anna@gmail.com

Annotation. The work is devoted to substantiating the need for modernization of the Cascade of hydroelectric power plants on the Big Almaty River and the development of technical solutions for its implementation. The main direction of scientific research is the selection of equipment to be replaced, based on the calculations made, and making recommendations regarding the supplier of this equipment. According to the results of work at HPP-2, which is part of the HPP Cascade, it is recommended to install new Pelton hydro turbines in the amount of 3 units with a total installed capacity of 18,6 MW, as well as 3 generators with a capacity of 6300 kW each - manufactured by CKD Blansko, Czech Republic.

Keywords: modernization, hydro generators, pressure, power, equipment, replacement, hydraulic structures, turbines, wear, operation.

Применяются эмпирические методы научного исследования

Введение

В современном мире гидроэнергетика по-прежнему занимает позицию наиболее технологически совершенного возобновляемого источника энергии. [1]

В городе Алматы одним из объектов гидроэнергетики выступает Каскад ГЭС на реке Большая Алматинка. В штатном режиме каскад отрабатывает свой третий парковый ресурс, продолжая поставлять выработанную электроэнергию и воду потребителям. [2]

Актуальность данного исследования заключается в том, что на текущий момент все основное и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций каскада отработало свой срок эксплуатации, а гидросооружения изнашивались, что мешает эффективной работе предприятия и как следствие может привести к возникновению масштабных аварий в энергосистеме. Кроме того, в последние годы наблюдается тенденция интенсивного освоения районов, прилегающих к Каскаду ГЭС, в плане строительства жилья и объектов инфраструктуры. В связи с этим, значительная часть водных ресурсов отбирается вторичными водопользователями из гидротехнических сооружений по трассе деривации каскада, что напрямую влияет на объем выработки электроэнергии. [3]

В связи с этим, целью работы является проведение анализа текущего состояния Каскада ГЭС на реке Большая Алматинка, обоснование необходимости модернизации, произведение замены оборудования и приведение рекомендации по непосредственным этапам модернизации данного объекта.

Основная часть

Каскад ГЭС, как эксплуатационное предприятие в составе 9 гидроэлектростанций, был образован 9 августа 1948 года и включен в «Казахэнерго». Сам объект расположен в Бостандыкском районе г.Алматы.

Первые годы эксплуатации, приходящиеся на период с 1950 по 1960 годы, характеризуются 50-60% выработкой электроэнергии в общем балансе Алматинской энергосистемы. На сегодняшний день доля ежегодно вырабатываемой электроэнергии в общем объеме выработки АО «АлЭС» составляет всего 5-6%. [3]

На данный момент в постоянной эксплуатации находятся 13 гидрогенераторов различного типа и с разной установленной мощностью. Суммарная установленная мощность гидроэлектростанций Каскада ГЭС - 43,7 МВт. Выработка электроэнергии в 2021 г. составила 195 млн кВт·час.

Помимо самих станций, в состав Каскада ГЭС входят гидротехнические сооружения, включающие в себя плотины, водозаборы, каналы, тоннели, дюкеры, трубопроводы, напорные бассейны, отстойники и т.п., а также водохранилище – Большое-Алматинское озеро (БАО). Все сооружения каскада расположены по трассе деривации протяженностью более 25 км. Продольный профиль по трассе деривации Каскада ГЭС представлен на рисунке 1.

На балансе Каскада ГЭС находятся воздушные линии электропередачи и кабельные линии напряжением 6 и 0,4 кВ. В составе электротехнического оборудования в эксплуатации находятся 4 единицы ОРУ-35кВ и 10 единиц РУ-6кВ.

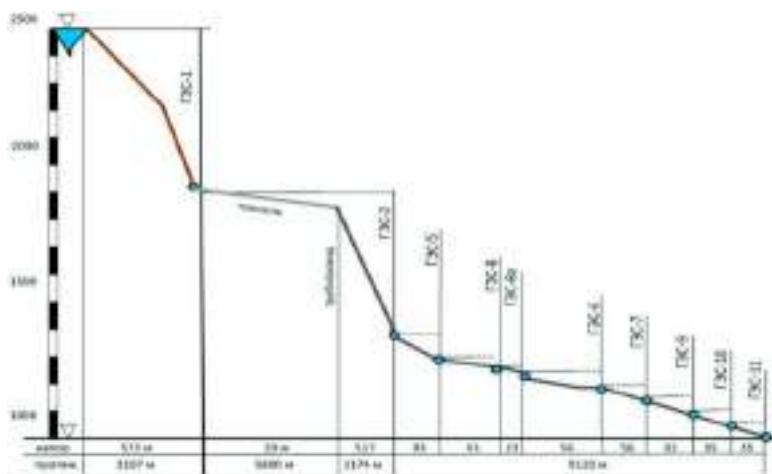


Рис. 1. Продольный профиль по трассе деривации Каскада ГЭС

С целью анализа текущего состояния Каскада ГЭС, рассмотрим актуальные технические характеристики всех гидроэлектростанции, входящих в его состав (таблица 1).

Таблица 1

Основные данные гидроэлектростанций на 01.01.2022 г

№ ГЭС	Установленная мощность, МВт	Год ввода	Наработка на 01.01.2022 г., час	Выработка электроэнергии в 2021 г.	
				тыс. кВт · час	%
ГЭС-1	15,6 (5,2 × 3)	1953	г/а № 1 – 443 916 г/а № 2 – 431 946 г/а № 3 – 430 313	55 120	28,3
ГЭС-2	14,4 (4,8 × 3)	1959	г/а № 1 – 482 061 г/а № 2 – 445 609 г/а № 3 – 429 828	69 274	35,5
ГЭС-5	3,8	1944	447 072	16 950	8,7
ГЭС-6	2,5	1946	465 534	12 425	6,4
ГЭС-7	2,5	1946	597 173	13 116	6,7
ГЭС-8	2,5	1948	553 151	13 004	6,7
ГЭС-9	0,8	1944	593 748	4 998	2,6
ГЭС-10	0,8	1945	591 590	5 061	2,6
ГЭС-11	0,8	1944	597 034	5 085	2,6
Сумм.	43,7	-	-	195 033	100,0

По данным таблицы 1 суммарная мощность Каскада ГЭС на 1 января 2022 года составила 43,7 МВт. В таблице 2 рассмотрим технические параметры оборудования приведенных гидроэлектростанций.

Таблица 2

Технические характеристики основного генерирующего оборудования

№ ГЭС	Год начала работы	Тип турбины	Изготовитель турбины	Тип генератора	Изготовитель генератора
1 (г/а 1,2,3)	окт. 1953	Струйно-ковшовая	Ансальдо Сан-Джорджо, Италия	АТ-820-110-80	Ансальдо Сан-Джорджо, Италия
2 (г/а 1,2,3)	июль 1959	КВГ 179-16,4х1 Активно-ковшовая	УЗПМ г. Сысерть	ГС-260-54-12	Уралэлектроаппарат
5	1963	РО-8 ВМ-100	Уралмаш	ВГСА/260-44-10	Уралэлектроаппарат
6	нояб. 1946	РО-699, СР-705	Леффель, США	АТ-1-10	Дженерал-электрик, США

7	июнь 1946	PO-699, CP-705	Леффель, США	АТ-1-10	Дженерал- электрик, США
8	март 1948	PO-699, CP-705	Леффель, США	АТ-1-10	Дженерал- электрик, США
9	сент. 1944	PO-447, ГМ-70	Алма-Ата, з-д № 651 им. Кирова	ГС-140-49-10	Уралэлектроаппар ат
10	май 1945	PO-447, ГМ-70	Алма-Ата, з-д № 651 им. Кирова	ГС-140-49-10	Уралэлектроаппар ат
11	май 1944	PO-447, ГМ-70	Алма-Ата, з-д № 651 им. Кирова	ГС-140-49-10	Уралэлектроаппар ат

Данные таблицы 2 показывают, что основное гидросиловое оборудование было введено в эксплуатацию в середине прошлого века.

Обсуждение

Уже довольно продолжительное время прослеживается дефицит электрической энергии и мощности в Южной зоне ЕЭС Казахстана. Недостаток для данного региона возмещается поступление мощностей из Северной зоны энергосистемы Казахстана и стран Центральной Азии.

Помимо нехватки генерирующих мощностей, особое внимание уделяется переходу на «зеленую» энергетику. Таким образом, актуально увеличение выработки электроэнергии за счет возобновляемых источников энергии. Однако, и здесь гидроэлектростанции имеют лидирующие позиции в связи с тем, что в отличие от традиционных, а также атомных, солнечных и ветряных станций, они являются маневренным источником электроэнергии, что помогает им очень быстро увеличивать и уменьшать выработку электроэнергии покрывая потребности населения в пики нагрузки.

Поэтому Каскад ГЭС является важным объектом ЕЭС Казахстана, за счет перечисленных преимуществ, а также благодаря возможности обеспечивать пуск ближайших тепловых электростанций, которые могут быть остановлены при авариях в электрической системе.

Однако, как видно из анализа текущего состояния Каскада ГЭС, гидросиловое оборудование было введено в эксплуатацию в период с 1944 по 1963 годы и на сегодняшний день замены этого оборудования произведено не было - оно уже неоднократно выработало свой ресурс. Нарботка генераторов на январь 2022 года составила более 400 тыс. часов. При этом основная доля выработки электроэнергии приходится на ГЭС-1 (28,3%) и ГЭС-2 (35,5%), агрегаты которых находятся в эксплуатации уже более 65 лет.

Гидрогенераторы и турбины остальных электростанций (таблица 2) работают уже третий нормативный эксплуатационный срок, запасных частей к ним давно не выпускают. Проблема усугубляется тем, что 8 из 13-ти эксплуатируемых гидроагрегатов изготовлены в Италии (Ансальдо-Сан Джорджо) и США (Дженерал-электрик), и на сегодняшний день сняты с производства. Таким образом, все гидросиловое оборудование каскада

морально и физически устарело, а также является неремонтопригодным. [3]

Следовательно, замена гидросилового оборудования Каскада ГЭС является приоритетным этапом модернизации, которую необходимо проводить поэтапно. В первую очередь, необходимо уделить внимание ГЭС-1 и ГЭС-2, на которые приходится основная доля выработки электроэнергии каскадом, а также наиболее мощный водный поток. На данных гидроэлектростанциях необходимо провести мероприятия по замене основного и вспомогательного оборудования, полностью выработавшего свой ресурс, с учетом возможности увеличения энергетических параметров, с использованием новых технологий.

Чтобы вывести в ремонт самую верхнюю станцию каскада (ГЭС-1), на которую приходится наибольший напор потока воды с плотины Большого Алматинского озера, необходимо убедиться в надежной работе следующей ГЭС-2.

Таким образом, на первом этапе модернизации Каскада ГЭС рекомендуется выполнить модернизацию ГЭС-2, а затем ГЭС-1 (рисунок 3). Поэтому в данной работе будут произведены расчеты по выбору оборудования для ГЭС-2 в качестве первого объекта модернизации.



Рис. 3. План-схема расположения ГЭС-1 и ГЭС-2

Таким образом, проведение модернизации на ГЭС-2, а затем на ГЭС-1, а также сопутствующих мероприятий по реконструкции гидротехнических сооружений, позволит Каскаду ГЭС увеличить установленную мощность, приступить к модернизации следующих далее по трассе деривации гидроэлектростанций, а также самое главное надежно, безопасно и эффективно поставлять электроэнергию и воду потребителям.

В состав гидротехнических сооружений ГЭС-2 входят (рисунок 4): водозабор; отстойник; переключатель ГЭС-1-2; дюкер; туннель; уравнильная шахта; здание дроссельных затворов; напорный трубопровод; здание ГЭС; отводящий канал.



Рис. 4 . План станционного узла ГЭС-2

Основные параметры ГЭС-2, необходимые для проведения расчетов по выбору заменяемого оборудования, приведены в таблице 3.

Таблица 3

Основные параметры ГЭС-2

№	Наименование характеристик		Ед. изм.	Показатели
1	Наименование ГЭС		-	ГЭС-2
2	Владелец		-	АО "Алматинские электрические станции"
3	Наименование предприятия / департамента		-	Каскад ГЭС АО "АлЭС"
4	Наименование реки		-	Большая Алматинка
5	Место расположения ГЭС		-	Каскад Алматинских ГЭС
6	Вид строительства		-	Реконструкция и модернизация
7	Тип ГЭС		-	деривационная
8	Режим работы ГЭС (по водотоку, на ирригационных попусках и т.п.)		-	попуски ГЭС-1 и водозабор из р.Кумбельсу
9	Расчетный расход ГЭС		м ³ /с	4,35
10	Минимальный расход ГЭС		м ³ /с	0,79
11	Мощность одного гидроагрегата при работе с номинальным расходом ($1 \times 1,4 \text{ м}^3/\text{с}$) и соответствующим ему максимальным напором ($\nabla \text{НПУ} - \nabla \text{УНБ} - \Delta h$)		кВт	6515
12	Мощность ГЭС при работе с расчетным расходом ГЭС ($3 \times 1,45 \text{ м}^3/\text{с}$)		МВт	18,6
13	Установленная мощность ГЭС		МВт	14,4
14	Стальной трубопровод	длина общая	м	1174
		диаметр	м	1,3÷0,95
15	Количество агрегатов		шт.	3
16	Номинальный расход одного агрегата		м ³ /с	1,45
17	Расчетные уровни в напорном бассейне	наибольший (ФУ)	м	1930,2
		нормальный НПУ	м	1929,5
		УМО наименьший	м	1928,3
18	Расчетные уровни в	при расчетном расходе	м	1409

№	Наименование характеристик		Ед. изм.	Показатели
	нижнем бьефе здания ГЭС	ГЭС		
		При расходе 1-го агрегата	м	1408
19	Статические напоры	макс.	м	516,55
		мин.	м	515,35
20	Расчетный напор при работе $Q_{ГЭС} = (3 \times 1,45 \text{ м}^3/\text{с})$		м	487,26

На основе приведенных характеристик мы выполнили расчет и получили актуальные значения расхода воды. Показатели суммарного поступления воды представлены в таблице 4. [4]

Таблица 4

Сведения о суммарном поступлении воды на ГЭС-2

Месяцы	Поступл. от ГЭС-1 Q, м³/сек	Боковая приточность, Q, м³/сек				Суммарное поступление на ГЭС-2, Σ Q, м³/сек
		р. Кумбельсу			ручей Мрамор- ный	
		Естеств. сток	Природ. охран	На ГЭС-2		
январь	1,25	0,52	0,16	0,36	0,05	1,66
февраль	1,21	0,47	0,16	0,31	0,05	1,57
март	1,25	0,47	0,16	0,31	0,05	1,61
апрель	1,56	0,46	0,16	0,30	0,05	1,91
май	1,97	0,76	0,16	0,60	0,05	2,62
июнь	2,85	0,79	0,16	0,63	0,05	3,53
июль	3,74	1,81	1,81	0	0,05	3,79
август	3,71	4,38	4,38	0	0,05	3,76
сентябрь	2,83	1,27	0,16	1,11	0,05	3,99
октябрь	1,43	0,83	0,16	0,67	0,05	2,15
ноябрь	1,21	0,62	0,16	0,46	0,05	1,72
декабрь	1,17	0,43	0,16	0,27	0,05	1,49
Ср. годов.	2,02	1,07	0,65	0,42	0,05	2,48

Далее с учетом этих данных произведем выбор гидросилового оборудования на ГЭС-2. Для этого выполним перерасчет установленной мощности ГЭС-2, параметров с учетом того, что расход воды с каждым годом имеет тенденцию снижаться в связи с уменьшением количества ледников из-за глобального потепления, и как следствие, уменьшением объема воды в Большом Алматинском озере, а также отбором значительной части водных ресурсов вторичными водопользователями.

Используя данные таблиц 3-4, определяем среднемесячную мощность и выработку электроэнергии для многоводного года, обеспеченностью по стоку $P = 25\%$.

Расчеты выполним при следующих параметрах:

- отметка НПУ = 1929,5 м соответствует отметке верхней кромки затвора холостого сброса переключателя ГЭС-1;
- отметка оси существующего коллектора турбин ГЭС-2, $Z_k = 1412,95$ м;
- статический напор на гидроэнергетические агрегаты ГЭС-2: $H_{ст} = 516,55$ м = const.
- потери напора в деривационном тракте ГЭС-2 соответствуют требованиям.

Таким образом, был выполнен расчет по известным формулам и получены значения среднемесячной мощности, а также суммарной выработки электроэнергии, результаты которых сведены в таблицу 5.

Таблиц 5

Результаты расчета мощности и выработки электроэнергии

Месяцы	Расчетные параметры					
	$H_{ст}$	Расход $Q_{ф}$, $м^3/с$	Потери ΔH , м	Напор $H_{ф}$, м	P , МВт	W , тыс. кВт·час
Январь	516,55	1,66	3,74	512,81	7,21	5191,20
Февраль	516,55	1,57	3,55	513,00	6,82	4583,04
Март	516,55	1,61	3,61	512,94	6,99	5200,56
Апрель	516,55	1,91	5,48	511,07	8,27	5954,40
Май	516,55	2,62	9,45	507,10	11,25	8370,00
Июнь	516,55	3,53	17,87	498,68	14,91	10735,20
Июль	516,55	3,79	21,00	495,55	15,91	11837,04
Июль	516,55	3,79	21,00	495,55	15,91	11837,04
Август	516,55	3,76	20,54	496,01	15,80	11755,20
Сентябрь	516,55	3,99	22,88	493,67	16,68	12009,60
Октябрь	516,55	2,15	6,05	510,50	9,30	6919,20
Ноябрь	516,55	1,72	3,83	512,72	7,47	5378,40
Декабрь	516,55	1,49	3,21	513,34	6,48	4821,12

Исходя из наибольшего среднемесячного показателя мощности (сентябрь) $P = 16,68$ МВт, расхода воды $Q_{ф} = 3,99$ $м^3/с$ (таблица 5), климатических условий и особенностей рельефа, а также требований сейсмостойчивости, в качестве основного генерирующего оборудования ГЭС-2 принимаем: тип гидротурбины – турбина Пелтона, ковшового типа горизонтального исполнения; количество сопел – 2; установленная мощность ГЭС-2 - 18,6 МВт; количество гидроагрегатов в здании ГЭС-2 – 3, при установленной мощности каждого 6,2 МВт; расходы ГЭС-2 минимальный 0,79 $м^3/с$; расчетный расход воды через турбину агрегата - 1,40 $м^3/с$; напоры на гидроагрегат: статический при НПУ - 516,55 м; статический при ФПУ - 517,5 м.

На основе требуемых характеристики принимаем к установке 3 генератора горизонтального исполнения, 3 турбины типа «Horizontal

Pelton», регулятор скорости и предтурбинный затвор от компании «ČKD Blansko» производство – Чехия. В таблице 6 приведены технические характеристики выбранного гидросилового оборудования. [5]

Таблица 6

Технические характеристики гидросилового оборудования «ČKD Blansko»

№	Оборудование	Параметр	Ед.	Характеристика
1	Турбина	тип		Horizontal Pelton (D = 940 мм)
		количество	шт.	3
		расход номинальный	м ³ /с	1,4
		расход минимальный		0,42
		напор нетто	м	494,5
		максимальный напор	м	514,1
		мощность турбины	кВт	6000
		скорость вращения	об/мин	1000
		расположение оси вала турбины		горизонтальное
2	Генератор	тип		Горизонтальный синхронный, трехфазный со встроенной системой возбуждения
		количество	шт.	3
		Максимальная мощность	кВт	6000
		напряжение	кВ	6,3
		частота тока	Гц	50
		cosφ		0,9
		скорость вращения	об/мин	1000
3	Регулятор скорости	тип		выполняет полное автоматическое управление турбиной
4	Предтурбинный затвор	тип		DN 500 PN63

Заключение

Результатом проведенного анализа текущего состояния объектов Каскада ГЭС на реке Большая Алматинка является выявление физического и морального износа, а также неремонтопригодности основного и вспомогательного оборудования всех гидроэлектростанций.

В работе разработано технико-экономическое обоснование модернизации и определен наиболее приоритетный этап – замена гидросилового оборудования на ГЭС-2, и как следствие выполнены расчеты по выбору и замене данных агрегатов.

Следующим этапом в рамках проведения модернизации выступает необходимость полной реконструкции секционно-энергетического оборудования, включая ЗРУ-6кВ и ОРУ-35кВ, предусматривающую

замену двух силовых трансформаторов, коммутационного оборудования и кабельной продукции.

Разработанные мероприятия по модернизации уже на данном этапе могут быть реализованы в практической деятельности Каскада ГЭС.

ИСТОЧНИКИ

[1] Данные о мировой энергетике и климате – ежегодник // YEARBOOK.ENERDATA.RU: Внутреннее потребление электроэнергии. 2021. URL: <https://yearbook.enerdata.ru/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>

[2] Алматинские электрические станции // ALES.KZ: Каскад ГЭС пожизненно стратегический объект. 2018. URL: <http://www.ales.kz/ru/my-v-smi/88-2014-god-5/950-kaskad-ges-pozhiznenno-strategi>

[3] Алматинские электрические станции // ALES.KZ: Каскад ГЭС веки истории. 2018. URL: <http://www.ales.kz/ru/my-v-smi/88-2014-god-5/952-kaskad-ges-vekhi-istorii-2>

[4] ТОО «Казгидро» «Разработка существующего и перспективного водного баланса в бассейне реки Большая Алматинка на период до 2020 г.» Алматы, 2009 г.

[5] Оборудование фирмы ČKD BLANSKO // CKDBLANSKO.CZ: products & services, Pelton turbine. URL: <https://www.ckdblansko.cz/en/products-and-services/turbines>

УДК 620.92

ОЦЕНКА СОЛНЕЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ СЭС В ЮЖНОМ РЕГИОНЕ КАЗАХСТАНА

Михалкова Е.Г., кандидат технических наук, доцент;
Орлеанский С.А., магистрант первого курса
НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева»,
Алматы, Казахстан
E-mail: e.mikhalkova@aes.kz, se.orleanskiy@aes.kz

***Аннотация.** В рамках развития альтернативной энергетики в Казахстане планируется повышение доли альтернативных и возобновляемых видов энергии до 15% к 2030 году и до 50% к 2050 году. Учитывая проблематику дефицита электроэнергии на юге, можно говорить об актуальности строительства солнечных станций в Южном регионе.*

Работа посвящена оценке солнечного потенциала для определения оптимального месторасположения СЭС на Юге страны. Для решения данной задачи использовались базы данных программ Google Earth, PVsyst, кадастровая карта РК, карта-схема электрических систем 1150–500–220–110 кВ ЕЭС РК. Приведена методика выбора оптимального расположения станции с учетом различных факторов.

Ключевые слова: оценка потенциала, солнечная энергия, выработка электроэнергии, солнечная электрическая станция, солнечный потенциал.

ASSESSMENT OF THE SOLAR POTENTIAL TO DETERMINE THE OPTIMAL LOCATION OF THE SPS IN THE SOUTHERN REGION OF KAZAKHSTAN

Mikhalkova E.G., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

Orleanskiy S.A., first-year master's student

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev

E-mail: e.mikhalkova@aes.kz, se.orleanskiy@aes.kz

Annotation. Today in Kazakhstan there is a need to switch from energy sources that emit substances that adversely affect the environment during the process of generating electricity to energy sources that pollute the environment to a lesser extent. It is indisputable that renewable energy sources (hereinafter RES) are more environmentally friendly relative to non-renewable ones.

The work is devoted to the assessment of the solar potential to determine the optimal location of the SES in the Southern region of Kazakhstan. To solve this problem, databases of Google Earth, PVsyst, cadastral map of the Republic of Kazakhstan, schematic map of electrical systems 1150-500-220-110 kV of the Republic of Kazakhstan were used. The method of choosing the optimal location of the station, taking into account various factors, is given.

Key words: potential assessment, solar energy, power generation, solar power plant, solar potential.

Проблемы энергосистемы и их решение. Дефицит электроэнергии на Юге

На сегодняшний день в энергосистеме Казахстана существует множество проблем, работы по решению над которыми уже ведутся. Одной из них является дефицит электроэнергии в южной зоне, который компенсируется перетоками мощности в том числе и с северной зоны страны. Согласно данным АО «КЕГOC» [1] на 01.01.2022, в северной зоне мощность всех станций составила 16 079,1 МВт, т.е. 67,116 % от всей установленной мощности, в южной 4 316,7 МВт - 18,018 %, а в западной 3 561,5 МВт - 14,866 %. Потребление электроэнергии северной зоны страны составило 73 853,9 млн кВт·час, что от потребления всей страны в 113 890,3 млн кВт·час составляет 64,847 %, южной зоны 25 488,2 млн кВт·час – 22,38 % и западной зоны 14 548,2 млн кВт·час – 12,773 %. Сравнивая процентное соотношение распределения установленной мощности с процентным соотношением потребления электроэнергии по зонам можно прийти к выводу о наличии дефицита установленной мощности в 4,362 % по южной зоне.

В соответствии с Парижским соглашением, принятому 12 декабря 2015 года и ратифицированному 27 октября 2016 года, Казахстан взял на себя обязанность по снижению выбросов парниковых газов до 328,3 млн тонн к 2030 году и до 193,1 млн тонн к 2050 году, для этого усилен

Экологический кодекс, составлен список необходимых мер, разработана система поддержки зеленой энергетики. Однако, в 2018 году выбросы парниковых газов составили 388 млн тонн, что на 24,7 % больше показателя 2013 года в 292,2 млн тонн; таким образом, энергетическая система страны сталкивается с еще одной проблемой – необходимостью в переходе от электрических станций, выделяющих загрязнения в процессе получения электроэнергии, к экологически безопасным.

Решением этих проблем можно считать строительство экологичных электростанций в южных регионах страны.

Развитие солнечной энергетики в РК

В Республике на 2021 год эксплуатируется 134 объекта электроэнергетики, использующих ВИЭ, суммарная установленная мощность которых достигает 2,01 ГВт, к ним относятся 40 ветровых электрических станций суммарной мощностью в 0,684 ГВт, 40 гидроэлектростанций – 0,28 МВт (таблица 1).

По данным [1] АО “KEGOC” за 2021 год выработано 114 447,9 млн кВт·ч электроэнергии, из которых источниками возобновляемой энергии 12 581,9 млн кВт·ч, что составляет 10,994 %; за 2020 год выработано 108 085,8 млн кВт·ч, из которых ВИЭ - 11 895,5, что составляет 11,006%. Таким образом, прирост выработки “чистой” электроэнергии составил 5,77 %. В течении 2022 года планируется введении 10 электрических станций ВИЭ общей мощностью 290,6 МВт. Так же планируется произвести ежегодные аукционные торги на 460 МВт суммарной выставленной мощности [2].

Таблица 1

Введенные объекты ВИЭ и их суммарная мощность за период с 2014 по 2021 годы

Год	Кол-во объектов ВИЭ	Кол-во ВЭС	Кол-во ГЭС	Кол-во СЭС	Кол-во БГУ	Суммарная мощность, МВт
2014	26	8	28	10	1	177,52
2015	48	8	30	17	1	251
2016	51	9	31	18	1	295,7
2017	57	10	34	19	1	342,8
2018	67	12	34	22	1	531
2019	90	19	37	31	3	1050,1
2020	115	26	37	42	5	1634,7
2021	134	40	40	49	5	2010

Курс на систематизированную поддержки развития ВИЭ в Республике Казахстан взят в 2009 году. Система поддержки разработана с учетом лучших международных практик.

Таким образом, сегодня на территории Казахстана действует система, позволяющая развивать солнечную энергетику.

Критерии выбора и оценки расположения СЭС

Для проектирования сетевых солнечных электростанций применяется свод правил [3] РК 4.04-113-2014 утверждённый 07.01.2015, в котором описаны основополагающие принципы проектирования, в том числе и выбор площадки под строительство станции. Фундаментальными приоритетами при проектировании и строительстве станции является энергетическая надежность и экономическая выгода.

Однако, существует ряд негласных правил, повышающих эффективность будущих станций. Так, например, расположение СЭС вблизи с высоковольтной ЛЭП или ПС снижают потери электроэнергии и расход кабелей или проводов.

В правилах акцентируется внимание на анализе солнечного потенциала местности, он напрямую влияет на вырубку электроэнергии солнечными электрическими станциями. Солнечная инсоляция, показатель потенциально-вырабатываемой электроэнергии на квадратный метр, влияющий на так называемый коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) СЭС, как следствие, чем больше КИУМ, тем больше потенциал выработки электроэнергии, тем меньше срок окупаемости вложений в станцию, и тем выше итоговая прибыль. На сегодняшний день инсоляцию можно оценить, не выходя из дома, используя различные программные комплексы.

Для выбора площадки под размещение фотоэлектрических модулей так же следует обращать внимание на расположение дорог и населенных пунктов. В лучшем случае размещать площадку поблизости с железнодорожной станцией. Этот фактор непосредственно влияет на стоимость транспортировки оборудования станции, что в свою очередь отражается на окупаемости и прибыли.

Фундаментальным принципом можно считать выбор свободных земель или земель, которые возможно приобрести для дальнейшего использования.

Помимо ранее перечисленных критериев важным является упоминаемый в своде правил требование размещать СЭС на ровной площадке.

Определения оптимального месторасположения СЭС в Южном регионе Казахстана

Для определения наиболее потенциально-эффективного в выработке электроэнергии месторасположения площадки для строительства СЭС согласно ранее перечисленным критериям был произведен выбор пяти подходящих участков земли. Основополагающим критерием выбора места для станции является минимизация расстояния до потребителя, однако, в нашем случае станция сетевая, следовательно, оценивается длина линии, соединяющей станцию с системой.

В качестве первого варианта для подключения СЭС была выбрана подстанция Айтекеби 110 кВ, расположенная в Кызылординской области, она является проходной – связывает ПС ГПП-1 220 кВ с ПС Арал 110 кВ. Подключение к этой подстанции разгрузит ЛЭП 107к и 105к, уменьшит загрузку силовых трансформаторов на ПС ГПП-1. Вторым вариантом была выбрана ПС Каратау 220 кВ, расположенная в Туркестанской области, является проходной – связывает ПС Жамбыл 500 кВ с ПС Опорная. Третий вариант – ПС Жаркент 110 кВ, находящаяся в Алматинской области, является узловой подстанцией – соединена с Каратальской ГЭС-4, ПС Акбастау 110 кВ, Хоргос и Коктал. Четвертый вариант – ПС Балатопар, расположена в Алматинской области, тупиковая. Пятый вариант – ПС ГПП-1 220 кВ, расположена в Кызылординской области, соединяет подстанции Кумколь и Кызылординскую.

Вторым критерием выбора расположения станции является наличие свободной земли, оцениваемое данными кадастровой карты РК (рисунок 2). С целью повышения объективности оценки потенциально возможной выработки электроэнергии принято ограничение по площади. Исходя из этого были выбраны подходящие участки земли равной площадью 20 Га.

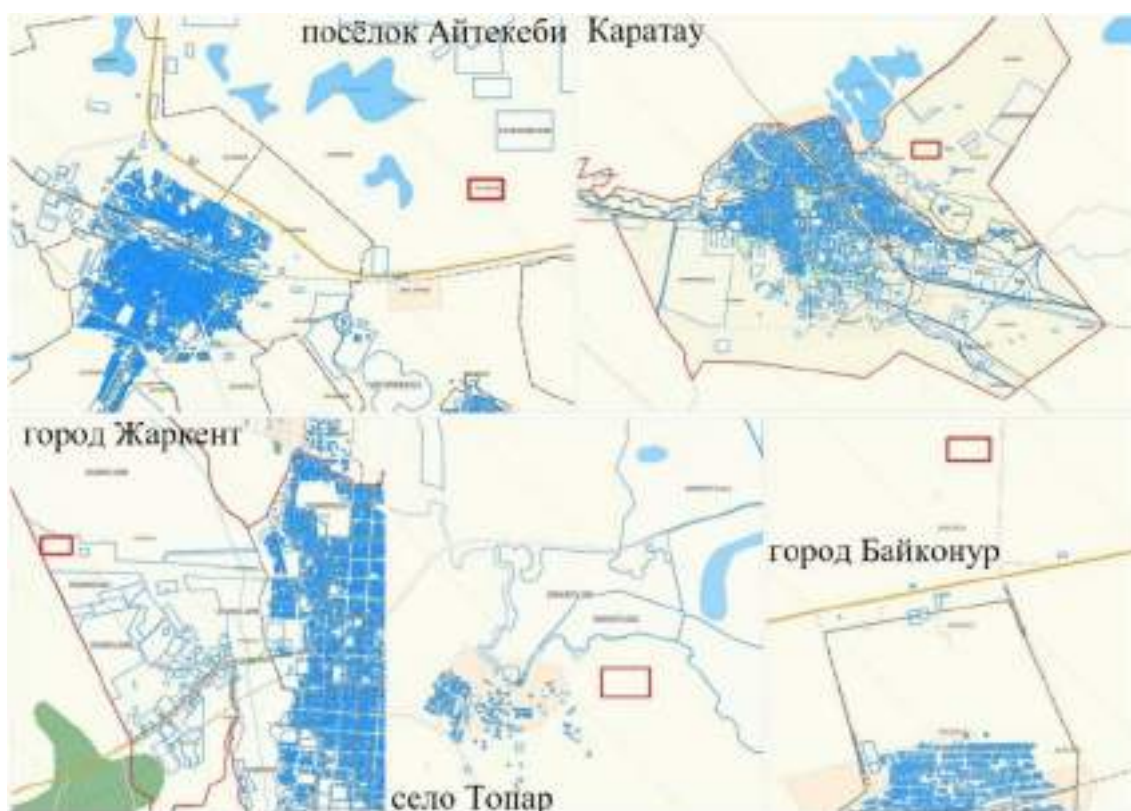


Рис. 2. Фрагменты кадастровой карты, отображающие варианты размещения площадок СЭС

Была осуществлена проверка рельефа местности выбранных участков земли. Для этого использовалась база данных программного комплекса Google Earth [4]. Были построены разрезы, определяющие

средний и максимальный уклоны каждого участка земли, результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Максимальный угол наклона площадок СЭС

№ Вар-та	Средний уклон, %	Максимальный уклон, %	Максимальный угол наклона, °
1	1,0	3,7	2,1
2	1,0	3,3	1,9
3	1,4	3,7	2,1
4	0,8	2,6	1,5
5	1,2	3,9	2,2

Первый участок расположен в 4,6 км восточнее от посёлка Айтеке-Би в Казалинском районе Кызылординской области страны. Для второго выбран участок в черте города Каратау Жамбылской области Таласского района. Третий западнее города Жаркенте в 3,4 км от жилых сооружений. Четвертый восточнее села Балатопар в Балхашском районе Алматинской области. Пятый вариант размещен севернее города Байконур и находится на удалении 3,65 км от жилых сооружений.

В своде правил [3, с.3] указано на то, что установка СЭС допустима на равнине или плато холмов, согласно [6] равнинами называются поверхности с малыми (до 5–10°) уклонами. Таким образом, все выбранные участки можно использовать в качестве площадок под размещение фотоэлектрических модулей.

Следующим шагом является сравнение солнечного потенциала выбранных участков и расчет потенциальной выработки электроэнергии в год. На сегодняшний день существует множество программных комплексов для проектирования солнечных электрических станций, предназначенных в том числе и для получения показателя инсоляции по заданным координатам; самые распространение из них это «PVGIS», «PVSolonline», «PVWatts Calculator», «Helio Scope», «PVsyst» и др. Для определения солнечного потенциала был использован пакет программного обеспечения PVsyst [5].

Подробнее рассмотрим получение данных солнечной инсоляции и расчет потенциальной выработки электроэнергии на примере первого участка, расположенного вблизи подстанции Айтекеби. Получение значений солнечной инсоляции в программе PVsyst осуществляется по координатам участка, для первого варианта – северная широта 45°51'6.97" (45.8519361°), восточная долгота 62°14'43.75" (62.2454861°) (рисунок 4).

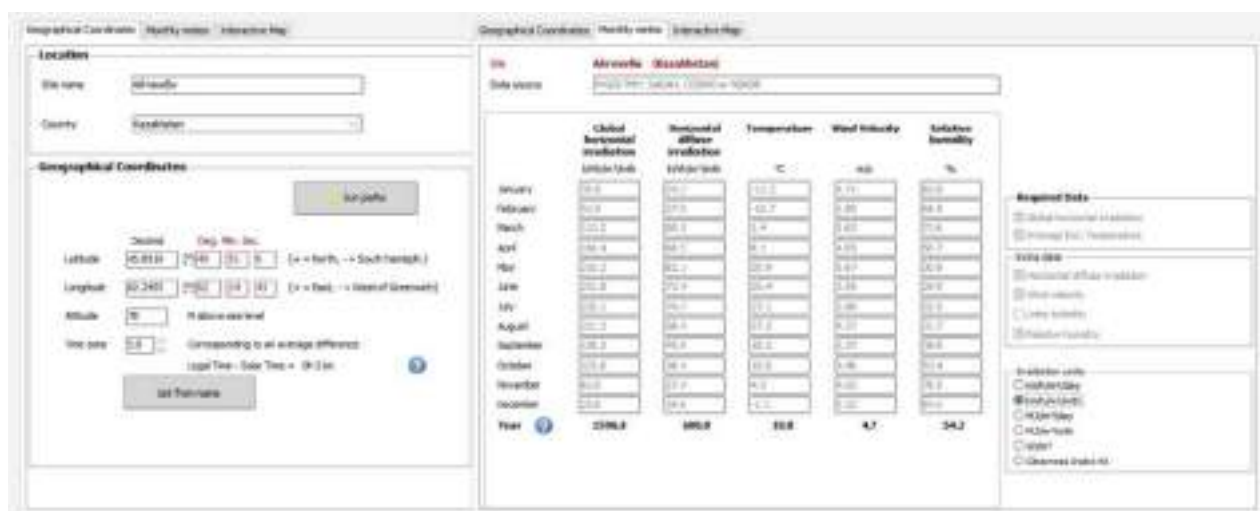


Рис. 4. PVsyst, координаты и инсоляция первого участка

Таким образом получены показатели солнечной радиации по месяцам и за год. В таблице 3 приведены значения инсоляции для сравниваемых вариантов.

Таблица 3
Данные инсоляции PVGIS для вариантов размещения СЭС

№	Координаты	Ближайшая ПС	Инсоляция по данным PVGIS			
			Вт/м²	кВт·час/м² за сутки	кВт·час/м² за год	
1	45°51'6.97"C 62°14'43.75"B	Айтекеби	182,3	4,37	1596,8	
2	43°11'18.96"C 70°28'58.65"B	Каратау	183,9	4,41	1611,1	
3	44°10'52.35"C 79°56'10.40"B	Жаркент	187,0	4,49	1637,8	
4	45°2'0.83"C 75°3'1.17"B	Балатопар	185,0	4,44	1620,5	
5	45°41'41.14"C 63°18'44.66"B	ГПП-1	182,1	4,37	1595,2	

Третий вариант месторасположения СЭС имеет наибольший показатель солнечной инсоляции – 187,0 Вт/м².

Был произведен расчет максимальной установленной мощности СЭС. Для этого необходимо знать размеры и конфигурацию солнечной электростанции. Площадь участков всех вариантов была принята одинаковой – 20 Га, в среднем соотношение сторон выбранных участков составило 57:35. Для объективности сравнения была использована одинаковая конфигурация, состоящая из фотоэлектрических столов, на которых размещается 50 модулей LR5–72HBD 520 Вт в два ряда. Соединение панелей между рядами последовательное, таким образом от

стола отходило два положительных и два отрицательный кабеля. Размеры фотоэлектрического стола составили 28,35×4,52 метра. В результате расчета получено значение максимального количество фотоэлектрических столов, равное 570 шт. Максимальная установленная мощность для каждого варианта размещения станции составило 14,82 МВт.

Для расчёта вырабатываемой электроэнергии использовались возможности программы PVsyst. К уже внесенным данным координат были добавлены характеристики станций, для всех вариантов одинаковые. Расстояние между рядами фотоэлектрических столов было рассчитано для снижения эффекта взаимозамещения и составило 11 метров; принят наиболее рациональный угол наклона модулей – 30°; количество модулей составило 28 500 шт (рисунок 5).

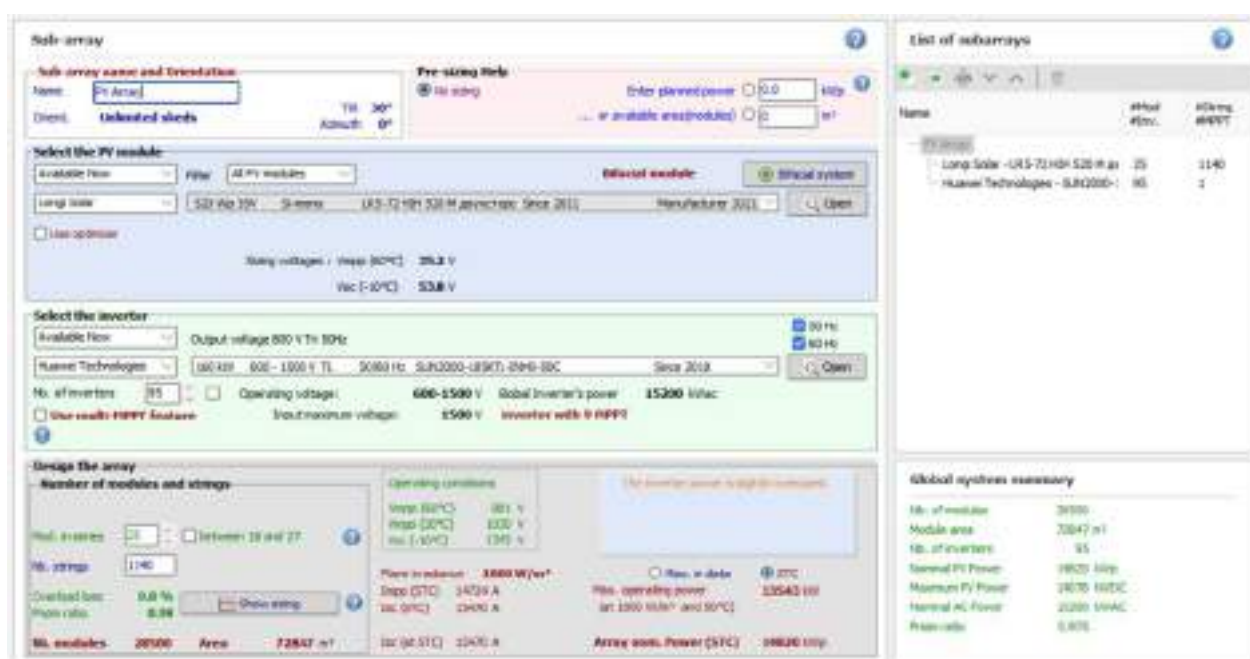


Рис. 5. Конфигурация СЭС

В результате программного расчета выработка электроэнергии в год для первого варианта, вблизи подстанции Айтекеби, составила 24 695 МВт·час, следовательно КИУМ примерно 0,19. В таблицу 4 сведены показатели выработки электроэнергии для каждого варианта расположения станции. Построены графики выработки электроэнергии для каждого варианта по месяцам (рисунок 6).

Исходя из расчетных данных приведенных в таблице 4 наиболее потенциально-эффективным по выработке электроэнергии является третий вариант размещения площадки под строительство СЭС – вблизи города Жаркент с выработкой в 25,78 тыс. МВт·час за год. Минимальное значение вырабатываемой электроэнергии у второго варианта – вблизи города Каратау, составляющее 23,57 тыс. МВт·час. Третий вариант на 9,366% больше второго варианта, сравнивая с разницей в 1,6 % инсоляции, можно

говорить о значимости проведения предварительных расчетов выработки электроэнергии для определения месторасположения СЭС.

Таблица 4

Выработка электроэнергии в год

№	Ближайшая ПС	Выработка электроэнергии за год, МВт·час	КИУМ	Прирос э\э от минимального значения, %
1	Айтекеби	24 695	0,19	4,755
2	Каратау	23 574	0,182	-
3	Жаркент	25 782	0,199	9,366
4	Балатопар	25 027	0,193	6,163
5	ГПП-1	24 452	0,188	3,724

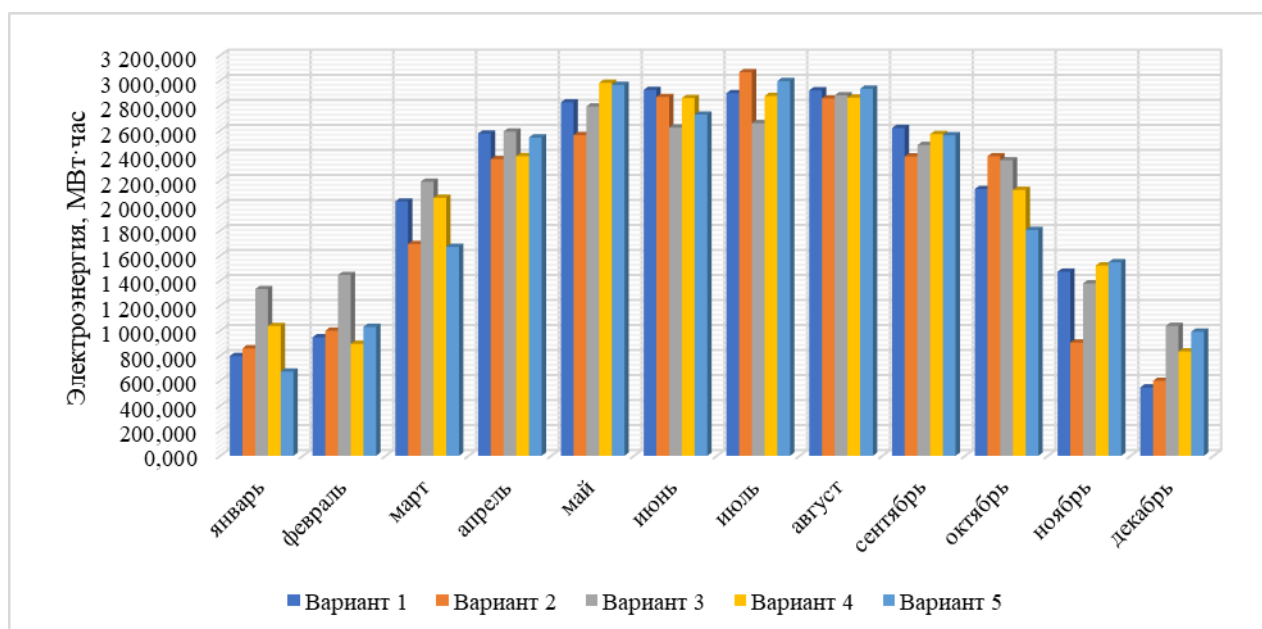


Рис. 6. График выработки электроэнергии по месяцам для пяти вариантов месторасположения СЭС в Южном регионе страны

Как видно из рисунка 6 разница выработки электроэнергии в летние месяцы не имеет критической разницы между всеми вариантами кроме третьего, он имеет выработку значительно ниже остальных, однако доминирующий отрыв в выработке в зимние месяцы продвигают третий вариант в лидеры по выработке электроэнергии в год.

Таким образом оценив солнечный потенциал для пяти различных месторасположений СЭС, можно сделать вывод, что наиболее эффективным является строительство станции вблизи города Жаркент.

Заключение

В статье произведена оценка солнечного потенциала для проектирования СЭС в Южном регионе Казахстана. Приведены данные по развитию солнечной энергетики в Казахстане. Для оценки расположения солнечной электрической станции рассмотрены следующие критерии: нахождение вблизи с подстанцией или высоковольтной линией электропередач, потенциал производства фотоэлектрической энергии, расположенность вблизи с дорогой, наличие свободных земель, ровность поверхности.

Получены данные солнечной инсоляции, произведен расчет выработки электроэнергии для пяти вариантов расположения станции, построен сравнительный график выработки электроэнергии по месяцам. Наиболее оптимальным в качестве участка для строительства СЭС признан третий вариант – месторасположение вблизи города Жаркент.

Источники

[1] Отчет. Годовой отчет 2021 / АО «Казахстанская компания по управлению электрическими сетями» (Kazakhstan Electricity Grid Operating Company) «KEGOC», 2021. – 146 с.

[2] Приказ. Об утверждении графика проведения аукционных торгов на 2022 год / Министерство энергетики Республики Казахстан. – г. Нур-Султан, 2022 г. – 25 с.

[3] Свод правил Республики Казахстан: СП РК 4.04–113–2014. Проектирование солнечных электростанций. – Введ. с 01.06.2015. – Астана: Министерство национальной экономики РК, 2015. – 77 с.

[4] Google Планета Земля 7.3.4.864 [Электронный ресурс]/ Alphabet. - URL: <https://www.google.com/earth/about/versions>

[5] PVsyst Версия 7.2 [Электронный ресурс]/ Швейцария: PVsyst SA, 2021. – URL: <https://www.pvsyst.com>

[6] География. Современная иллюстрированная энциклопедия. — М.: Росмэн. Под редакцией проф. А. П. Горкина. 2006. – 624 с.

УДК 621.33

О ВЫБОРЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Жусипов С.С., Чныбаева Д. М.

ТОО «СПК Мост», Алматинский университет энергетики и связи, имени Г.Даукеева
e-mail: alatauss@mail.ru, d.chnybaeva@aes.kz

***Аннотация.** Предлагается альтернативная система электропривода с машиной двойного питания. Проведено сравнение преобразователей частоты, используемых в машине двойного питания и в системе «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель».*

Ключевые слова: асинхронный двигатель, машина двойного питания, центробежный механизм.

ABOUT THE CHOICE OF AN ELECTRIC DRIVE SYSTEM FOR CENTRIFUGAL MECHANISMS

Zhussupov S.S., Chnybayeva D. M.

SPK Most LLP, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev

Abstract. An alternative electric drive system with a dual-feed machine is proposed. A comparison is made of frequency converters used in a dual-feed machine and in the system "Frequency converter - asynchronous motor."

Keywords: asynchronous motor, dual power machine, centrifugal mechanism

Введение

Наиболее распространенными и энергоемкими потребителями электроэнергии в промышленности и жилищно – коммунальном хозяйстве являются механизмы центробежного действия – насосы, вентиляторы, компрессоры и другие. В настоящее время проводится перевод таких механизмов на регулируемые по частоте вращения автоматизированные электроприводы. Эти мероприятия позволяют избавиться от потерь мощности в гидравлических регуляторах, плавно управлять параметрами технологического процесса.

Для реализации процесса проектирования новых и модернизации действующих центробежных агрегатов необходимо решить ряд вопросов: выбор системы автоматизированного электропривода, схемных решений, алгоритмов управления.

Основная часть

При выборе системы электропривода центробежных механизмов в подавляющем ряде случаев выбирается вариант «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ПЧ-АД). К достоинствам системы ПЧ-АД можно отнести следующее:

- высокий КПД в широком диапазоне регулирования скорости АД, так как он во всем диапазоне регулирования работает с малой величиной скольжения ротора (малыми потерями скольжения);
- хорошие регулировочные свойства, обеспечивающие возможность плавно регулировать скорость и формировать требуемые характеристики и законы регулирования;
- надежность используемого в системе АД с короткозамкнутым ротором.

Ведущими фирмами-производителями для реализации частотного управления машинами переменного тока предлагаются различные варианты преобразователей частоты, отличающиеся принципом действия, схемными решениями, алгоритмами управления и т.д.

Однако, по нашему мнению, стоит внимательнее оценить целесообразность «поголовного» применения системы «ПЧ-АД» для привода, например, центробежных насосов.

Одной из наиболее эффективных возможностей энергосбережения является создание электроприводов, максимально учитывающих параметры и специфику работы приводного механизма. При выборе того или иного типа регулируемого электропривода для центробежных агрегатов, наряду с общепринятыми критериями (массогабаритные показатели, стоимость, надежность и т.д.), следует учесть следующие особенности:

- насосы и вентиляторы не требуют предельной точности и высокого быстродействия при регулировании производительности;
- рабочий диапазон регулирования скорости в подавляющем большинстве случаев невелик (до 2.5:1);
- значительные (до 10 МВт) установленные мощности и продолжительный режим работы агрегатов определяют повышенные требования к энергетическим показателям электропривода.

Анализ номенклатуры электроприводов «ПЧ-АД», предлагаемых на рынке, показывает, что диапазон регулирования скорости их достигает значений от 100:1 до 1000:1, что совершенно излишне для обычных насосов и вентиляторов. Также нет необходимости в прецизионной точности регулирования и предельном быстродействии, которые гарантируют производители. Вся эта функциональная избыточность значительно увеличивает стоимость электропривода, которая и так чрезвычайно высока.

Особый вопрос о цене ПЧ для высоковольтных асинхронных двигателей центробежных насосов, применяемых в системах магистрального трубопроводного транспорта и тепловых электростанциях. Здесь предлагается два варианта построения ПЧ. В двухтрансформаторной схеме напряжение величиной 6(10) кВ из питающей сети подаётся на понижающий трансформатор Т1. Выходное трёхфазное напряжение трансформатора Т1 равно 400 (660) В и подаётся на низковольтный частотный преобразователь ПЧ. Далее напряжение переменной частоты повышается до 6 (10) кВ повышающим трансформатором Т2. При этом используется относительно дешёвый низковольтный частотный преобразователь, но в схеме появляется дополнительный повышающий трансформатор (стоимость, габариты, дополнительные потери мощности).

Высоковольтный частотный преобразователь типа TMdrive выполнен на одном многообмоточном трансформаторе и IGB - транзисторных инверторных ячейках, качественно решает задачу преобразования высоковольтного напряжения, но практически недоступен по стоимости.

Электропривод центробежных механизмов является основной областью, где системам «ПЧ-АД» имеется альтернатива – **машина**

двойного питания (МДП – рисунок1) – асинхронный двигатель, к контактному кольцу ротора которого подводится регулируемое по амплитуде, частоте и фазе напряжение.

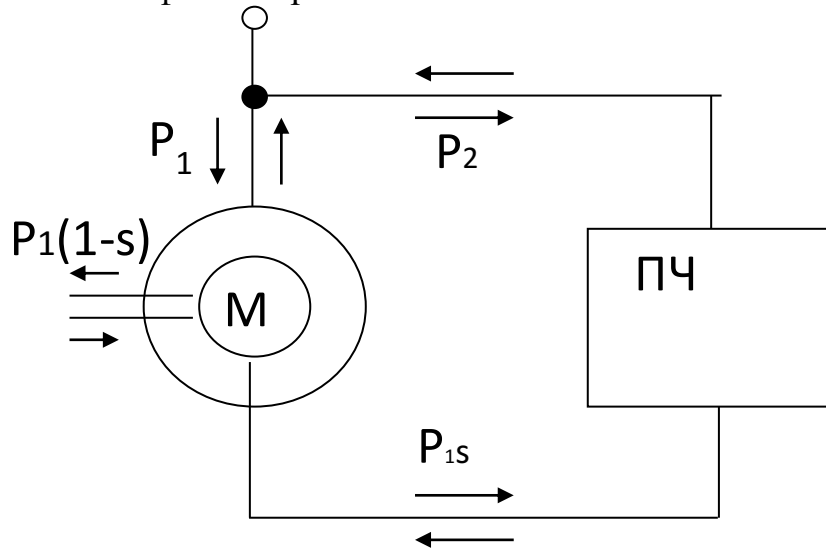


Рис.1. Машина двойного питания

Сравним параметры преобразователей частоты. Мощность преобразователя «ПЧ-АД», независимо от диапазона регулирования скорости, рассчитывается на полную мощность двигателя, в МДП установленная мощность преобразователя меньше и соответствует глубине регулирования скорости.

Особенно заметным это преимущество становится для центробежных механизмов, момент сопротивления которых зависит от частоты вращения рабочего колеса. Определим мощность скольжения электропривода центробежного насоса (ЦН). В [1] получено выражение для механической характеристики ЦН:

$$M = \frac{P_{\text{мг}}}{\omega \eta_{\text{цн}}} = \frac{C_n H_c + \omega^2}{\omega \eta_{\text{цн}}(\omega, H_c)} \sqrt{\omega^2 - \frac{H_c}{H_o}}, \quad (1)$$

где H_c – статический напор, обусловленный разностью уровней начала и конца трубопровода;

H_o – напор насоса при закрытой задвижке ($Q = 0$);

ω – угловая скорость вращения, о.е.;

C_n – коэффициент, равный.

$$C_n = 1 - \frac{1}{H_o}.$$

Выражая частоту вращения поля статора через скольжение, получим значение мощности скольжения

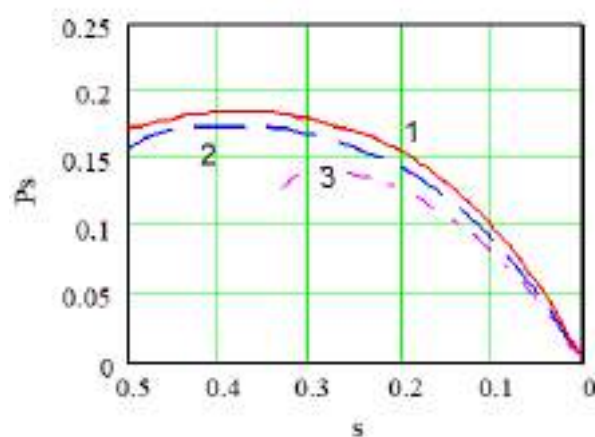
$$P_s = \frac{s(C_n H_c + \left(\frac{1-s}{1-s_n}\right)^2)}{(1-s_n)\eta_{\text{цн}}(\omega, H_c)} \sqrt{1 - \frac{H_c}{H_o} \left(\frac{1-s_n}{1-s}\right)^2}. \quad (2)$$

Величина мощности скольжения зависит как от параметров насоса и трубопровода, так и от глубины регулирования частоты вращения рабочего колеса насоса. В (2) учтено также изменение КПД насоса при регулировании производительности.

$$\begin{aligned} \omega(s) &:= \frac{1-s}{1-s_n} \\ \text{зависимость скорости от скольжения} \\ \eta_{\text{цн}}(s, H_c) &:= 0.037 + 2.118 \cdot Q(s, H_c) - 1.311 \cdot Q(s, H_c)^2 \quad \text{изменение КПД ЦН при} \\ &\text{регуливании} \\ M(s, H_c) &:= \frac{C_n \cdot H_c + \omega(s)^2}{\omega(s) \cdot \eta_{\text{цн}}(s, H_c)} \cdot \sqrt{\omega(s)^2 - \frac{H_c}{H_o}} \\ &\text{механическая характеристика ЦН} \\ M1(s, H_c) &:= \frac{C_n \cdot H_c + \left(\frac{1-s}{1-s_n}\right)^2}{\frac{1-s}{1-s_n} \cdot \eta_{\text{цн}}(s, H_c)} \cdot \sqrt{\left(\frac{1-s}{1-s_n}\right)^2 - \frac{H_c}{H_o}} \end{aligned}$$

Рис. 2. Расчет мощности скольжения (Mathcad 15)

На рисунке 3 представлены кривые изменения мощности скольжения (то есть мощности, протекающей через ПЧ) в рабочем диапазоне регулирования скорости (скольжения) АД при различных значениях статического напора H_c .



1 - $H_c=0$; 2 - $H_c=0.3$; 3 - $H_c=0.6$

Рис. 3. Зависимость мощности скольжения от скольжения АД

В рабочем диапазоне регулирования ЦН эта мощность не превышает 18% номинальной мощности двигателя и уменьшается с увеличением H_c . Таким образом, установленная мощность преобразователя МДП в 4-5 раз меньше, чем в системе ПЧ-АД. Кроме снижения стоимости преобразователя и привода в целом, этот фактор обеспечивает снижение потерь при преобразовании мощности, КПД МДП – привода выше, чем в системе ПЧ – АД.

Поскольку в МДП преобразованию подвергается только часть потребляемой приводом мощности (в отличие от ПЧ – АД), снижаются потери в двигателе и питающей сети от искажающих составляющих токов и напряжений.

Еще одним преимуществом МДП является следующее. Выше указывалось, что для регулирования высоковольтных двигателей в схеме ПЧ –АД используется дорогие и сложные схемы и элементы ПЧ для коммутации напряжений 6(10) кВ. Максимальное значение ЭДС ротора E_{2k} таких двигателей лежит в пределах 1...1.5 кВ, а с учетом диапазона регулирования ЦН ($E_{2max} = E_{2k} S_{max}$) не превышает 600 В. Это позволяет использовать в ПЧ МДП низковольтную элементную базу для преобразователей, что значительно снижает их стоимость.

Кроме того, еще основоположниками развития каскадных систем электропривода доказана возможность регулирования реактивной мощности по цепи статора, позволяющая принципиально обеспечить работу привода с единичным (и даже опережающим) коэффициентом мощности [2]. То есть, МДП, в зависимости от режима работы центробежного насоса, может работать с регулируемым коэффициентом мощности, и даже в режиме синхронного компенсатора реактивной мощности.

Даже незначительный по объему анализ состояния внедрения приводов с МДП на объектах с центробежной нагрузкой показывает безусловную перспективность этого направления. Приведем только два примера из соседней с нами Российской Федерации. Фирмы предлагают для центробежных механизмов, требующих по условиям эксплуатации регулирования частоты вращения в ограниченном диапазоне электроприводы типа РБД, выполненные на базе МДП.

Для регулирования момента и скорости высоковольтных асинхронных двигателей с фазным ротором ЗАО «ЭРАСИБ» разработало и применяет роторный рекуперативный транзисторный преобразователь частоты типа [«ЭРАТОН-ФР»](#). Высоковольтный асинхронный электродвигатель с фазным ротором (АД ФР) при питании обмотки статора от сети 6 кВ 50 Гц и включении в цепь ротора рекуперативного транзисторного преобразователя частоты (ПЧ) типа «ЭРАТОН-ФР» представляет собой управляемую машину двойного питания. Регулирование скорости АД преобразователем «ЭРАТОН-ФР» в рабочем диапазоне осуществляется с высоким КПД (97%), высоким

коэффициентом мощности (0,95 – 1,0) при синусоидальной форме тока в питающей сети.

В 2017 году компания РУСЭЛПРОМ приняла программу по импорто-замещению украинских высоковольтных электродвигателей с фазным ротором и разработала серию 62(64) электродвигателей АКН и АКНЗ для производства на электромашиностроительном заводе ООО «ЛЭЗ» (г. Санкт-Петербург). Это решение направлено также развитие электроприводов с машиной двойного питания, поскольку эта система в настоящее время является единственной для регулирования асинхронных двигателей с фазным ротором. В Республике Казахстан исследования электроприводов с машиной двойного питания велись в КазНИТУ имени К.Сатпаева и АУЭС имени Гумарбека Даукеева.

Заключение

Изложенное позволяет утверждать, что предлагаемые на рынке приводы «ПЧ – АД» являются по своему составу и характеристикам функционально избыточными для механизмов центробежного действия. Электроприводы с регулированием по цепи фазного ротора асинхронного двигателя, и, в частности, по схеме машины двойного питания, более адаптированы к центробежной нагрузке, чем система «ПЧ-АД», так как:

- преобразователи частоты в цепи ротора двигателей МДП значительно дешевле, так как их установленная мощность в 4...5 раз меньше мощности преобразователей системы ПЧ - АД,
- преобразователи МДП с высоковольтными двигателями могут выполняться на низковольтной элементной базе, так как устанавливаются в роторной цепи АД;
- МДП с центробежной нагрузкой имеют более высокие энергетические показатели; в них в ПЧ преобразуется не вся мощность, подводимая к насосному агрегату (как в системе ПЧ – АД), а только мощность скольжения, которая в приводе насосных агрегатов не превышает 18% номинальной мощности электропривода; соответственно, снижаются потери мощности в элементах ПЧ МДП.
- снижение мощности, преобразуемой в ПЧ МДП, ведет к снижению потерь мощности от искажающих составляющих токов и напряжений.

Таким образом, электропривод по схеме машины двойного питания является серьезной альтернативой распространенным в настоящее время электроприводам ПЧ – АД. При переводе центробежных агрегатов на регулируемые системы электропривода необходим точный сравнительный анализ этих систем (стоимость, энергетические показатели) в каждом конкретном случае. Следует возобновить исследования по реализации МДП – электроприводов на объектах Республики Казахстан.

ИСТОЧНИКИ

[1] M.Mustafin, N.Almuratova. International Journal of Pharmacy & Technology. Calculation of transient processes of electric drives of centrifugal

mechanisms. IJPT| Sep-2016 | Vol. 8 | Issue No.3 | Indian.

[2] Онищенко Г. Б., Локтева И. Л. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания М.: Энергия, 1979.

[3] Дьяконов В.П. «Mathcad 8–12 для всех» Издательство: «Солон-пресс», 2005.

[4] Краснов Д. В., Онищенко Г. Б. Оценка потребности в высоковольтных регулируемых электроприводах переменного тока. [Текст]// Известия ТулГУ. Технические науки 2014, Вып. 3, ч.1. –73с.

[5] Мустафин М. А., Цыба Ю.А. Универсальная программа расчета переходных процессов асинхронного двигателя. «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях». [Текст]// –Алматы: АИЭС, 2006 –251с.

[6] Мустафин М. А. Мустафин Е. М. Энергосберегающие системы электропривода центробежных насосов. [Мәтін]// Монография, – Алматы, ТОО «Гига трейд», 2009–248 с.

[7] Мустафин М. А. Расчёт энергетических характеристик электроприводов центробежных механизмов в динамических режимах. [Мәтін]// Труды университета КарГТУ No1, 2007–83 с.

[8] Д.Е. Сембин. Оптимизация геометрии статора энергосберегающего асинхронного двигателя частотно-регулируемого привода насоса нефтеперекачивающей станции [Мәтін] // Сб. научных трудов по материалам второй международной научно-технической конференции АИЭС, Алматы: 2000.

УДК 621.311.26

Оптимизация структуры децентрализованных фото-дизельных систем электроснабжения удаленных потребителей с применением ВИЭ

¹Ж.Д.Толеубеков, ²Ы.М. Аутбаев, ²Е.Т. Әмитов

¹ТОО «SAB Energy»

²НАО «Алматинский университет энергетики и связи им.Гумарбека Даукеева»

e-mail: dauletbekuli.vip.98@mail.ru, e.amitov@aes.kz, y.autbayev@aes.kz

Аннотация. Целью данной работы является изучение возможности внедрения и оптимизация структуры децентрализованных фото-дизельных систем электроснабжения удаленных потребителей Казахстана на примере выбранной местности. Изучены проблемы энергоснабжения отдаленных районов и потребителей с односторонней подачей, основные причины отключения энергосистемы. В связи с этим, электроснабжение удаленных потребителей является актуальной задачей развития энергетической отрасли нашей страны. Был проведен анализ более ранних исследований и тенденции усовершенствования данной тематики. Провели расчет потребляемой мощности электрической энергии выбранной местности в пиковый период и на основании полученных данных, проанализировано эффективность применения и основные преимущества фото-дизельных систем электроснабжения. По

опыту иностранных производителей были выбраны основные составляющие для фото-дизельной системы электроснабжения.

Ключевые слова: гибридные системы электроснабжения, фото-дизельная система электроснабжения, дизельная электростанция, потребитель электрической энергии, энергоснабжения, энергосистема.

Optimization of the structure of decentralized photo-diesel power supply systems for remote consumers using renewable energy sources

¹ Zh.D. Toleubekov, ² Y.M. Aytbaev, ² E.T. Amitov

¹ TOO «SAB Energy»

² Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev

e-mail: dauletbekuli.vip.98@mail.ru, e.amitov@aes.kz, y.autbayev@aes.kz

Abstract

The purpose of this article is to study the possibility of introducing and optimizing the structure of decentralized photo-diesel power supply systems for remote consumers in Kazakhstan using the example of the selected area. The problems of power supply to remote territories and consumers with one-way supply have been studied, as well as the main reasons for shutting down the power system. In this regard, the power supply of remote consumers is an urgent task for the development of the energy industry in our country. The analysis of earlier studies and trends in improving this topic has been carried out. We have calculated the power consumption of electrical energy in the selected area during the peak period and, based on the data obtained, analyzed the application effectiveness and the main advantages of photo-diesel power supply systems. Based on the experience of foreign manufacturers, the main components for the photo-diesel power supply system have been selected.

Key words: hybrid power supply systems, photo-diesel power supply system, diesel power plant, electrical energy consumer, power supply, power system.

Введение

Оптимизация структуры децентрализованных фото-дизельных систем электроснабжения удаленных потребителей нашей страны является актуальной тематикой на сегодняшний момент. Огромная территория страны, и труднодоступность местного ландшафта приводят к осложнениям в энергообеспечении удаленных потребителей от централизованных энергосистем. Аварийные ситуации в энергосистеме засчет ухудшения атмосферного воздуха и аномальных погодных явления в последние годы проявляются все больше. Причиной этому служат различные факторы связанные с долгим сроком эксплуатации электрооборудования и внешние погодные явление. Одной из таких случаев было выявлено на подстанциях ПС-220 кВ Атырауских электрических сетях в январе 2021 года [1, 2]. Было установлено, что основной причиной искровых разрядов и дуговых перекрытий наружной изоляции электрооборудования являлось аномально быстрое загрязнение изоляции высоковольтного оборудования ПС проводящими осадками в виде соляного тумана и морозящего дождя. Массовые отключения привели к значительным перебоям в электроснабжении предприятий и организаций

Атырауской области, дефициту и отклонению напряжения электроэнергии для нефтедобывающих месторождений и населения региона в зимний период.

В связи с перебойной работы энергосистемы и нехватки электрической энергии в разный период года, последнее время в нашей стране все больше проявляют интерес к гибридным системам электроснабжения (ГСЭ) с возобновляемым источникам электроэнергии. Это дает возможность бесперебойного обеспечения электрической энергией удаленных потребителей децентрализованными фото-дизельными системами электроснабжения.

В работе [3] были рассмотрены алгоритмы работы ресурсной математической модели солнечной энергетики. Математическая модель основана на использовании баз данных, содержащих фактические данные наблюдений за метеорологическими параметрами. В аналогичной работе [4] изучалось современное состояние и перспективы развития топливно-энергетического комплекса. В мире не так много организации, которые предоставляют правдивую информацию об статистических и прогнозных исследованиях мировой энергетики. По представленным прогнозам международного энергетического агентства (МЭА) к 2035 г. мировое потребление энергии возрастет примерно в 1,5 раза. Органические топлива будут продолжать превалировать в мировом энергетическом балансе, с 35% в 2007 г. до 30% в 2035 г. в связи с предполагаемым продолжением роста цен на нефть.

В работе [5-7] были изучены гибридные накопители электрической энергии. Основными накопителями энергии являются гибридные системы на базе долговременных накопительных систем – аккумуляторов, и кратковременных накопительных систем – батарей суперконденсаторов, позволяющие повысить управляемость, надежность и экономичность функционирования, в том числе при наличии в ее составе децентрализованных и нетрадиционных источников электроэнергии. В наше время в автономных системах электроснабжения в виде накопителей энергии широко распространены свинцово-кислотные, натрий-серные, литий-ионные и никель-кадмиевые аккумуляторные батареи (АКБ).

Гибридные накопители энергии (ГНЭ) могут использоваться при покрытии пиковых нагрузок, сглаживании графиков нагрузки при установленной мощности 1,5 МВт, 5 МВт, 20 МВт, 50 МВт и длительностью работы (3 ... 5) часов в сутки, что позволяет получить следующие преимущества снижение нагрузки на электросетевые оборудование путем накопления энергии вместо затрат по модернизации сетевой инфраструктуры, снижение операционных и эксплуатационных затрат [12].

В качестве примера удаленного потребителя была выбрана село Ушбиик находящийся в Жарминском районе Восточно-Казахстанской области. В данной местности отключение электроэнергии является частым

явлением. Основной источник электроэнергии приходит через воздушную линию ВЛ-110 кВ Жангизтобе-Шульбинская ГЭС, которая приходит от воздушной линии ТОО «АЭС Шульбинская ГЭС». В подстанции установлен трансформатор ТМН- 2500/110/6 кВ в одном экземпляре. В селе 7 комплексных трансформаторных подстанции на 6 кВ, от них питается около 400 потребителей электроэнергии, среди которых есть 50 потребителей относящиеся к юридическими лицами. Отключения воздушной линии в зимний период очень высокий. Причиной отключения служат внешние факторы в виде обильных осадков снега и моральное старение силовых электрооборудования. В среднем, отключение в зимний период за месяц 3-4 раза. Летом производятся плановые ремонтные мероприятия для надежной работы электрооборудования, что приводит к частым отключениям.

Методы исследования

В качестве метода исследования выступает экономико-математическое моделирование, аналитическое исследование и сравнительный анализ существующих систем автономного электроснабжения. В анализах были изучены причины отключения, отражение отключении линий на местных жителей и предприятия, анализ погоды выбранной местности, количество потребляемой электроэнергии. Был построен экономико-математическое моделирование, экономическая целесообразность установки оборудования ГСЭ.

Численность население села Ушбиик около 1500 жителей. Рядом с селом расположена асфальта-бетонный завод. Что в свою очередь, приводит еще большему увеличению объема потребления электроэнергии. Причины отключения от основной питающей линии: обрыв воздушной линии, сильное перегревание силового трансформатора при пиковых показателях нагрузки, моральное устарение силовых электрооборудования. В осенне-зимний период (ОЗП) обслуживание усложняется сильными погодными явлениями и удаленное месторасположение объекта исследования. В связи с этим была предложена фото-дизельная система электроснабжения удаленных потребителей и оптимизация её структуры. В качестве варианта энергетического комплекса была выбрана система с двумя энергоисточниками, каждый из которых способен покрывать в определенные временные интервалы потребности электрической нагрузки, характеризуется максимумом возможностей по замещению дизельной генерации энергией возобновляемого источника. Данное решение позволяет больше экономить дизельное топливо, сокращая вредные выбросы в атмосферу.

Результаты исследования

Дизельная электростанция (ДЭС) представляет собой генерирующее электроэнергию устройство, состоящее из дизельного двигателя и генератора переменного тока, сочлененных между собой. Все

оборудование установлены на прочную металлическую раму. Топливный бак рассчитан на 6-8 часов работы дизельной электростанции. Электростанция обеспечивается локальной системой контроля и управления – панелью управления. Принцип действия основана на сгорании топлива в цилиндрах дизельного двигателя, через кривошипно-шатунный механизм передается на коленчатый вал двигателя. Коленчатый вал двигателя посредством гибкой муфты соединен с валом ротора генератора переменного тока. Вращающийся ротор наводит в обмотках статора переменное напряжение. Это напряжение подается к подключенным потребителям. Дизельная электростанция имеет различный ряд номинальных мощностей – от 10 до 3300кВА в единичном агрегате. Мощность ДЭС может быть увеличена за счет совокупной работы агрегатов в параллельной группе [8, 9].

Солнечные фотоэлектрические станции генерируют электричество путем непосредственного преобразования энергии солнечного излучения в электроэнергию.

Возможность отключения ДЭС в периоды высоких показателей потенциала возобновляемого энергоресурса достигается усложнением состава гибридного энергокомплекса и алгоритмов управления его элементами. Схема подключения гибридной системы электроснабжения рассматриваемого типа приведена на рисунке 1.

Представленная схема гибридного энергетического комплекса предусматривает объединение различных источников электроэнергии на шине переменного тока 10кВ на существующей подстанции.

В период высоких потенциалов возобновляемого энергоресурса ДЭС отключается. Колебания потребляемой и генерируемой от ВИЭ мощности демпфируется запасом энергии в аккумуляторах, что позволяет уменьшить количество запусков ДЭС [10].

В качестве оптимизации структуры фото-дизельной системы электроснабжения предлагается использования солнечных панелей производства компании «NwComp Solar» (JUP6). Ниже в таблице 1 приведены характеристики солнечного модуля.

Таблица 1

Технические характеристики солнечных панелей NwComp Solar

Наименование компании производителя	JUP6
Страна производитель	Китай
Тип модуля	поликристаллический
Эффективность модуля, %	15,9
Единичная мощность модуля, Вт	260
Напряжение холостого хода, В	37,98
Напряжение в точке максимальной мощности, В	30,63
Ток в точке максимальной мощности, А	8,49
Ток короткого замыкания, А	9,04
Рабочая температура окружающего воздуха, °С	-40,0°С...+85°С
Габаритный размер, мм	1650x991x40

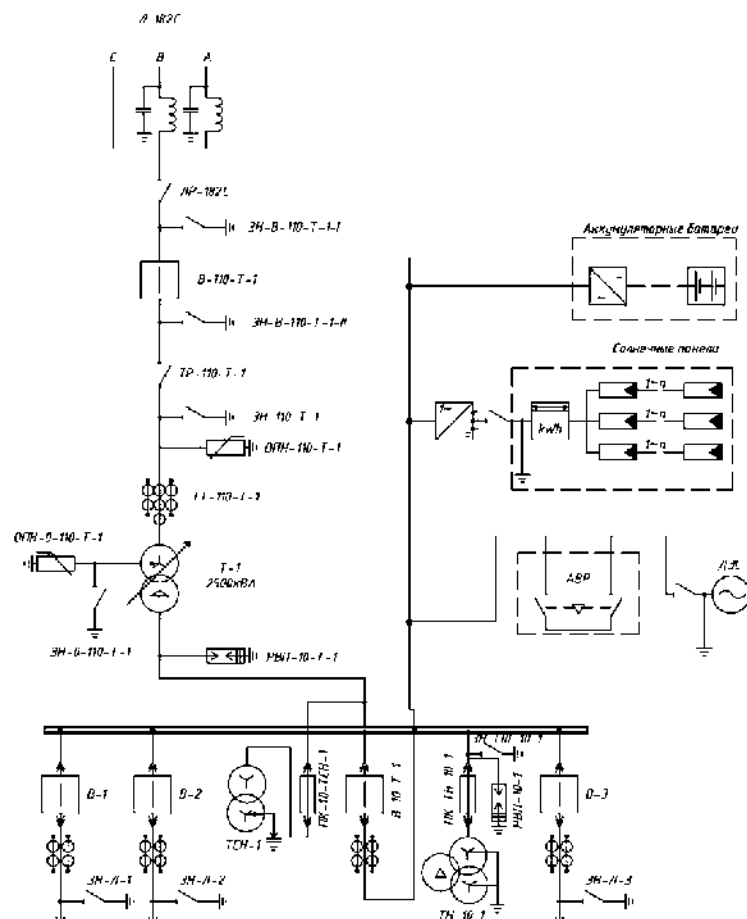


Рис. 1. Гибридный энергетический комплекс с ДЭС на существующей подстанции ПС 110/10 «Уш-Биик»



Рис. 2. Гибридный инвертор «все-в-одном» Ateess HPS150.

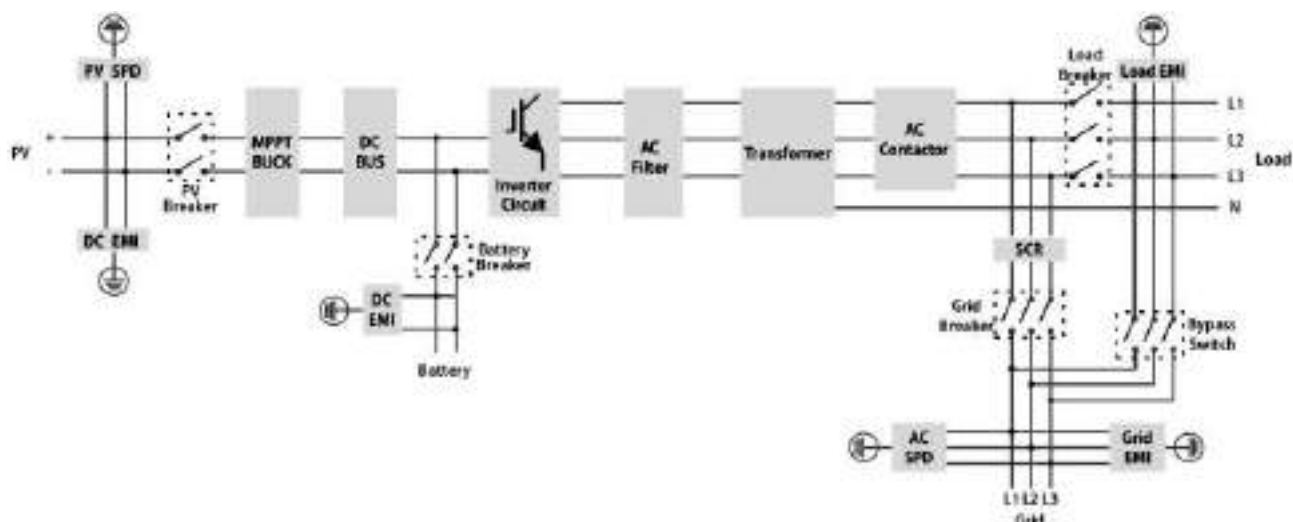


Рис. 3 - Принципиальная схема инвертора

Вышеуказанные модули уже используются в промышленных масштабах и хорошо себя зарекомендовали в плане качества.

В качестве гибридного инвертора будет использоваться «все-в-одном» HPS150. Двухнаправленный аккумуляторный инвертор ATESS HPS предназначен для системы накопления энергии, он преобразует постоянный ток, генерируемый аккумуляторной батареей, в переменный ток и подает его в нагрузку/сеть, а также может получать энергию от солнечного инвертора или из сети для зарядки аккумулятора, чтобы обеспечить бесперебойное электроснабжение потребителя. На рисунке 3 приведена принципиальная схема инвертора.

Ниже в таблице 2 приведены технические характеристики гибридного инвертора AteSS HPS150.

Таблица 2

Технические характеристики гибридного инвертора AteSS HPS150.

Наименование	Единица измерения	Количество
АС (подключенный к сети)	AteSS HPS150	
Полная мощность	кВА	165
Номинальная мощность	кВт	150
Номинальное напряжение	В	400
Номинальный ток	А	217
Диапазон напряжения	В	360-440
По рейтингу частоты	Гц	50/60
Диапазон частот	Гц	45~55/55~65
THDI (коэффициент искажения синусоидальности кривой тока)	%	< 3%
PF		0,8 отстает~0,8 опережает
Подключение переменного тока		3/N/PE
Вход переменного тока	кВА	240

Литий-ионный аккумулятор большой емкости LFP с алюминиевым корпусом с сроком службы 6000 циклов. Ниже в рисунке -2 приведен литий-ионный аккумуляторный модуль BR138.



Рис. 4. Литий-ионный аккумуляторный модуль BR138

В таблице-3 показаны технические характеристики литий-ионного аккумуляторного модуля BR138 и свинцово-кислотные герметизированных батареи Норпекке net.power 12V 170.

Преимущества литий-ионного аккумулятора перед свинцово-кислотные герметизированных батареи Норпекке net.power 12V 170 заключается в дешевизне и в долгосрочном сроке службы.

Таблица 3

Технические характеристики литий-ионного аккумуляторного модуля BR138 и свинцово-кислотных герметизированных батарей Норпекке net.power 12V 170

Наименование	BR138	Норпекке net.power 12V 170
Конфигурация/ Тип исполнения	12S2P	необслуживаемый свинцово-кислотный AGM VRLA
Номинальная мощность	200А·ч	170А·ч
Номинальная энергия	7,68кВт·ч	-
Номинальное напряжение	38,4В	12 В
Диапазон напряжения	33,6-43,8В	-
Номинальный заряд/разряд	0,5С	-
Максимум заряд/разряд	1С	-
Внутреннее сопротивление переменному току	≤10мОм	-
Размер (Ш/В/Г), мм	360/300/515	541/125/302
Масса	≤65кг	64,5

По сравнению с традиционными аккумуляторами, литий-ионные аккумуляторы заряжаются быстрее, их ёмкость больше, они мощнее,

меньше весят и дольше служат чем, ныне используемые свинцово-кислотные аккумуляторы.

В процессе исследования был сделан анализ солнечных излучений, восход и закат для села Уш-Биик. Ниже представлена время восхода и захода солнца в городе [13].

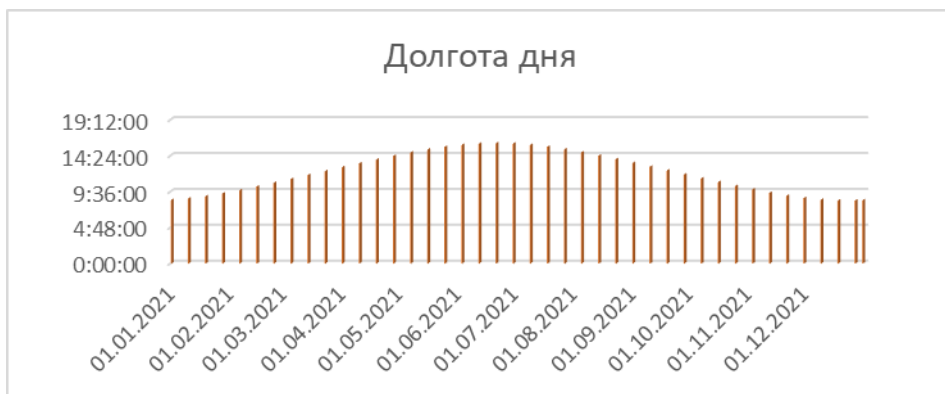


Рис. 5 - Время восхода и захода солнца села Уш-Биик за период с января по декабрь 2021 года

По выбранной местности согласно рисунку 2, долгота дня за год составляет 12 часов 6 минут. Так же оценивалось общее количество дневных сроков метеорологических наблюдений. Количество пасмурных дней определялось по формуле (1):

$$N_n = 365 \cdot \frac{N_{>60}}{N_{\text{общ}}}, \quad (1)$$

где, N_n - число пасмурных дней в году,

$N_{>60}$ – количество дневных сроков метеорологических наблюдений с облачностью более 60% покрытия небесного свода (облачность более 6 баллов) или туманом,

$N_{\text{общ}}$ – общее количество дневных сроков метеорологических наблюдений.

Распределение средней долгосрочной прямой солнечной радиации на нормальную поверхность с суммарными дневными значениями и суммарные годовые значения изображены на рисунке 3.

Среднесуточная падающая коротковолновая солнечная энергия испытывает экстремальные сезонные колебания в течение года [11]. Более яркий период года длится 3,8 месяца, с 28 апреля по 23 августа, со среднесуточной падающей коротковолновой энергией на квадратный метр выше 6,3 кВт·ч. Самый яркий месяц - июнь со средним значением 7,5 кВт·ч.

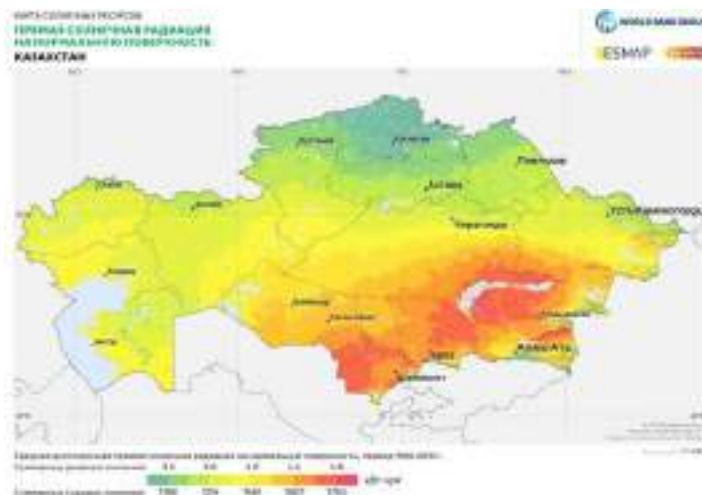


Рис 6. Среднедневная величина солнечной радиации в Казахстане за год , кВт*ч/м2 в день

Более темный период года длится 3,5 месяца, с 28 октября по 12 февраля, со среднесуточной падающей коротковолновой энергией на квадратный метр ниже 2,5 кВт·ч. Самый темный месяц – декабрь, со средним значением 1,3 кВт·ч.

Была изучена категория облачности в селе Уш-Биик. По полученным данным выяснилось, что в зимний период сильно пасмурно. По остальным месяцам года характерна более ясные дни. Ниже, на рисунке 4 представлен график облачности местности.

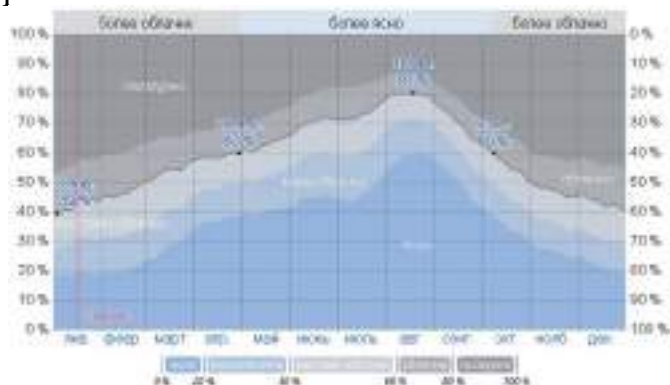


Рис. 7. Категории облачности в Уш-Биик

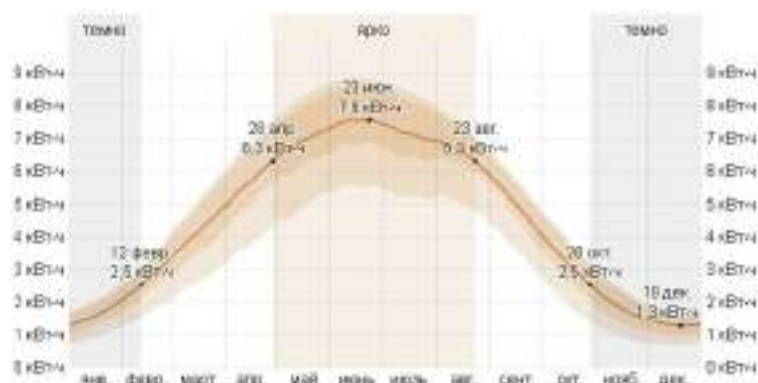


Рис. 8. Среднесуточная падающая коротковолновая солнечная энергия в селе Уш-Биик

Коротковолновое излучение включает видимый свет и ультрафиолетовое излучение. Среднесуточная падающая коротковолновая солнечная энергия испытывает экстремальные сезонные колебания в течение года. На рисунке 5 представлен график среднесуточной падающей коротковолновой солнечной энергии.

Заключение

На основании анализа литературных данных, ранее проведенных научных исследований и полученных результатов были сделаны следующие выводы:

Отключение от основной энергосистемы заставляет всех потребителей сильно зависит от неё, что приводит к частым отключениям. Основной причиной всех отключений служат моральное старение силовых электрооборудований и внешние факторы в виде аномальных атмосферных явлений.

Были применены методики исследования такие как экономико-математическое моделирование, аналитическое исследование и сравнительный анализ существующих систем автономного электроснабжения.

Изучалось современное состояние и перспективы развития топливно-энергетического комплекса в стране и мире.

Использование гибридных фото-дизельных систем электроснабжения для удаленных потребителей на примере села Уш-Биик является самым оптимальным решением с точки зрения обеспечения бесперебойного электроснабжения. В ходе исследования были сделаны анализы долготы дня, среднесуточной падающей коротковолновой солнечной энергии, облачность, солнечная радиация и т.д. Данные результаты будут использованы в написании и подготовки магистерской диссертации.

ИСТОЧНИКИ

[1] <https://kapital.kz/gosudarstvo/94270/stala-izvestna-prichina-avarii-na-atyrauskom-energouzle.html>

[2] <https://ru.sputnik.kz/20210120/KEGOC-veschestvo-dozhd-otklyucheniye-elektrichestvo-Atyrau-16074459.html>

[3] Васьков А. Г. Разработка методики обоснования состава и параметров гибридных энергокомплексов для распределённых энергосистем: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08 – М., 2013. – 194 с.

[4] Афонин В.С. Совершенствование методов обоснования и оптимизации автономных энергокомплексов на базе теплового насоса, солнечных коллекторов и фотоэлектрических модулей: дис. канд. техн. наук: 05.14.08 – М., 2014. – 113 с.

[5] Шахворостова Д.Н. Использование гибридных накопителей энергии для обеспечения качества напряжения в системах электроснабжения. МД 13.04.02.15.000 ПЗ.-Барнаул. -2018. – 79 с.

[6] Шахворостова Д. Н. Применение гибридных накопителей электроэнергии для обеспечения заданного качества электроэнергии / Д. Н. Шахворостова // Материалы XVII –XIX городской научно-практической конференции молодых ученых. – Барнаул : изд-во Алт. ун-та, 2018. – с. 541-543.

[7] Колесников, А. А., Веселов, Г. Е., Кузьменко, А. А. Новые технологии проектирования современных систем управления процессами генерирования электроэнергии. - М. : Издательский дом МЭИ, 2011. 354 с.

[8] Шураханова С.Е., Жармагамбетова М.С. Энергосбережение и повышение энергоэффективности – ключи для решения проблем в электроэнергетике. Москва, 2020, 118-121.

[9] Завалишин В.В. Улучшение эксплуатационных характеристик дизельной электростанции при работе на изменяющуюся нагрузку: дис. канд. техн. наук: 05.09.03 – Саратов. -2010. – 123 с.

[10] Трофимов Г.Г., Живаева О.П. Качество электроэнергии и энергосбережение в электроэнергетике. Конспект лекций для магистрантов специальности 6М071800 – Электроэнергетика. – Алматы: АУЭС, 2013. – 63 с.

[11] Строительная климатология. Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан. Свод правил. – Алматы. -СП РК 2.04-01-2017.

[12] Чекалина Т.В. Энергоснабжение промышленных предприятий: учеб. Пособие / Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 310 с.

УДК 621.039

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ АТОМ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫН ЖОБАЛАУ, САЛУ ЖӘНЕ ПАЙДАЛАНУ–УАҚЫТ ТАЛАБЫ

Г. Х. Хожин, Т. Н Агимов

«Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КеАҚ
e-mail: g.khozhin@aes.kz ,t.agimov@aes.kz

Аңдатпа. Бұл мақала, қазіргі уақыттағы өзекті тақырыптардың бірі атом электр станциясын жобалау салу және пайдалану мәселелеріне қысқаша шолу жасауға арналған. Атом электр станциясының тиімділігін айқындау мақсатында, жаңартылған энергия көздеріне қысқаша талдау жасалынып негізгі кемшіліктері мен құндылықтарына салыстырулар көрсетілген. Атом электр станциясының жұмысының қарапайым сұлбасы қарастырылып негізгі элементтері суреттелген. Сонымен қатар Қазақстандағы атомдық ғылымы мен техникасы саласында өнеркәсіптік, техникалық

және ғылыми әлеуеті сипатталып болашақтағы тиімділігіне басымдықтары айқындалған.

Кілт сөздер: атом электр станциясы, ядролық реактор, атомдық энергетика саласы, ядролық қондырғылар, уран.

THE DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF A NUCLEAR POWER PLANT IN KAZAKHSTAN IS A TIME REQUIREMENT

G. H. Khozhin, T. N. Agimov

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev
e-mail: g.khozhin@aes.kz, t.agimov@aes.kz

Annotation. This article, one of the current topics, is devoted to a brief overview of the construction, design and operation of a nuclear power plant. In order to determine the efficiency of a nuclear power plant, a brief analysis of renewable energy sources is carried out and comparisons of the main disadvantages and values are shown. The simplest scheme of operation of a nuclear power plant is considered, the main elements are described. In addition, in the field of nuclear science and technology in Kazakhstan, industrial, technical and scientific potential is described, priorities for further efficiency are determined.

Keywords: nuclear power plant, nuclear reactor, nuclear power industry, nuclear installations, uranium.

Кіріспе

Қазақстан Республикасының Президенті Қ.К.Тоқаев «Халық бірлігі және жүйелі реформа ел өркендеуінің берік негізі» атты Қазақстан халқына Жолдауында (02.09.2021ж.) «Қазақстанда 2030 жылға қарай электр қуатының тапшылығы пайда болады. Біз сенімді базалық қуат көздерін ойластыруға тиіспіз. Әлемдік тәжірбиеге қарасақ, мұның ең оңтайлы шешімі -бейбіт атом. Бұл күрделі мәселе. Бұл мәселеге инженерлік саланы дамыту және атом саласындағы білікті инженер жаңа буынын қалыптастыру мүмкіндігі тұрғысынан да қарау қажет» деген еді [1].

Сонымен қатар осы ұстанымды 2021 жылы Шығыс экономикалық форумында сөйлеген сөзінде де нақтылады. Ал 2022 жылы 9 маусым күні шетел инвесторларымен кездесу кездесуінде мәселені ашық айтты [2].

2021 жылдың мамыр айындағы мәліметтер бойынша әлемнің 32 мемлекетінде жалпы қуаттылығы 394,2 ГВт-ты құрайтын 443 коммерциялық ядролық реактор жұмыс істейді. Сонымен қатар жалпы қуаты 61,2 ГВт-ты құрайтын тағы да 54 реакторлар құрылыс кезеңінде [1].

Мысалы, Түркия, Біріккен Араб Әмірліктері, Беларусь мемлекеттерінде атом электр станцияларын салу жөніндегі тиісті құрылыс жұмыстары жүріп жатыр [2]. Атом электр станцияларын салу мәселелерін қарастырып жатқан мемлекеттер: Чили, Индонезия, Алжир, Филиппины, Эфиопия, Сенегая және т.б. [3].

Атом энергетикалық қуаты мол елдердің қатарында АҚШ, Франция, Қытай, Жапония Ресей және Оңтүстік Корея жатады [3].

Негізгі бөлім

Қазақстан Республикасының электр энергиясын дамытудың 2030 жылға дейінгі бағдар-ламасы келесі бағдарламасы келесі мақсаттарды көздейді: қайта құру және жаңғырту арқылы қолданыстағы энергия көздерін барынша пайдалану; дәстүрлі емес энергетиканы дамыту есебінен электр энергиясын өндіру құрылымын жақсарту; заманауи жоғары сапалы энергия көздерін енгізу [4, б.21-22].

Классикалық және жаңартылған энергия көздерін қысқаша талдау нәтижесінде жаңа энергия көздерін дамыту үшін, келесі факторларды ескеру қажеттігін көрсетеді; атап айтсақ отын қоры; энергия өндіру тәсілінің үнемділігі; қоғамымыздағы техникалық даму деңгейі; энергия өндірудің таңдалып алынған тәсілінің адамға және қоршаған ортаға әсері дәрежесі; технологиялық процессті цифрландыру мүмкіншілігі және т.б. [4, 36 б.; 5, 12-21 беттер; 6, 146-151 б.].

Әлемде электр энергиясын тұтыну жылдам қарқынмен өсіп келе жатқаны мәлім. Сондықтанда көптеген елдермен қатар Қазақстанда да жаңа энергетикалық көздерді қарқынды іздестірулер жүргізілуде [4, 36 б.; 5, 12-21 беттер; 6, 146-151 б.].

Мысалы : (салыстырмалы түрінде); күн энергиясын пайдалану, электр энергиясын өндіру үшін үлкен қызығушылық тудырады [4, 36 б.]. Күн энергиясы, адамға қол жетімді басқа да барлық энергия көздерімен салыстырып келгенде, ең қуатты энергия көзі болып табылады. Күн электр станциясының құндылықты қасиеттеріне ерекше «таза», яғни оны пайдалану барысындағы ауаға зиянды шағарындылардың болмауы жатады.

Сонымен қатар, келесі кемшіліктерге жататындары: ауа райына тәуелділігі, алатын аумақ үлкенділігі, 1 м^2 -ге түсетін күн радиация аздығы, күн батареясының экологияға зияндығы.

Қазақстанда жел энергетикасының әлеуетті қоры орасан зор [4, 35 б.].

Сонымен қатар, жел энергиясын пайдалану ауа ағындарының біркелкі еместігіне байланысты, үлкен қиындықтарға тап болады. Жел қондырғыларының (ЖЭС) кемшілік тұстарына жататындары: шудың болуы; толқындық бөгеуілдер, тіршілік иелеріне және жануарлар әлеміне теріс әсері, үлкен жер көлемінің қажеттілігі болып табылады. Оған қоса жел қозғалтқышының жұмысы, жақын маңдағы өндірістік аудандардың «желдетілуін» шектеуі мүмкін. Бұл жауын шашын режиміндегі өзгерістерге әкелуі мүмкін, ол өз кезегінде көптеген аумақтар ауыл шаруашылығын дамытуға жарамсыз болады.

Қазақстан Су ресурстары әлеуеті мүмкіндіктері (теориялық қуаты) жылына 170 миллиард киловатт-сағатты құрайды [4, 33-34 б.].

Қазақстан СЭС -ның жалпы берілген қуаты шамалап 2350,16 мегаватты құрайды [8, б.10].

Су электр станцияларында өндірілген энергия тұтынушыға әр киловатт-сағатына 3-4 цент тұрады.

Гидроэнергетиканы СЭС-ын пайдаланудың төмен құны және электр энергиясын өндірудің төмен құны бөліп көрсетті.

Дегенмен, су электр станциясында келесідей қоршаған ортаға тән сипатты кемшіліктері бар оларға; құрылыс мерзімі ұзақтығы, бос жерлерді су басуы, климатты өзгертуге әсері және капиталды шығындарын атап айтуға болады.

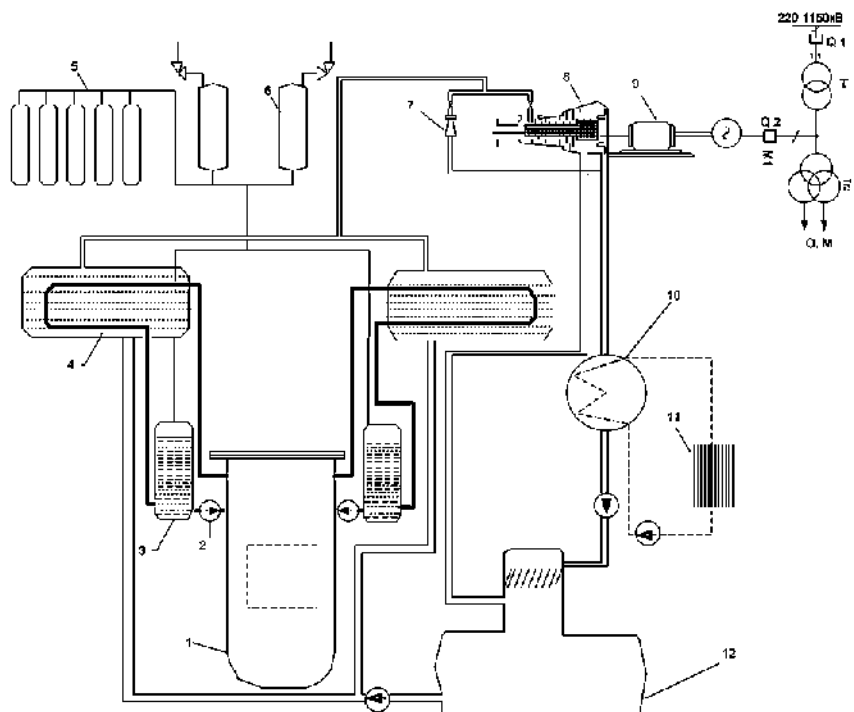
Жылу электр станциялардың басым бөлігі олардың сипаттамалары мен салыстырмалы түрде жоғары тиімділігі салдары екені мәлім.

Бүгінгі таңда, электр энергиясының 72 пайызы көмірден, 10,6 пайызы газдан, 4,9 пайызы мұнайдан ал 12,3 пайызы су ресурстарынан өндіріледі. Балама көздерге қазірге 0,2 пайыздан аз келеді [4, б.37-38; 7, 9 б.].

Жылу электр станцияларының кейбір артықшылықтарына: барлық отын түрлерінен жұмыс жасау мүмкіндігін, тиімділігі 70%-ға дейінгі көрсеткішін, қуаттың үлестік құнының аздығын, біркелкі орналастыру мүмкіндігін жатқызамыз.

Жылу электр станцияларының жағымсыз мәселелеріне: қоршаған орта ластануын, көмірді тасымалдау шығынының салыстырмалы түрдегі көптігі жатады.

1-суретте атом электр станциясының жұмысының қарапайым сұлбасы көрсетілген.



1-реактор, 2-сорғыш, 3-компенсатор, 4-бу генераторы, 5-баллондар, 6-ресивер, 7-редукционды салкындатқыш қондырғысы, 8-турбина, 9-генератор, 10-конденсатор, 11-жылу алмастырғыш, 12-деаэратор.

1 сурет - Реакторы блокты түрде құрастырылған атом электр станциясының принциптік сұлбасы

Атом электр станциясының негізгі элементі– ядролық реактор (1). Реактор энергияның негізгі көзі болып табылады. Онда жылу тасымалдағыш бір мезгілде ыбыраулатқыш болып істейді. Температура шамамен 250° С болғанда белсенді зонадан кейін жылу тасымалдағыш бу генераторына (4) беріледі. Одан кейін жылу тасымалдағыш компенсаторға (3) жіберіледі. Компенсатордан сорғыш (2) арқылы қайтадан реакторға (1) беріледі. Бұл сұлбаның (1-сурет) ерекшелігі екінші контурдағы элементтері бу турбиналы электр станциялардағыдай. Бу турбинадан (8) конденсатор (10) арқылы деаэраторға (12) беріледі, содан кейін бу қайтадан бу генераторына (4) жеткізіледі. Бұды салқындату үшін қосымша редуционды салқындатқыш қондырғысы (7) және ауалы жылу алмастырғыш (11) қолданылады. Электр энергияны генератор (9) өндіреді. Майкл Фарадейдің электромагниттік индукция заңы бойынша жұмыс орындалады.

Талқылау

Атомдық ғылымы мен техникасы саласында өнеркәсіптік, техникалық және ғылыми әлеуеті бар. Мысалы: Үлбі металлургия зауыты (ҮМЗ), Ақтаудағы Маңғышлақ атом электр комбинатының қызметкерлері, ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық әзірлемелер және Ұлттық ядролық орталықтың (ҚР ҰЯО) ғылыми зерттеулеріне арналған бірегей тәжірибелік базасы бар [8,9].

Атом саласында кадрлар даярлауды көздейтін меморандумдар Жапония мемлекетімен (2014ж) Беларусь Республикасымен (2018ж) және Ресей Федерациясының «Россатом» атом энергетикасы жөніндегі мемлекеттік корпорациясымен жасалған болатын.

Қазақстан осы меморандым шеңберінде, атом саласына кадрлар даярлауды жүзеге асыруға ниет білдіреді [2].

Елімізде жаңа білікті мамандарды даярлау да жүргізілуде. Мысалы, Шығыс Қазақстан мемлекеттік университетінде – ҮМЗ өндірістерін пайдалануға бағдарлана отырып, атом өнеркәсібі саласында, Семей мемлекеттік университетінде – "Ядролық реакторлар және энергетикалық қондырғылар"мамандығы бойынша мамандар даярлануда.

Атомдық энергетика саласы бойынша жоғары білікті кәсіби мамандарды даярлау осы саланы дамытуға, оның ішінде Қазақстанда атом электр станцияларын жобалау, салу және пайдалану мәселелері бойынша үлкен серпін береді.

Атом станцияларының жұмысындағы маңызды ерекшеліктер АЭС қауіпсіздігі болып табылады. Чернобыль немесе Фукусима сияқты апаттардың қайталануын ешбір ел қаламайды. Сондықтан жобалау, салу және пайдалану кезінде апатқа әкелетін барлық ықтимал ауытқулар мұқият ескеріледі.

Атом электр станцияларының күрделі мәселелерінің бірі – радиоактивті қалдықтарды көму мәселесі. Бүгінгі таңда Курчатов қаласында (ШҚО), Қазақстан Республикасы Ұлттық ядролық

орталығының «Байкал 1» кешенінде иондаушы сәулеленудің ампулалық көздерін сақтайтын республикалық қойма құрылып, табысты жұмыс істеуде.

Атом электр станциясының ерекшеліктері [10,11,12]:

- Кез келген географиялық жерде, соның ішінде қашықтағы және жету қиын жерлерде салынуы мүмкін;
- Отынның салыстырмалы түрде аз мөлшерін қажет етеді;
- Атмосфераны аздап ластайды; радиоактивті газдар мен аэрозольдердің шығарындылары рұқсат етілген санитарлық нормалардан аспайды.
- Парниктік әсерді және климаттың өзгеруіне кері әсерін азайтады.

Қорытынды

- Қазақстан – уран өндіру бойынша әлемдік көшбасшы, соңғы жылдары жаһандық ел өндіру көлемінен бестен екі бөлігін қамтамасыз етеді. Бұл көшбасшылық Қазақстан үшін бай қорлардың болуымен байланысты сенімді түрде әлемдік көрсеткіштің 37%-ын құрайды.
- Қазақстанда әлемдік барланған уран қорының шамамен 21 пайызы шоғырланған. Елде уран өндіруші және өндеуші өнеркәсіп дамыған, бұл атом атом энергетикасын дамытуға мүмкіндік береді.
- Қазақстанның атомдық ғылымы мен техникасы саласында өнеркәсіптік, техникалық және ғылыми әлеуеті бар.
- Елімізде атом энергетика саласында жаңа білікті мамандарды даярлау жүргізілуде.
- Әлемдегі атом энергетикасының жағдайы мен дамуын талдау атом энергетикасының келешегі зор екенін көрсетеді;
- Атом электр станциялары – басқа энергия көздерімен салыстырғанда Қазақстан Республикасының электр энергетикасының болашағы деп айтуға негіз бар.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Тоқаев Қ. К., «Халық бірлігі және жүйелі реформа ел өркендеуінің берік негізі», Egemen Qazaqstan, №165, 2 қыркүйек 2021ж-1-5 беттер.
- [2] Газета «EGEMEN QAZAQSTAN», №123, 30 маусым 2022ж.
- [3] Газета «Новое поколение» №81, 2 августа 2022ж-3б.
- [4] Программа развития электроэнергетики до 2030 года, Постановление Правительство Республики Казахстан от 09 апреля 1999 года №384., С.21-22.
- [5] Сагинтаева С.С., Отечественному образованию мировые стандарты, Журнал “Энергетика” Вестник Союза инженеров –электриков Республики Казахстан, №3(66), сентябрь 2018г., С. 12-21.
- [6] Олжабай А.К., Хожин Г.Х., Ленков Ю.А., О перспективе развития атомных электростанций с реакторами на быстрых нейтронах.,

Материалы международной конференций молодых ученых, магистрантов, студентов и школьников «XIX Сатпаевские чтения» 120-летию академика К.И. Сатпаева. Том 12, С.146-151., ПГУ им С. Торайгырова., Павлодар, 2019.

[7] Маскаев К. Энергия воды, газета “Новое поколение”, №62, 12.06.2015г. С.9.

[8] Маскаев К. Рациональное ядро, газета “Новое поколение”, №56, 29.05.2015г. С.10.

[9] Газета “Новое поколение”, №98, от 8 сентября 2020г.

[10] Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Учебник для вузов.-2-е изд. перероб. и доп.-М.: Энергоатомиздат, 1986.-640с.:ил.

[11] Жанткин Т. О. перспективах проектирования и строительства атомной электростанции в Казахстане. / Т. О. Жанткин// Энергетика. Вестник союза инженеров-энергетиков Республики Казахстан. -№3(36). сентябрь 2018. С. 22-25.

[12] Даирбеков Т. Думайте, решайте сами: иметь или не иметь/ Т. Даирбеков//Энергетики, Вестник союза инженеров-энергетиков Республики Казахстан. №3(36). 2018. С. 35-39.

УДК 621.311

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рахмонов Икромжон Усмонович

*доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой “Электроснабжение”
Ташкентского государственного технического университета*

Аннотация. В статье анализируется текущее состояние применения автоматизированных систем для управления электропотреблением промышленных предприятий и существующие программы для мониторинга электропотребления. На основе проведенных исследований разрабатывается автоматизированная система для управления электропотреблением промышленных предприятий. Приводятся преимущества, интерфейс и структурная схема системы.

Ключевые слова: автоматизированные системы; энергомониторинг; управления; электропотребление; интерфейс; структура.

AUTOMATED SYSTEMS OF MANAGEMENT OF ELECTRICITY CONSUMPTION OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

*Rakhmonov Ikromjon Usmonovich, doctor of technical sciences, associate professor,
Tashkent State Technical University Head of the "Electric Power Supply" department*

Abstract. In the article it is analyzed the current situation of the use of automated systems of electricity consumption management and energy consumption monitoring programs by industrial enterprises. Based on the conducted research, an automated system

for managing the electricity consumption of industrial enterprises was developed, and the advantages, interface and structural scheme of the system were presented.

Key words: *automated systems; energy monitoring; control; electricity consumption; interface; structure.*

Введение

Сегодня во всем мире большое внимание уделяется созданию автоматизированных программных продуктов для мониторинга и управления энергопотреблением промышленными предприятиями. Целью этого является правильное и точное определение энергопотребления на промышленных предприятиях и автоматическое ведение его учёт, что способствует повышению эффективности использования энергоресурсов. Следует отметить, что в последние годы в отраслях промышленности Республики Узбекистан для этого осуществляется широкомасштабная работа по внедрению современных программных и технических средств учёта и контроля энергопотребления, что способствует повышению энергоэффективности и расширению использования этих средств, а также ускорению инновационного развития страны [1].

В настоящее время программные продукты автоматизированных систем, предназначенных для мониторинга энергопотребления, внедряемые на промышленных предприятиях, нельзя назвать совершенными, так как большинство программных продуктов предназначены для мониторинга потребления только электрической и тепловой энергии. Известно, что промышленные предприятия в значительных объёмах потребляют также газ, пар, воду и многие другие носители энергии в зависимости от характера технологического процесса. Такое комплексное потребление оправданно во всех аспектах. Из этого следует, что создание автоматизированного программного продукта-алгоритма и модуля, способного осуществлять мониторинг всех видов энергии, потребляемых промышленными предприятиями, является, в свою очередь одной из научных тем данной диссертационной работы.

Анализ существующих автоматизированных систем управления электропотреблением показывает, что на сегодня их применение на предприятиях большой мощности может быть целесообразно для определения точек целевого использования электроэнергии и обеспечить повышение эффективности электропотребления в этих точках за счёт внедрения организационно-технических мероприятий [2-3].

Для управления электропотреблением на всей траектории от производства электроэнергии до её потребления используется ряд автоматизированных систем, в том числе Power SCADA Operation 8.2, Monitoring Expert 8 for Schneider Electric, Wattics for Wattics, XClarity Energy Manager, ETAP Energy Management System, OpenDEM, EnergyCAP, Waterfield Energy. Широко используются такие системы, как программное обеспечение SSI Energy Management System, N'VIEW [4-11].

В настоящее время внедрённые на промышленных предприятиях программные продукты автоматизированных систем предназначены для мониторинга использования преимущественно только электрической и тепловой энергии, т.е. не являются универсальными. В то же время, комплексный учёт потребления промышленными предприятиями всех видов энергии является экономически наиболее эффективным.

Итак, существующим автоматизированным программным продуктам для мониторинга электропотребления промышленными предприятиями присущи определённые ограничения в применении. Кроме того, они чрезвычайно дороги для многих отраслей экономики, что ограничивает масштабы их использования. С учётом вышеприведенного, пунктом 9 Постановления Президента Республики Узбекистан от 10 июля 2020 года № ПП-4779 «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путём повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов» Министерству энергетики, Министерству экономического развития и сокращения бедности, Государственному налоговому комитету, Государственному комитету по статистике и Министерству по развитию информационных технологий и коммуникаций поручено задание по созданию Единой автоматизированной информационной системы Министерства энергетики. Заказчиками по исполнению задания определены Министерство энергетики и Министерство инновационного развития Республики Узбекистан. В настоящее время в установленном порядке разработчиками информационной системы на основании госзаказа по реализации исследовательских проектов подписан контракт между Министерством инновационного развития и Ташкентским государственным техническим университетом имени Ислама Каримова от 30.12.2020 г. № ИОТ-2021-2023 на разработку Единой информационной системы (ЕИС).

В целях обеспечения исполнения данного Постановления разработан проект технического задания (ТЗ) на создание автоматизированной Единой информационной системы учёта, анализа и прогнозирования энергоэффективности крупных промышленных предприятий и других секторов отраслей экономики (рис. 1-3) и согласован с организациями топливно-энергетического сектора и соответствующими ведомствами республики.

Заключение

Назначение ЕИС заключается в следующем:

1. Учёт, сбор, анализ и прогнозирование потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на энергоёмких промышленных предприятиях и в других отраслях экономики;
2. Облегчение составления отчёта по произведённой и потреблённой энергии производителей и крупных потребителей энергии в электронном

виде за счёт упрощения механизма предоставления в онлайн-режиме идентификационных номеров;

3. Определение эффективности энергопотребления энергоёмких промышленных предприятий и автоматизация сбора, систематизации и анализа информации по учёту произведённой и потреблённой энергии.



Рис.1 Интерфейс ЕИС

Важнейшей целью создания данной системы является обеспечение возможности для осуществления следующих процедур:

- формирование единого информационного пространства в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- анализ потребляемого энергоресурса для дальнейшего планирования и принятия мер по повышению энергоэффективности потребителей;
- повышение оперативности, эффективности и качества управления в области энергосбережения;



Рис. 2 Интерфейс ЕИС

- повышение качества, полученной от первоис-точника, информации и статистических данных и её дальнейшая обработка;
- повышение информационной открытости и прозрачности в области энергосбережения;

- мониторинг индикаторов эффективности использования ТЭР оборудованием в технологическом процессе;
- выявление факторов, влияющих на энергопотребление, и определение степени их влияния, а также выявление наилучших/наихудших режимов работы оборудования (в аспекте энергоэффективности);
- верификация данных систем учёта ТЭР на предприятии;
- нормирование потребления ТЭР;
- выявление отклонений норм энергопотребления и анализ причин их отклонений;
- прогнозирование потребления ТЭР;
- экспортирование отчёта в формате pdf, docx, xlsx.

ЕИС позволяет повысить качество принятия решений при управлении энергопотреблением предприятия, и, тем самым, повысить эффективность расходования ТЭР. Система обладает предикативными возможностями

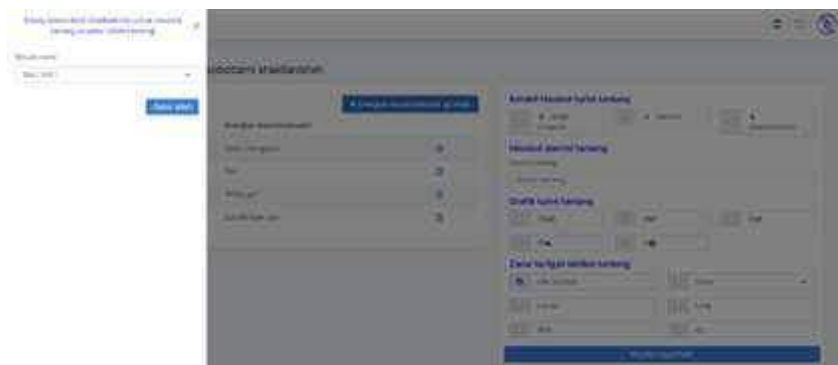


Рис 3. Интерфейс ЕИС

(предсказательной аналитикой), может быть адаптирована под каждое конкретное производство с учётом особенностей технологических процессов и оборудования и может быть интегрирована с имеющимися на предприятии системами учёта.

Блок-схема ЕИС (рис. 4) состоит из 5 основных модулей: головной модуль, информационный модуль, модуль ввода и обновления, модуль энергопотребления, модуль формирования отчётов.

Взаимодействие указанных модулей позволяет достичь цели, ради которой создаётся программный продукт управления энергопотреблением на промышленных предприятиях. Общим для всех модулей является хранение ежедневных, ежемесячных и годовых данных, которые поступают пользователю по его запросу. За исходные данные для расчётов можно взять объём выпускаемой предприятием продукции по товарной номенклатуре.

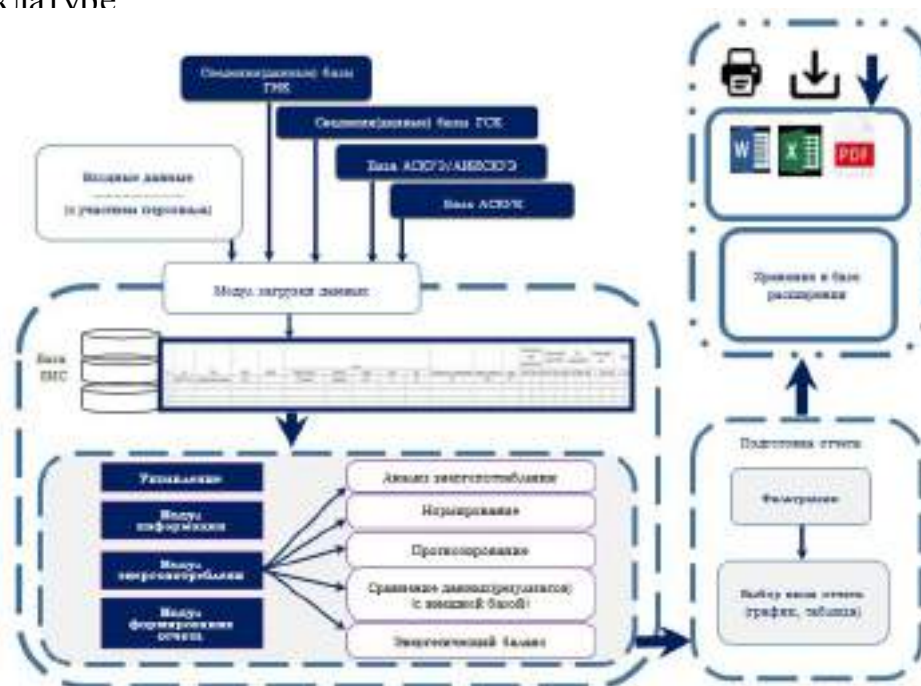


Рис. 4. Структурная схема автоматизированной Единой информационной системы управления электропотреблением

В соответствии с требованиями пользователя, информация, необходимая для анализа, нормирования и прогнозирования электропотребления на промышленном предприятии, хранится в специализированной базе данных.

Программный продукт состоит из следующего набора баз данных:

- Общая информационная база промышленного предприятия - OneIDbase.db, Registration base.
- База данных входящей информации - Inputbase.db
- База данных для запросов - MESSAGE.db

База всех данных заполняется отдельно по каждому цеху. Чтобы исправить ошибки, допущенные при вводе информации о цехе, их можно изменить через раздел «редактировать».

Таким образом, разрабатываемая программа позволяет осуществлять следующие шаги на пути к повышению эффективности использования ТЭР промышленными предприятиями:

- оперативно оценивать ключевые показатели энергоэффективности;
- осуществлять контроль производственных процессов;
- определять направления для постоянного улучшения показателей энергоэффективности;
- наводить порядок в учёте ТЭР;
- планировать/прогнозировать потребление ТЭР;
- осуществлять мониторинг/оценку результатов внедрения мероприятий энергосбережению.

ИСТОЧНИКИ

[1] Rakhmonov I.U., Reymov K.M., Shayumova Z.M. The role information in power management tasks//E3S Web Conf. Volume 139, 2019. Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2019) 01080. 1-3 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901080>.

[2] Rakhmonov I.U., Nematov L.A., Niyozov N.N., Reymov K.M., Yuldoshev T.M. Power consumption management from the positions of the general system theory // Journal of Physics: Conference Series. ICMSIT-2020. 1515 (2020) 022054 doi:10.1088/1742-6596/1515/2/022054.

[3] K Vinay Kumar, Dr. Balakrishna R. Supervisory control and data acquisition (scada) in subtransmission and distribution levels in power systems T: www.researchgate.net, 2013.

[4] Energy Management Software // <https://softwareconnect.com/energy-management/>.

[5] <https://www.se.com/my/en/product-range/63067-ecostruxure%20%84%A2-power-scada-operation-8.2/#overview>.

[6] Rakhmonov I.U., Kurbonov N.N. Analysis of automated software for monitoring energy consumption and efficiency of industrial enterprises // E3S Web Conf. Volume 216. Rudenko International Conference on Methodological

Problems in Reliability Study of Large Energy Systems (RSES 2020)
doi:10.1051/e3sconf/202021601178.

[7] Energy Data Analytics Software Platform For Energy Professionals//
<https://www.wattics.com/analytics/>.

[8] <https://sourceforge.net/software/product/Wattics/>.

[9]Lenovo XClarity Energy Manager | Lenovo Russia//
<https://www.lenovo.com/ru/ru/data-center/software/systems-management/xclarity-energy-manager/>.

[10] Energy Management System | Power Management System Software | ETAP// <https://etap.com/packages/energy-management-system>

[11] Utility & Energy Management Systems by EnergyCAP//
<https://www.energycap.com/>.

ӘОЖ 621.313.1/3

БАҒДАРЛАМА БОЙЫНША КӨП ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ АСИНХРОНДЫ ЭЛЕКТРЖЕТЕГІНІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ

А.Н. Бестерекова, К.Т Тергемес

Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, КеАҚ,
Алматы қ., Қазақстан

e-mail: a.besterekova@aes.kz, k.tergemes@aes.kz

Аңдатпа. Мақалада ТКТ - АҚ жүйе түрінде басқарылатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі ұсынылған. Асинхронды қозғалтқыштардың жалпы жылдамдықтары арқылы көп қозғалтқышты асинхронды электржестегінің кері байланысты тұйықталған құрылымдық сұлбасы келтірілген. Реттелетін айнымалы электржестегінің жүйесі сызықты емес түзеткіш құрылғы енгізімімен ерекшеленеді, ол өзіндік бапталу қасиетіне ие. Аталып отырған ТКТ - АҚ жүйесінің үлгісі бағдарламада тұрғызылды. Matlab алгоритмдік тілінде электржестек қозғалысының тұрақтылығын анықтайтын бағдарлама жасалды. Тұйықталған көп қозғалтқышты асинхронды электржестегінің және бір қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің беріліс функцияларының теңдеулері мен сипаттамалық түбірлері келтірілді. Теңдеулердің нәтижелері ұсынылды. Сипаттама жүйенің тұрақты жұмыс жасайтынын көрсетеді.

Түйінді сөздер: тиристор, кернеу, түрлендіргіш, асинхронды қозғалтқыш, электржестегі, жүйе, теңдеу, тұйықталған жүйе, үрдіс.

STADY OF MOTION STABILITY OF MULTI – MOTOR ASYNCHRONOUS ELECTRIC DVIVES BY PROGRAM

A.N. Besterekova, K.T. Tergemes

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev

e-mail: a.besterekova@aes.kz, k.tergemes@aes.kz

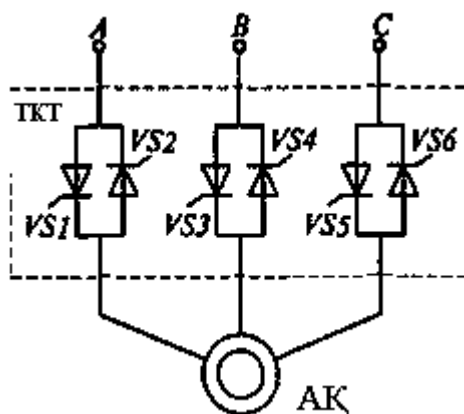
Abstract. The article presents a multi-motor asynchronous electric drive controlled in the form of a TPN system. A block diagram of a multi-motor asynchronous electric drive with feedback through the common speeds of asynchronous motors is given. The system of an adjustable AC electric drive is distinguished by a nonlinear correction device, which has its own configurable properties. The program includes a model of the TVC – AM system. A program for determining the stability of the electric drive motion in the algorithmic language Matlab has been developed. The equations and characteristic roots of the transfer functions of a closed multi-motor asynchronous electric drive are given. The results of the equations are presented. The description shows that the system is working steadily.

Key words: electric drive, feedback, stability, speed, asynchronous electric drive, equation.

Реттелетін асинхронды электр жетектерінің үрдісі болашақта қарқынды түрде жалғасады, өйткені электр жетегі асинхронды қозғалтқыштар негізінде жүзеге асырылуы мүмкін. Энергия бағасының өсуіне байланысты, атап айтқанда энергияны өндіруші қондырғыларда энергияны үнемдеу мәселесі ерекше маңызды болып табылады. Әлемнің барлық дамыған елдерінде энергияны үнемдеу техникалық саясаттың басым бағыттарының біріне айналды.

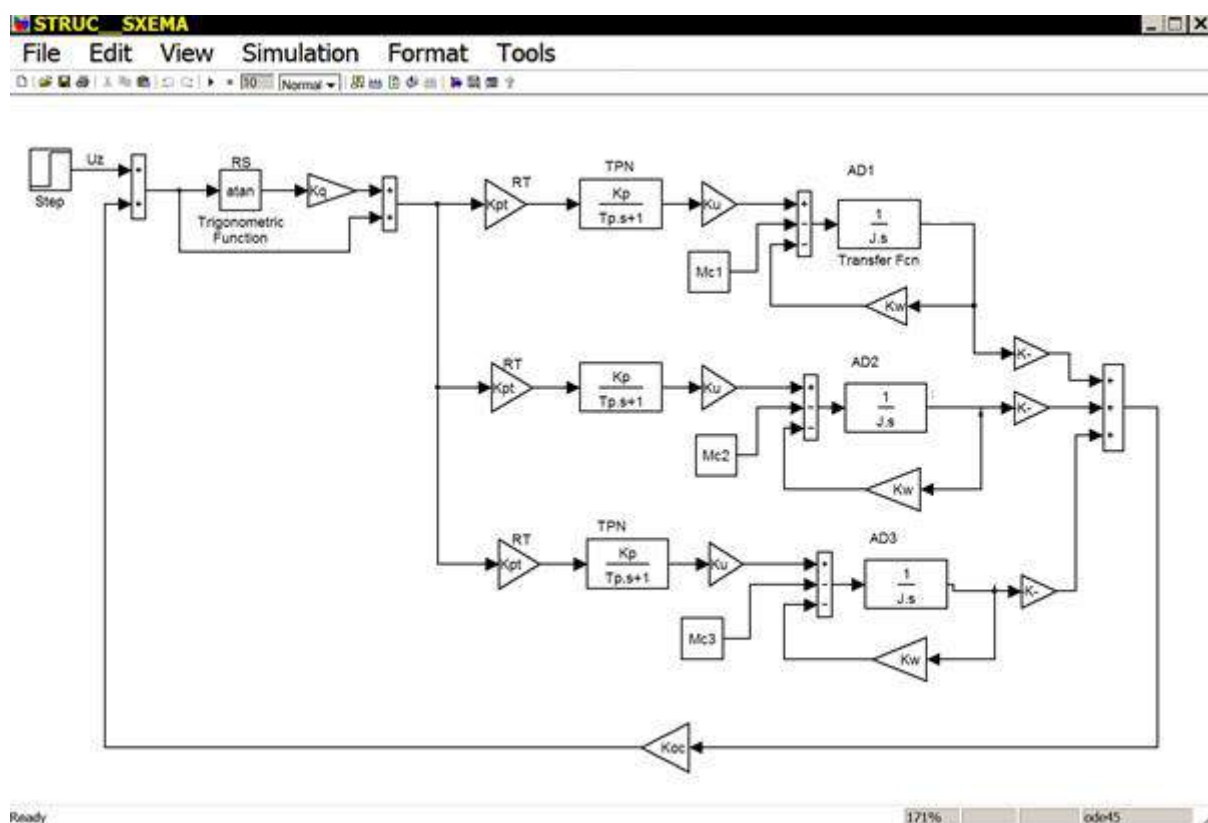
Қазіргі уақытта реттелетін электр жетегінің энергиясын үнемдеу мүмкіндіктері негізінде жиілікпен басқарылатын асинхронды электр жетегі жүйесі, жартылай өткізгішті, жиілікті түрлендіргіш – асинхронды қозғалтқыш жүйесі қолданылады.

Дегенмен, осы аталған электр жетегі жүйелерімен қатар, кейбір жағдайларда жеке өндірістік тапсырмалар мен энергияны үнемдеу мәселелерін шешу үшін, тиристорлы кернеу түрлендіргіш - асинхронды қозғалтқыш жүйесінде қолданылады, ол статорға берілетін кернеудің бірінші гармоникасының кернеуін реттеуді қамтамасыз етеді. Асинхронды қозғалтқыштарды біркелкі іске қосуды қамтамасыз ететін ТКТ-АҚ жүйелері (Soft-Start жүйелері), жұмыс кезінде аз жүктелген қозғалтқыштың номиналды жылдамдық аймағында қуатты тұтынуды азайту үшін, яғни энергияны үнемдеу үшін пайдалануға болады.



1 сурет – ТКТ-АҚ жүйесінің күштік құрылымдық сұлбасы

Аталған жүйені нақты мақалада көпқозғалтқышты электр жетегінде қарастырамыз. Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің автоматты басқару жүйесінің технологиялық процесін жобалау кезінде оның қозғалысының тұрақтылығын анықтау бірінші кезектегі міндет болып табылады. Асинхронды қозғалтқыштың статорындағы кернеуді реттейтін үшін КҚАЭЖ тұйықталған жүйесі жасалып, қозғалысының тұрақтылығын толық жылдамдықта қарастырылады. Әрбір жеке КҚАЭЖ асинхронды қозғалтқышының статорына кернеуді тиристорлық кернеу түрлендіргіш арқылы жалғайды сурет 2.



2 сурет - Жылдамдықтары ортақ көпқозғалтқышты электр жетегінің кері байланыс арқылы жасалған құрылымдық сұлбасы

2ші суретте КҚАЭЖң жылдамдық бойынша тұйықталған құрылымдық сұлбасы көрсетілген, оны нақты жағдайда сызықты емес түзеткіш құрылғысы арқылы қарастырамыз. Сызықты емес түзеткіш құрылғысы, жүйенің қателік шамасының өздік баптау сипатын басқара алады.

КҚАЭЖң қозғалыс тұрақтылығын анықтау үшін, атап кеткен теңдеу негізінде әрбір АҚ жылдамдық бойынша кері байланысының динамика үрдісінің математикалық сипаттын құрамыз. КҚАЭЖ динамикасының математикалық сипаттамасы төмендегідей болады:

$$\begin{aligned}
\frac{dx_1}{dt} &= a_1 x_2 - a_2 x_1, \\
\frac{dx_2}{dt} &= a_3 x_7 - a_4 x_2, \\
\frac{dx_3}{dt} &= a_1 x_4 - a_2 x_3, \\
\frac{dx_4}{dt} &= a_3 x_7 - a_4 x_4, \\
\frac{dx_5}{dt} &= a_1 x_6 - a_2 x_5, \\
\frac{dx_6}{dt} &= a_3 x_7 - a_4 x_6, \\
x_7 &= k_q \arctg(u - k_{oc} x_8) + u - k_{oc} x_8, \\
\frac{dx_8}{dt} &= h \frac{dx_1}{dt} + h \frac{dx_3}{dt} + h \frac{dx_5}{dt},
\end{aligned} \tag{1}$$

бұл жердегі x_1, x_3, x_5 – АҚ жылдамдықтары,
 x_2, x_4, x_6 – тиристорлы кернеу түрлендіргіштің шығысындағы
кернеуі,
 x_7 – жылдамдықты реттеуіштің кернеуі,
 x_8 – асинхронды қозғалтқыштың жылдамдық датчиктерінің
кернеулерінің жиыны,

$$a_1 = k_1 k_u; a_2 = k_1 k_2; a_3 = (k_p k_e) / T_p; a_4 = \frac{1}{T_p}; h - \text{жылдамдық датчиктерінің}$$

беріліс коэффициенттері.

КҚАЭЖ бірқозғалтқышты электр жетегінің қозғалыс тұрақтылығын анықтау үшін (1) теңдеуді символдық түрден алгебралық жүйеге келтіреміз. Теңдеу (1) төмендегідей түрге түрленеді:

$$\begin{aligned}
w_1 x_1 - a_1 x_2 &= 0, \\
w_2 x_2 - a_3 x_7 &= 0, \\
w_1 x_3 - a_1 x_4 &= 0, \\
w_2 x_4 - a_3 x_7 &= 0, \\
w_1 x_5 - a_1 x_6 &= 0, \\
w_2 x_6 - a_3 x_7 &= 0, \\
x_7 + k_{oc} x_8 + k_q a \tan(u - k_{oc} x_8) - u &= 0, \\
w_3 x_8 - h \cdot (k_u k_1 x_2 - k_1 k_2 x_1) - h \cdot (k_u k_1 x_4 - k_1 k_2 x_3) - \\
h \cdot (k_u k_1 x_6 - k_1 k_2 x_5) &= 0,
\end{aligned} \tag{2}$$

мұндағы $k_1 = 0,37; k_2 = 5,08; k_u = 0,6; w_1 = (s + a_2); s = d / dt;$

$$w_2 = (T_p s + 1); w_3 = 1 / s;$$

КҚАЭЖ қозғалысының тұрақтылығын анықтау үшін біз Matlab бағдарламасындағы математикалық жүйесін қолданып және соның негізінде 3 теңдеуге сүйене отырып құралады, ол суретте келтірілген.

```
function UMDP
syms w1 w2 w3
S=solve('w1*x1-a1*x2=0','w2*x2-a3*x7=0',...
        'w1*x3-a1*x4=0','w2*x4-a3*x7=0',...
        'w1*x5-a1*x6=0','w2*x6-a3*x7=0',...
        'x7+Kc*x8+sign(atan(u-Kc*x8))-u=0',...
        'w3*x8-h*w3*(x1+x3+x5)=0',...
        'x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8');
Q1=[S.x8];
K1=0.38; K2=5.08; Ku=0.6; a1=Ku*K1;
a2=K1*K2; Kp=10; Tp=0.033; Ke=0.2; Kq=1;
Kc=1; a3=Kp*Ke; h=0.1; u=10
w1=tf([1 a2],[0 1]); w2=tf([Tp 1],[0 1]);
w3=tf([1 0],[0 1]);
Wz1=eval(Q1); Wc1=minreal(Wz1)
p=pole(Wc1)
step(Wc1,'k.-',5)
grid
end
```

3 сурет - КҚАЭЖ қозғалысын анықтаудың тұрақтылық бағдарламасының құрылуы

Бағдарламадағы есептеу келесідей тізбекте жасалды:

Бағдарламадағы көрсетілген 2-ші жолағында символдық айнымалыларды енгіздік.

1. Бағдарламаның 3 және 8-ге дейінгі жолағында solve функциясын қолдану арқылы сәйкес символдық түрдегі теңдеу жүйесі есептеледі.

2. Бағдарламаның 10 және 12-ге дейінгі жолақтарында біздегі берлігендер енгізілді (әғни КҚАЭЖн басқару жүйесінің асинхронды қозғалтқышының параметрлері).

3. Бағдарламаның 13 және 14-ге дейінгі жолақтарында АҚн, ТКТн беріліс коэффициенттері мен x_8 айнымалының беріліс функцияларын енгіздік.

4. Айнымалы беріліс функциясын x_8 Q_1 функциясы арқылы қойсақ (9шы жолақ) және eval функциясымен алдық (15 ші жолақ).

5. pole функциясын қолдану арқылы айнымалының x_8 беріліс функциясының сипаттама түбірін есептеу үшін арналған, яғни КҚАЭЖн тұрақтылығын анықталуы үшін.

6. Функция step парметрлердің өтпелі үрдісін есептеді x_8 .

Тұйықталған КҚАЭЖң беріліс функциясы мен сипаттама түбірлерінің шыққан теңдеуі 3 суретте көрсетілген.

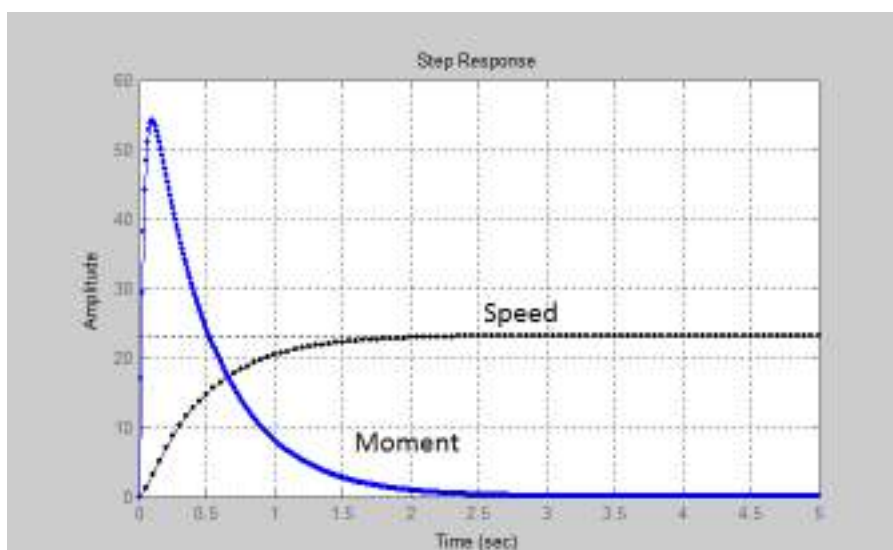
```

Transfer function:
      37.31
      -----
      s^2 + 32.23 s + 62.6

p =

    -30.1562
    -2.0773
    
```

4 сурет - Тұйықталған КҚАЭЖ беріліс функциясы мен сипаттама түбірлерінің теңдеуі



5 сурет - Тұйықталған жүйенің өтпелі момент және жылдамдық үрдістері

Суреттен 4 байқағанымыздай бағдарламаны жасау кезінде, нәтижесінде оның теріс заттық бөлікпен шыққанын байқаймыз яғни, автоматтандырылған КҚАЭЖң қозғалысы тұрақты деген сөзді білдіреді. Сонымен қатар момент және жылдамдық бойынша өтпелі үрдестері алынды. Алынған нәтижеге қарап тұйықталған ТКТ-АҚ жүйесі тұрақты екенән көруге болады.

Қорытынды

Реттелетін электр жетегі өндірістік және ауылшаруашылық салаларында кеңінен қолданылады. Энергияны үнемдеудің негізгі мақсаты ретінде біз көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегінің кері байланысты үш тиристорлы кернеу түрлендіргіш сызықты емес жүйесін таңдаймыз.

Реттелетін айнымалы электр жетегінің жүйесіне салынған сызықты емес түзеткіш құрылғы сыртқы әсерлерге байланысты сезімталдықты қамтамасыз етеді.

КҚАЭЖнің жүйесінде сызықты емес басқару жүйесі ретінде қарастыруымызға болады, өйткені сызықты емес түзеткішті құрылғыларда, сызықты емес статикалық буындары болады. Сызықты емес түзеткіш құрылғысы болса және жылдамдық бойынша кері байланысы бар жиілікті реттелетін асинхронды электр жетектің MATLAB бағдарламасы бойынша құрылымдық сұлбасын тұрғызып және сол жүйенің тұрақтылығын зерттейді. Мақалада жүйенің трақтылық бағдарламасы құрылды және оның теңдеуі арқылы оның тұрақты екені көрсетілді. Оның момент және жылдамдық бойынша өтпелі үрдістері алынды.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Браславский И.Я., З.Ш. Ишматов., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. Москва. АСАДЕМА 2004- 202 б.
- [2] Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: «Наука», 1988 – 255 б.
- [3] Теория автоматического управления. Ч. II. Под ред. А.В. Нетушила. – М.: «Высшая школа», 1972. 432 б.
- [4] Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб: Издательство «Профессия», 2004 – 752 б.
- [5] Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. . MATLAB 7. – М.: НТ Пресс, 2006. –464 с.
- [6] Половко А.М., Бутусов П.Н., MatLab для студента. – СПб.БВХ – Петербург. 2005. – 320с.
- [7] Терехов И.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008 – 304 б.

УДК 004

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДАННЫХ ОБ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ

А.А. Дрони́на, Р.С. Зарипова
Казанский государственный энергетический университет
zarim@rambler.ru

Аннотация: В статье рассматривается вопрос о применении сквозных технологий на промышленных предприятиях. Цель данного исследования заключается в разработке программного обеспечения на Python с использованием библиотеки OpenCV, которое направлено на решение проблем с электрооборудованием посредством «машинного зрения». Проведен экономический расчет себестоимости программного обеспечения, показывающий выгоду внедрения подобных технологий. Предложены другие варианты модернизации производства.

Ключевые слова: автоматизация, цифровое производство, машинное зрение, обработка информации, сквозные технологии, индустрия 4.0.

APPLICATION OF A MACHINE VISION SYSTEM FOR THE RECOGNITION OF ELECTRICAL EQUIPMENT DATA

A.A. Dronina., R.S. Zaripova
Kazan State Power Engineering University
zarim@rambler.ru

Abstract: *This article deals with the application of end-to-end technologies in industrial plants. The aim of this research is to develop software in Python using OpenCV library, which aims at solving problems with electrical equipment through "machine vision". The economic calculation of the software cost is carried out, showing the benefits of implementing such technologies. Other options for modernising production have been proposed..*

Keywords: *automation, digital production, machine vision, information processing, cross-cutting digital technologies, industry 4.0.*

На сегодняшний день наблюдается заинтересованность предприятий в автоматизации рабочих мест путем применения современных методов и технических средств [1]. Особую актуальность приобретает вопрос о цифровизации производства, оптимизации времени путем оперативного обмена информацией, осуществление быстрого получения информации о дефектах для возможности их быстрого устранения. В области цифрового производства развиваются такие направления как «облачные технологии хранения и переработки информации», «искусственный интеллект», «роботизированное производство», «применение микроконтроллеров в программируемых системах» [2].

В настоящее время техническая сторона на предприятиях находится в критическом состоянии. Бесспорно, новые технологии внедряются в работу, но это происходит крайне медленно. Большая часть оборудования уже исчерпало себя. Ручной труд становится совершенно нерациональным использованием труда, времени и средств. Помимо этого возникают новые требования к системам управления производством в связи со сменой моделей и с увеличением ассортимента изделий. Таким образом, остро стоит вопрос о возможностях внедрения мировых трендов в рабочий процесс, одним из которых может являться технология машинного зрения [3].

Машинное зрение является подразделом инженерии, связанное с вычислительной техникой, оптикой, машиностроением и промышленной автоматизацией [4]. Камеры принимают определенную информацию, которая обрабатывается в реальном времени, что позволяет значительно ускорить работу, своевременно определить проблемные места и принять меры по их предупреждению [5]. Кроме того внедрение данной технологии не требует сильных затрат как денежных, так и физических.



Рис.1. Пример применения машинного зрения

Веб-камера является центральным функциональным звеном предлагаемой нами системы, что делает ее исполнение легким и недорогим. Для подключения камеры, которая будет работать в качестве сканера, разрабатывается специальное программное обеспечение на языке Python.

Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода [6].

Обоснованием выбора данного языка программирования является его простота, низкий порог вхождения, большое количество обучающего материала в интернете и возможность работать с библиотекой OpenCV.

Для того, чтобы разработанная программа могла взаимодействовать с веб камерой, используется библиотека компьютерного зрения cv2. Чтобы была возможность обратиться к самой веб камере, необходимо воспользоваться одной из встроенных функций библиотеки VideoCapture(), где индекс в скобках обозначает количество камер. Ниже представлена часть программного кода.

Листинг 1.

```
import cv2

def show_webcam(mirror=False):
    cam = cv2.VideoCapture(0)
    while True:
        ret_val, img = cam.read()
        if mirror:
            img = cv2.flip(img, 1)
        cv2.imshow('my webcam', img)
        if cv2.waitKey(1) == 27:
            break # esc to quit
    cv2.destroyAllWindows()
```

В функции есть необязательный элемент, который при получении значения True, перевернет наше изображение вокруг оси Y, передав значение больше 0. Это делается для того, чтобы наше изображение не отзеркаливалось и данные считывались верно.

Функция `imshow` отображает изображение в указанном окне. Если окно не было создано, то создается новое. Также при нажатии кнопки Esc окно программы будет закрыто. Это отражает условие:

```
if cv2.waitKey(1) == 27,
где 27-аски код кнопки.
def main():
show_webcam(mirror=True)

if __name__ == '__main__':
main()
```

`__main__` указывает на область видимости, где будет выполняться код.

Далее рассмотрим основной код. Чтобы программа могла работать корректно, необходимо открыть необходимые библиотеки:

1. `Argparse` – это средство, с помощью которого можно наладить общение между автором программы и тем, кто ей пользуется, то есть между разработчиком и пользователем;

2. Модуль `datetime` предоставляет классы для обработки времени и даты разными способами;

3. `Time` – модуль для работы со временем в Python;

4. Удобный пакет функций обработки изображений `imutils`.

Особую актуальность приобретает определение себестоимости нового оборудования и его внедрение. Для данного расчета воспользуемся следующей формулой:

$$C_{\text{ПО}} = C_{\text{МАТ}} + З + O_{\text{СВ}} + C_{\text{Э/Э}} + A, \text{ руб,} \quad (1)$$

где $C_{\text{ПО}}$ – себестоимость программного обеспечения, $C_{\text{МАТ}}$ – затраты на материалы и комплектующие, $З$ – затраты на оплату труда, $O_{\text{СВ}}$ – отчисления на страховые взносы, $C_{\text{Э/Э}}$ – статья «Расходы электроэнергии», A – амортизационные отчисления на восстановление основных фондов.

В данном случае за основу берутся средние значения. Таким образом себестоимость программного обеспечения может выйти в районе 60 тыс. рублей. Такая сумма достаточно быстро окупится, что лишь подтверждает выгоду внедрения «машинного зрения» в производственный процесс.

Помимо данной технологии, значительную пользу смогут принести такие внедрения как [7, 8]:

1. Летательные аппараты с возможностью удаленного управления и получения снимков на компьютеры геологов, которые смогут оценить ценность найденных полезных ископаемых в местах, куда попасть до этого не удавалось;

2. Технологии искусственного интеллекта, которые позволят рабочим управлять несколькими установками.

В заключение хочется отметить, что модернизация агропромышленного комплекса на территории РФ значительно повысит конкурентоспособность предприятий, окажет положительное влияние на экономику, приведет к положительной динамике развития предприятия.

Список литературы

1. Шакиров А.А., Злыгостев Д.Д., Зарипова Р.С. Решение сельскохозяйственных задач с помощью современных информационных технологий / Развитие аграрной науки в разработках молодых ученых: Сборник материалов онлайн-конференции. 2018. С.184-189.

2. Амелин С.В., Щетинина И.В. Организация производства в условиях цифровой экономики / Организатор производства. 2018. Т.26. №4. С. 7-18.

3. Саляхов А.Р., Зарипова Р.С., Чупаев А.В. Разработка автоматизированной системы управления деятельностью сельскохозяйственного предприятия в условиях цифровой экономики / Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2019. Т. 11. № 2-2. С. 75-78.

4. Машинное зрение [Электронный ресурс]. [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Машинное_зрение](https://ru.wikipedia.org/wiki/Машинное_зрение) (дата обращения 14.11.22)

5. Коршунов Е. А. Автоматизация процессов обслуживания энергетического оборудования с помощью специализированных программных решений / Е. А. Коршунов, А. А. Капанский, К. Е. Коршунов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 65-75.

6. Силкина О.Ю., Зарипова Р.С. Тенденции в развитии искусственного интеллекта / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 3 (21). С. 63-65.

7. Соловьева О.В. Исследование влияния пористости волокнистого материала на значение энергетической эффективности / О. В. Соловьева, С. А. Соловьев, А. Р. Талипова [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 56-64.

8. Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Автономные машины и искусственный интеллект / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 3 (21). С. 46-49.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ БЛОКА ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОРА В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

А. Альзаккар¹, Н.П. Местников²

¹Казанский государственный энергетический университет

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

e-mail: Ahmadalzakkar86@gmail.com, Sakhacase@bk.ru

Аннотация. При эксплуатации энергетических систем возможен риск возникновения провала напряжения вследствие потери его устойчивости в самой системе. В этой связи проведение анализа устойчивости напряжения является важной процедурой в целях своевременного выявления шин с низкой надежностью внутри энергетической системы. Таким образом, диспетчерскому персоналу энергетической системы следует предпринять определенные меры во избежание любых случаев провала напряжения внутри системы. Энергетические системы стали свидетелями быстрого развития сложности их взаимосвязей и эксплуатации. Кроме того, безопасная и надежная работа энергосистем усложнилась из-за постоянно растущего спроса на электроэнергию. Изобретение блока Единицы Измерения Фазора (ЕИФ) считается одним из важнейших достижений в области мониторинга и управления электрическими сетями. Высокая стоимость установки, связанная с ЕИФ, ограничивала его использование и увеличивала потребность в оптимальном распределении ЕИФ. В работе рассмотрен метод оптимального размещения Единицы Измерения Фазора (ЕИФ) для полной наблюдаемости энергосистем, состоящих из нескольких областей. ЕИФ используются для оценки индекса нагрузки устойчивости напряжения (Н-индекс) как мера близости каждой шины нагрузки к неустойчивости напряжения. Подход к оценке Н-индекса не зависит от решения потока нагрузки системы, которое опирается на наличие подробных параметров системы и итерационных расчетов для определения меры неустойчивости. В этом исследовании рассматривается возможность непрерывного мониторинга Н-индекса для нормальной работы и при островной системе. Представлен метод на основе сети эхо-состояний (ESN), который позволяет контролировать Н-индекс. Предлагаемый метод применяется к тестовой системе IEEE-39 шин.

Ключевые слова: оптимальное, размещение, напряжения, индекс, шина, устойчивость, мониторинг, энергосистема, фазор.

OPTIMAL POSITION OF THE PHASOR MEASUREMENT UNIT IN POWER SYSTEMS

A. Alzakkar¹, N. Mestnikov²

¹Kazan State Power Engineering University

²North-Eastern Federal University named M.K. Ammosov, Yakutsk, Russia

e-mail: Ahmadalzakkar86@gmail.com, Sakhacase@bk.ru

Annotation. During the operation of power systems, there is a risk of a voltage failure due to the loss of its stability in the system itself. In this regard, conducting a voltage stability analysis is an important procedure in order to timely identify tines with low reliability within the power system. Thus, the control personnel of the power system should take certain measures to avoid any cases of voltage dip within the system. Energy systems have witnessed

a rapid evolution in the complexity of their interconnections and operation. In addition, the safe and reliable operation of power systems has become more difficult to meet the ever-increasing demand for electricity. The invention of the Phasor Measurement Unit (PMU) block is considered one of the most important achievements in the field of monitoring and control of electrical networks. The high plant cost associated with PMU limited its use and increased the need for optimal distribution of PMU. The paper considers the method of optimal placement of PMU for the complete observability of power systems consisting of several areas. PMU is used to evaluate the voltage stability load index as a measure of the proximity of each load rail to the voltage instability. The approach to estimating the voltage stability load index is independent of the system load flow solution, which relies on having detailed system parameters and iterative calculations to determine the measure of instability. This study considers the possibility of continuous monitoring of the voltage stability load index for normal operation and in an island system. Echo State Network (ESN) method is presented that allows control of the voltage stability load index. The proposed method is applied to the IEEE-39 bus test system.

Key words: optimal, placement, voltage, index, tire, stability, monitoring, power system, phasor.

Введение

При обычном контроле энергосистем, основанном на измерениях, может приниматься во внимание только статическое поведение энергосистемы. Но с появлением блоков ЕИФ стало возможным отслеживать динамическое поведение системы. В этой работе предлагается оптимальное размещение ЕИФ в энергосистемах таким образом, чтобы гарантировать, что все напряжения системной шины могут наблюдаться с использованием минимально возможного количества ЕИФ. Это важно с экономической и технической точки зрения. ЕИФ измеряет фазоры напряжения и тока в различных точках энергосистемы и может точно выводить синхронизированные фазоры напряжения и тока [1, 2]. Данная проблематика рассмотрена рядом авторов. А. Альзаккар, Н.П. Местников, В.В. Максимов, И.М. Валеев [3] в предыдущем своем исследовании показали разработку интеллектуального подхода к оценке индекса нагрузки устойчивости напряжения (Н-индекс) в энергосистеме с использованием методов вычислительного интеллекта, именно многослойного персептрона. Этой же группой авторов [4] представлен новый метод оценки индекса нагрузки устойчивости напряжения (Н-индекс) для энергосистемы с применением данных оптимально расположенных единиц измерения фазора (ЕИФ). Авторами М. Vipasha and S. Chakrabarti, [5] предлагаются метод оптимального размещения блоков (ЕИФ) для полной наблюдаемости энергосистем. Предлагаемый метод применяется к тестовой системе IEEE-14 шин. А. Tawfik, Е. Abdallah и К. Youssef [6] в своем исследовании представили алгоритм бинарной оптимизации для решения задачи оптимального размещения ЕИФ в целях получения полностью наблюдаемой системы. Теоретическая значимость исследования заключается в новом методическом подходе к оценке устойчивости напряжения в электроэнергетических системах на основе

сети эхо-состояний с информацией ЕИФ для мониторинга устойчивости напряжения. Практическая значимость авторского исследования заключается в разработке оптимального алгоритма размещения (ЕИФ) для обеспечения полной наблюдаемости системы как в нормальных, так и в аварийных условиях эксплуатации.

Основная часть

Индекс Нагрузки Устойчивости Напряжения (Н-индекс). Этот индекс указывает, насколько шины нагрузки далеки от своих пределов устойчивости напряжения, и, следовательно, идентифицирует критические шины. Н-индекс используемый в этой работе, рассчитывается из [1]:

$$N\text{-индекс} = \frac{4[U_0 U_L \cos(\theta_0 - \theta_L) - U_L^2 \cos^2(\theta_0 - \theta_L)]}{U_0^2} \quad (1)$$

где U_0 и U_L — величины напряжения без и с нагрузкой на шине, а θ_0 и θ_L — измерения фазового угла напряжения без и с нагрузкой соответственно.

Оптимальное размещение ЕИФ. На рис.1 показана блок-схема оптимального размещения ЕИФ с использованием генетического алгоритма (ГА). Помимо алгоритма ГА применимы и другие методы, такие как метод среднеквадратичной ошибки (СКО).

Процедура определения оптимального расположения ЕИФ в энергосистеме с учетом островных условий может быть представлена в виде следующих шагов:

1-й шаг — получение оптимального расположения ЕИФ для нормальных условий эксплуатации с помощью ГА.

2-й шаг — разделение системы на требуемый набор островов и изменение матрицы связности системы.

3-й шаг — использование решения, полученного на первом шаге, и проверка можно ли наблюдать островную систему.

4-й шаг — если островная система также является наблюдаемой, то решение на шаге 1 является требуемым решением.

5-й шаг — если островная система не наблюдается с помощью решения на шаге 1, то определить шины, которые не наблюдаются ЕИФ в островных условиях.

6-й шаг — увеличение на единицу резервирования на каждой шине, которая становится ненаблюдаемой в островных условиях.

7-й шаг — повторение шагов 1–6 до тех пор, пока не будет получено оптимальное решение, позволяющее наблюдать за системой как в нормальных, так и в островных условиях.

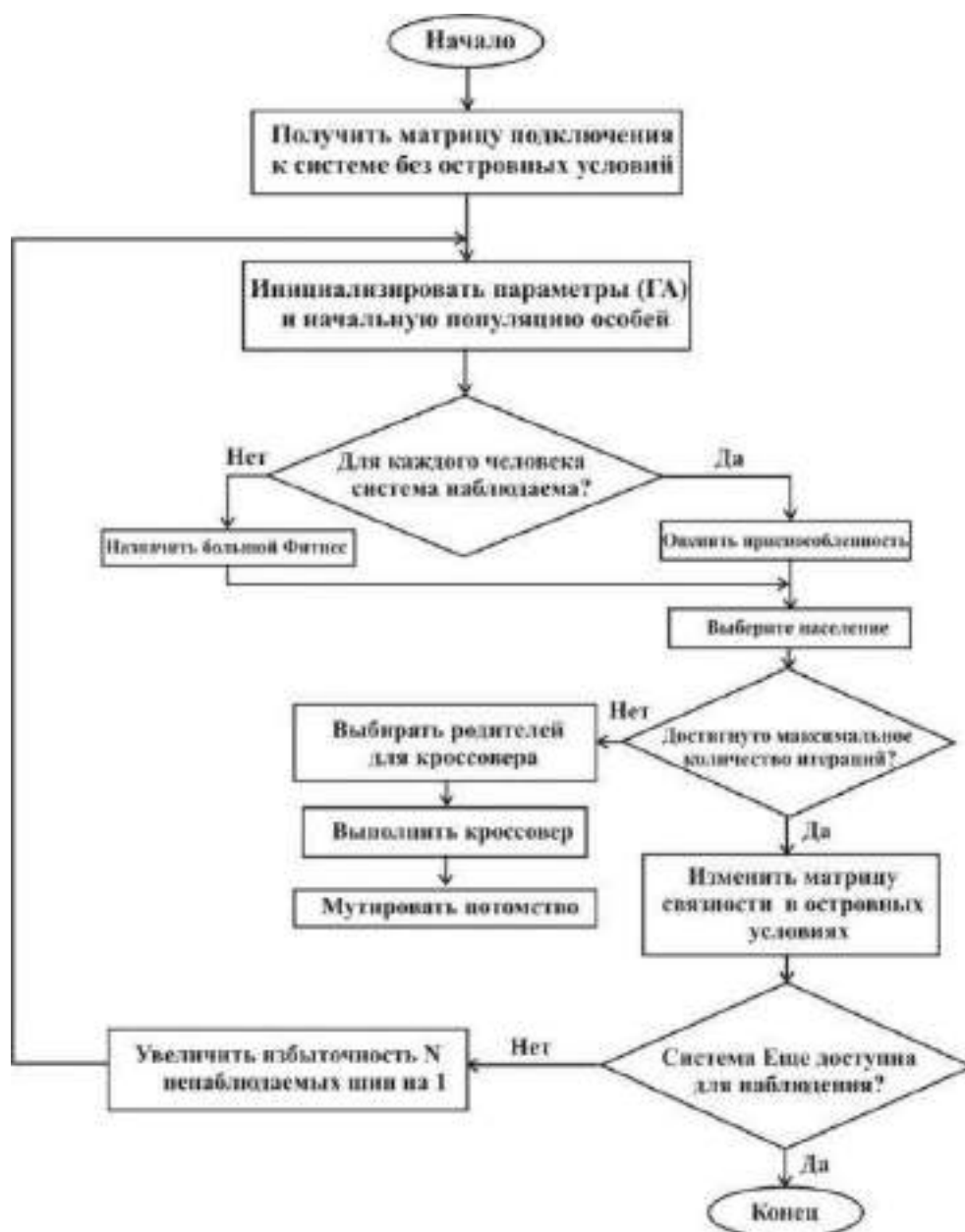


Рис. 1. Блок-схема для оптимального размещения ЕИФ с использованием генетического алгоритма.

Для оптимального размещения ЕИФ были использованы правила в [2].

Уравнения для оценки функции приспособленности F , используемые с алгоритмом ГА для определения оптимального количества и расположения ЕИФ в системе, следующие:

$$F = \begin{cases} K, & \text{если система не наблюдается;} \\ w_1 F_1 + w_2 F_2 & \text{– в противном случае,} \\ F_1 = x^T; \\ F_2 = (N - A_x)^T (N - A_x). \end{cases} \quad (2)$$

Здесь K — большое значение, присваиваемое функции приспособленности, если решение x по току, не делает систему полностью наблюдаемой;

w_1, w_2 — два определяемых пользователем веса, которые гарантируют, что две части функции приспособленности F_1, F_2 сопоставимы.

Элементы бинарного вектора x определяются следующим образом:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если ЕИФ находится на шине } i; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (3)$$

Матрица связности системы A определяется в виде:

$$A = \begin{cases} 1, & \text{если } i = j; \\ 1, & \text{если } i, j \text{ связаны;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (4)$$

Вектор N выбирается для обеспечения желаемого уровня избыточности измерений на шине. Например, если все входы N установлены на значении «2», то уровень избыточности измерений на каждой шине равен единице.

Результаты и обсуждение

Затем предложенный метод оптимального размещения ЕИФ в островных условиях был применен к системе IEEE-39 шин (рис.2) чтобы оценить его масштабируемость по мере увеличения размера энергосистемы. Результаты алгоритма для тестовой системы показаны в таблицах 1 и 2. Для данной системы дана островная конфигурация, для которой используется алгоритм определения оптимального расположения ЕИФ для обеспечения наблюдаемости системы как при нормальной работе, так и в островных условиях. Результаты оптимального расположения ЕИФ в данной системе показывают, что количество ЕИФ, необходимое для полного наблюдения как для островных систем, так и для не островных систем, сопоставимо [7, 8].

Таким образом, применяя этот алгоритм, можно определить минимальный набор ЕИФ и их местоположения, чтобы обеспечить мониторинг устойчивости напряжения во время защитного острова [9]. Результаты производительности подхода ESN [10, 11] для оценки Н-индекса представлены на рис.3.

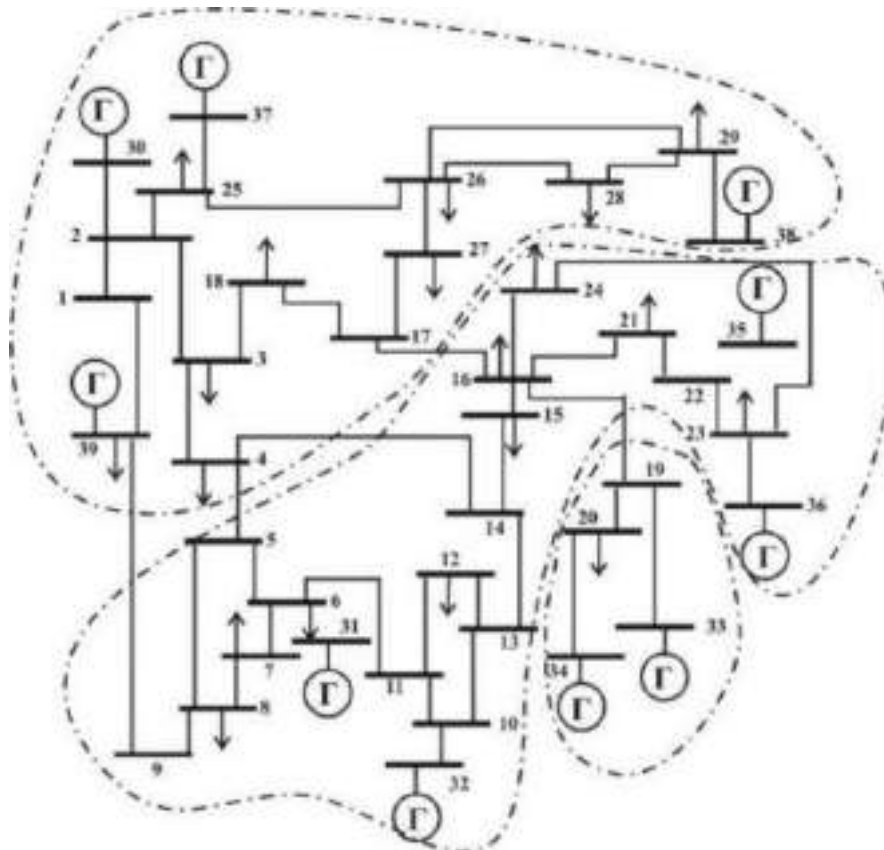


Рис. 2 . Система тестирования IEEE 39 шин разделенная на 3 острова.

Таблица 1

Тестовые системы разделены на острова

	№	Шины	Линии открыты
Система 39 шин	1	1;2;3;4;17;18;25;26;27;28;29;30;37;38;39	9-39;4-5;4-14;16-17;16-19
	2	5;6;7;8;9;10;11;12;13;14;15;16;21;22;23;24	
	3	19;20;33;34	

Таблица 2

Оптимальное расположение ЕИФ в нормальных и островных условиях эксплуатации

	Конфигурация системы	Оптимальное расположение ЕИФ
Система 39 шин	Нормальные условия эксплуатации	2;6;9;10;13;14;17;19;20;22;23;25;29
	Разделить на 3 острова	2;3;5;6;9;10;13;15;17;19;20;21;22;23;25;29;39

Графики целевого Н-индекса в сравнении с оцененным Н-индексом показаны на рис. 4. На рисунке видно очень близкое соответствие оцененных и расчетных значений Н-индекса. Система IEEE-39 шин имеет коэффициент детерминации 0,9956. Производительность подхода ESN, является успешной с высоким уровнем точности во данной тестовой системе с небольшим снижением коэффициента детерминации по мере увеличения размера тестовой системы.

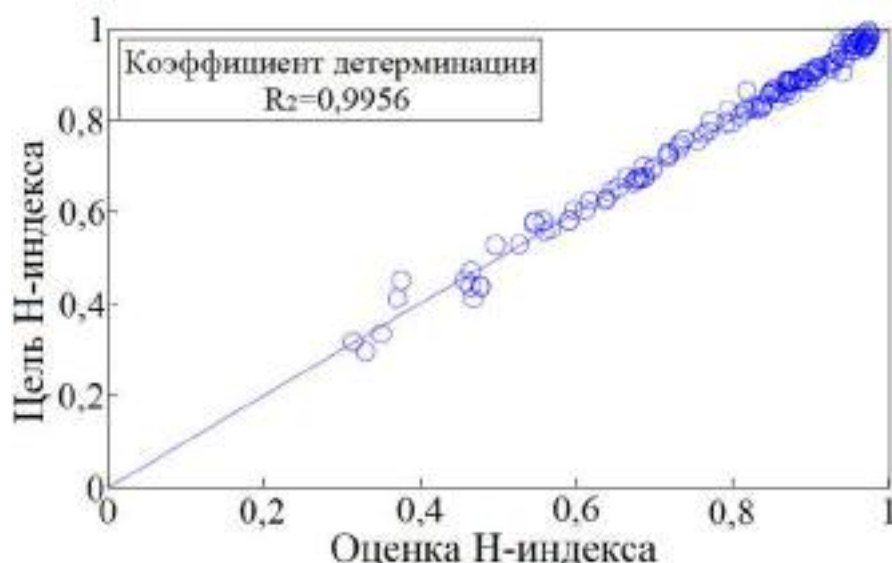


Рис. 3. График рассчитанного Н-индекса в сравнении с оценочным значением ESN для системы тестирования IEEE 39 шин.

Заклучение

В этой работе представлен интеллектуальный метод мониторинга устойчивости напряжения в интеллектуальной сети с использованием информации ЕИФ. Метод использует сеть эхо-состояний для оценки индекса нагрузки устойчивости напряжения. Представлена разработка оптимального алгоритма размещения ЕИФ для обеспечения полной системной наблюдаемости системы как в нормальных и островных условиях эксплуатации.

Оптимальное расположение ЕИФ обеспечивает наименьшее количество ЕИФ, необходимое для осуществления мониторинга устойчивости напряжения всей системы в нормальных и островных условиях эксплуатации. Масштабируемость подхода изучалась на системе IEEE-39 шин. Результаты для данной системы показывают очень близкое соответствие между расчетным и целевым Н-индексом.

ИСТОЧНИКИ

- [1] P. Kundur Power System Stability and Control // California: EPRI Power System Engineering Series, McGraw-Hill, 1994. ISBN 0-07-035958-X.
- [2] Taylor C. W. Power System Voltage Stability // California: EPRI Power System Engineering Series, McGraw-Hill, 1993. ISBN 0-07-063164-0. G. K.
- [3] А. Альзаккар, Н.П. Местников, В.В. Максимов, И.М. Валеев, Оценка индекса устойчивости напряжения электрических сетей, питающих зарядные станции электромобилей с применением многослойного персептрона // Известия высших учебных заведений. Проблемы

Энергетики. 2022. Т. 24. №. 2. С. 36–49. DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-2-36-49.

[4] А. Альзаккар, Н. П. Местников, И. М. Валеев, Оценка индекса нагрузки устойчивости напряжения электрических сетей на основе сети эхо-состояний с использованием единицы измерения фазора // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2022. Т. 14. №. 3. С. 472–485. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-3-472-485.

[5] M. Bipasha and S. Chakrabarti, Optimal Placement of Phasor Measurement Units for Multi-Area Observability // IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies - India (ISGT India), 2011.

[6] A. Tawfik, E. Abdallah and K. Youssef, Optimal Placement of Phasor Measurement Units Using Binary Bat Algorithm // International Middle-East Power System Conference, 2017.

[7] А. Альзаккар, Применение искусственных нейронных сетей для оценки устойчивости напряжения электроэнергетических систем в Сирии // Международный технико-экономический журнал. 2020. С.87-95. DOI: 10.34286/1995-4646-2020-70-1-87-95.

[8] Местников Н. П., Васильев П. Ф., Давыдов Г. И., Хоютанов А. М., Альзаккар А. М. Исследование возможности применения фотоэлектрических солнечных установок внутри купольного строения в условиях Севера // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 4. С. 435–449. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2021-4-435-449>.

[9] Ю. Кононов, В. Пейзель, С. Степанов, А. Степанова, Исследование Предельных Погрешностей Определения Параметров Моделей Элементов Электрических Сетей, Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2018. № 1 (64). С. 26-32.

[10] А. А. Шелоник, А. С. Смирнов, А. П. Калистратов, В. И. Колдобский, Применение нейронных эхо-сетей для решения задачи прогнозирования временных рядов // журнал современная наука: актуальные проблемы теории и практики. серия: естественные и технические науки, № 5. 2017. С. 70-74.

[11] С. В. Сорокин, И. Е. Иванова, Использование искусственных нейронных эхо-сетей в системе прогнозирования неисправностей вагонного электрооборудования на железнодорожном транспорте // журнал: Нечеткие системы и мягкие вычисления, Т. 8. № 1. 2013. С. 45-57.

[12] Мартынов К.В., Пантелеева Л.А., Васильев Д.А., Дресвянникова Е.В. Исследование распределения токов по фазам в асинхронном электродвигателе с совмещённой обмоткой // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 150-159.

[13] Червоненко А.П., Котин Д.А., Рожко А.В. Перевод нагрузки с основной сети на резервную с применением типового АВР // Известия

высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 160-171.

[14] Савенко А.Е, Савенко П.С. Колебания мощности в единых судовых электроэнергетических системах с гребными электрическими установками // Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 172-183.

[15] Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Суслов К.В. Исследование режимов работы изолированной системы электроснабжения с управляемыми установками распределенной генерации, накопителями электроэнергии и двигательной нагрузкой Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 184-194.

[16] Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М., Табачникова Т.В., Валтчев С. Алгоритмы оценки эквивалентных сопротивлений внутризаводских электрических сетей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 4. С. 3-13.

УДК 621.311.61

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ЗАРЯДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Кинёв Данил Вячеславович ¹, Лобанов Данил Евгеньевич ², Матвеев Александр
Сергеевич ³, Афиногентов Денис Александрович ⁴

^{1,2,3,4}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

¹danil.kineff@yandex.ru, ²danik.lobanov.2013@mail.ru, ³sasha_12_sasha@mail.ru,

⁴denisafal@mail.ru

Аннотация. По мере увеличения количества электромобилей во всем мире растет необходимость в создании более энергоэффективных систем зарядной инфраструктуры, способных заряжать автомобили быстрее, чем когда-либо прежде. Новые электромобили имеют больший радиус действия и большую емкость аккумуляторов, чем их предшественники, что обуславливает необходимость разработки решений для быстрой зарядки постоянным током, а также для удовлетворения требований к быстрой зарядке. В статье представлен обзор литературы по различным технологиям зарядки электромобилей и был проведен сравнительный анализ систем.

Ключевые слова: электромобиль, электрозаправка, быстрая зарядная станция.

COMPARISON OF CHARGING SYSTEMS OF ELECTRIC STATIONS FOR ELECTRIC CARS

Kinev Danil Vyacheslavovich ¹, Lobanov Danil Evgenievich ², Matveev Alexander Sergeevich ³, Afinogenov Denis Alexandrovich ⁴

^{1,2,3,4} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Republic of Tatarstan

¹danil.kineff@yandex.ru, ²danik.lobanov.2013@mail.ru, ³sasha_12_sasha@mail.ru,

⁴denisafal@mail.ru

Annotation. *As the number of electric vehicles around the world increases, there is a growing need for more energy-efficient charging infrastructure systems capable of charging cars faster than ever before. New electric vehicles have a longer range and a larger battery capacity than their predecessors, which necessitates the development of solutions for fast charging with direct current, as well as to meet requirements for fast charging. The article presents a review of the literature on various charging technologies of electric vehicles and a comparative analysis of systems was carried out.*

Key words: *electric vehicle, electric power station, fast charging station.*

Введение

Электромобили имеют длинную историю, но пока не достигли нынешнего уровня широкого распространения. Эта отрасль становится приоритетной в большинстве мегаполисов в период 1832-1839 годов. В 19 веке продажи электромобилей были выше, чем автомобилей, работающих на газе, поскольку их технология не требовала переключения передач, не имела вибрации и шума, связанных с автомобилями, работающими на бензине. С 1930 по 1960 год были "мертвыми годами" для электромобилей из-за более дешевой технологии автомобилей с бензиновым двигателем и обнаруженных шоссе, для которых необходимы автомобили, едущие на большие расстояния. Инфраструктура зарядки электромобилей крайне необходима для роста рынка электромобилей во всем мире. Другими словами, наличие инфраструктуры общественного транспорта является критическим фактором, поскольку дальние поездки не могут быть осуществлены из-за ограниченного диапазона хода электромобилей. Согласно росту объемов производства и снижению стоимости батарей в ближайшие годы электромобили приблизятся к ценовой конкурентоспособности по сравнению с обычными автомобилями. За последние несколько лет электромобили прошли путь от новой технологии без массового производства до быстрорастущей части рынка транспортных средств. Правительства всех стран нашли программы по стимулированию строительства зарядной инфраструктуры с помощью нормативных актов, стимулов и партнерских отношений. Тем не менее, существует сравнительно небольшой консенсус относительно оптимального распределения зарядной инфраструктуры и взаимосвязи между

распространением электромобилей и зарядной инфраструктурой. Электрификация транспорта рассматривается как существенный шаг к достижению целей по обеспечению независимости климата, энергии и качества воздуха [1,7].

Основная часть

Зарядная станция - это часть сетевой инфраструктуры, установленная вдоль улицы, на парковке или в домашнем гараже. Основное назначение - подача электроэнергии на электромобиль для зарядки аккумулятора. Зарядная инфраструктура делится на три категории в зависимости от скорости: Уровень 1, Уровень 2 и быстрая зарядка постоянным током (DC) (иногда называемая Уровнем 3). Время, необходимое для зарядки автомобиля, определяется как мощность зарядки, измеряемая в киловаттах. В разных точках зарядки она может отличаться на порядок. Небольшая бытовая розетка может заряжать так медленно, как 1,2 кВт, в то время как самые современные станции быстрой зарядки могут заряжать до 350 кВт, 400 В постоянного тока, в общественных местах. Кроме того, зарядная инфраструктура классифицируется по видам транспорта, как показано в таблице 1[2-4].

Таблица 1

Инфраструктура зарядки, классифицированная по режимам		
Режим зарядки	Напряжение(В)	Уровень протоколов безопасности
Mode 1	120 или 240 В AC	Общая схема без протоколов безопасности
Mode 2	120 или 240 В AC	Общая или выделенная схема с протоколами безопасности, включая обнаружение заземления, защиту от перегрузки по току, температурные ограничения и контрольную линию передачи данных
Mode 3	240 В AC	Такие же протоколы безопасности, что и в режиме 2, и активная линия связи с транспортным средством
Mode 4 DC быстрая зарядка	400 В DC	Проводное подключение и требует более продвинутых протоколов безопасности и связи

Зарядную инфраструктуру можно также разделить на три типа: очень быстрая, быстрая и медленная. Каждый тип зарядного устройства имеет соответствующий набор разъемов, которые приспособлены для использования низкой или высокой мощности, а также для зарядки переменным или постоянным током. Быстрые зарядные устройства считаются самым быстрым методом зарядки электромобиля. Устройства быстрой зарядки обеспечивают высокую мощность постоянного или

переменного тока для зарядки автомобиля до 80% за 20-40 минут. Как правило, зарядные устройства отключаются, когда батарея заряжена примерно на 80%, чтобы защитить батарею и продлить срок ее службы. Быстрая зарядка может использоваться только на автомобилях с возможностью быстрой зарядки. Быстрые зарядные устройства постоянного тока обеспечивают мощность в 50 кВт (125 А), используют CHAdeMO или CCS (комбинированный стандарт зарядки). В настоящее время это самый популярный тип пунктов быстрой зарядки EV (Electric vehicle), являющийся стандартом на протяжении большей части десятилетия. Ультрабыстрые (DC) зарядные устройства обеспечивают мощность 100 кВт, 150 кВт или 350 кВт, хотя возможны и другие максимальные скорости. Для всех EV, способных принимать 100 кВт или более, время зарядки остается на уровне 20-40 минут для типичной зарядки. Даже если EV может принимать только максимум 50 кВт постоянного тока, они все равно могут использовать пункты сверхбыстрой зарядки, поскольку мощность будет ограничена тем, с чем может справиться автомобиль. Как и в случае с устройствами быстрой зарядки мощностью 50 кВт, кабели подключаются к устройству и обеспечивают зарядку через разъемы CCS или CHAdeMO. Кроме того, сеть Supercharger компании Tesla обеспечивает быструю зарядку постоянным током, используя либо разъем Tesla Type 2, либо разъем Tesla CCS в зависимости от модели. Они способны заряжать до 120 кВт, хотя в настоящее время внедряется зарядка мощностью 150 кВт. Все модели Tesla разработаны для использования с установками Supercharger, многие владельцы Tesla используют адаптеры, которые позволяют им использовать быстрые установки мощностью 50 кВт, оснащенные разъемом CHAdeMO. Хотя они обеспечивают меньшую мощность, чем Supercharger, они более распространены в Великобритании и других странах [5].



Рис. 1. Очень быстрые зарядные станции

Быстрые зарядные устройства обычно классифицируются на 7 кВт или 22 кВт (однофазные или трехфазные 32А). Зарядное устройство мощностью 7 кВт заряжает электромобиль с батареей емкостью 40 кВт/ч за 4-6 часов, а зарядное устройство мощностью 22 кВт - за 1-2 часа. Большинство быстрых зарядных устройств обеспечивают зарядку

переменным током. Тем не менее, некоторые сети устанавливают зарядные устройства постоянного тока мощностью 25 кВт с разъемами CHAdeMO или CCS. Быстрые зарядные устройства обычно располагаются на автостоянках или в центрах отдыха, где клиенты, скорее всего, будут парковаться в течение часа или более. Скорость зарядки на быстрых зарядных станциях зависит от бортового зарядного устройства автомобиля, при этом не все модели способны получить 7 кВт и более. Такие модели могут быть подключены к точке зарядки, но получают только максимальную мощность, принятую бортовым зарядным устройством.



Рис. 2. Быстрые зарядные станции

Устройства медленной зарядки имеют мощность до 3 кВт, полная зарядка устройства мощностью 3 кВт обычно занимает 6-12 часов. Медленная зарядка - это популярный и более простой метод зарядки электромобилей, используемый для зарядки электромобилей в домашних условиях в течение ночи. В основном, медленная зарядка может осуществляться через стандартную розетку. На рисунке 3 показаны разъемы для медленной зарядки, которые используются любыми подключаемыми электромобилями с соответствующим кабелем. Подавляющее большинство домашних устройств имеют такой же разъем типа 2, как на общественных зарядных устройствах, или могут быть подключены к разъему типа 1, если это подходит для конкретного электромобиля [6].



Рис. 3. Медленные зарядные станции

Сравнительный анализ систем зарядных станций

Медленный заряд (Переменный ток)	Быстрый заряд (Постоянный ток)
+ Меньшая стоимость за точку заряда	- Выше стоимость заряда
+ Меньшая пиковая мощность	- Выше пиковая мощность
- Увеличение количества точек	+ Уменьшение количества точек за счет пропускной способности
- Долгий процесс зарядки	+ Быстрая зарядка за 30 минут
- Только в местах длительной стоянки	+ Установка в местах кратковременных стоянок

Заключение

В результате анализа было определено, что технология быстрой зарядки является более предпочтительной, чем технология медленной зарядки. Основные преимущества быстрой зарядки: время зарядки, доступность, универсальность. Эти параметры становятся заманчивыми для потребителя, поэтому при развитии инфраструктуры в городах страны рост электромобилей на дорогах будет обеспечен. В заключении исследования стоит указать, что для изменения транспортной системы страны нужна поддержка государства не только для развития инфраструктуры зарядных станций, но и для приобретения и обслуживания электромобилей.

Источники

[1] Удодов, М. С. Концепция развития городской сети станций быстрого заряда электромобилей / М. С. Удодов // Молодой ученый. 2020. № 23 (313). С. 137-143. URL: <https://moluch.ru/archive/313/71247/> (дата обращения: 28.09.2022).

[2] Lambert F. Tesla deploys new mobile supercharger powered by megapack. 2019(accessed Nov 28, 2019), <https://electrek.co/2019/11/29/tesla-mobile-supercharger-megapack/>.

[3] Mou X., Zhao R, and. Gladwin D.T. Vehicle-to-vehicle charging system fundamental and design comparison in IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2019, pp. 1628–1633.

[4]. А. Р. Сафин, и. В. Ившин, а. Н. Цветков, т. И. Петров, в. Р. Басенко, В. А. Манахов. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей: [Электронный ресурс]. https://www.energyret.ru/jour/search/search?simpleQuery_input=Элект

ротранспорт&simpleQuery=Электротранспорт&searchField=query (дата обращения: 15.10.22).

[5]. Рагимов Э.А. Экологические особенности транспорта // Теоретическая и прикладная наука, 2019; [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.07.75.46>

[6] Ма Х., Балтазар Ф., Таит Н., Риера-Палоу Х., Харрисон А. Новое сравнение между выбросами парниковых газов в течение жизненного цикла аккумуляторные электромобили и автомобили внутреннего сгорания // Энергетическая политика, 2012 [Текст]: С. 160–173.

[7] О.А.Филина Исследование эксплуатационного ресурса электрощёток электродвигателя постоянного тока подвижного состава [электронный ресурс].https://www.energyret.ru/jour/search/search?simplequery_input=электротранспорт&simplequery=электротранспорт&searchfield=query (дата обращения: 16.10.22).

[8] Альзаккар А. Оценка индекса устойчивости напряжения электрических сетей, питающих зарядные станции электромобилей с применением многослойного персептрона / А. Альзаккар, Н. П. Местников, В. В. Максимов, И. М. Валеев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 35-48.

[9] Бык Ф. Л. Эффекты интеграции локальных интеллектуальных энергосистем / Ф. Л. Бык, Л. С. Мышкина // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 1. С. 3-15.

[10] Сафин А.Р, Ившин И.В., Цветков А.Н., Петров Т.И., Басенко В.Р., Манахов В.А. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 100-114.

УДК 796:004:620.9

ВЕЛОТРЕНАЖЕРЫ-ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

А.А. Никифорович, Р.С. Зарипова

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

zarim@rambler.ru

В настоящее время тема экологии становится популярной и актуальной. Использование тренажеров-генераторов электроэнергии поможет не только сэкономить огромные суммы денежных средств на потребление энергии, но и принесёт пользу для природы.

Ключевые слова: тренажер, генератор, фитнес, сетевая компания, ТЭЦ, спорт, электричество, электромобили, экология, энергия, элемент питания.

CYCLING POWER GENERATORS AS A TOOL FOR SOLVING ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Nikiforovich A.A., Zaripova R.S.
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
zarim@rambler.ru

Nowadays the topic of ecology is becoming popular and relevant. The use of simulator-generators of electricity will not only help save huge amounts of money on energy consumption, but also will benefit nature.

Key words: simulator, generator, fitness, grid company, CHP, sports, electricity, electric cars, ecology, energy, power cell.

В настоящее время социальные и экологические последствия экономического роста становятся все более очевидными. Экологическая ситуация на нашей планете с каждым годом ухудшается. Поэтому важнейшей задачей человечества на данном этапе развития является поиск более устойчивого и рационального способа производить, потреблять и существовать. То есть концепция устойчивого развития и все вытекающие из нее идеи становятся всё более и более актуальной. Данная концепция находит свое применение в стратегии «зеленого» маркетинга, где требуется постоянный поиск баланса между экономическим ростом и защитой окружающей среды.

Изучая работу компаний различных отраслей, большой интерес вызвала работа сетевой компании [1]. В частности, её станции быстрой зарядки электромобилей, использующие в своей работе электричество, поставляемое от станций ТЭЦ, которые в свою очередь работают на мазуте, природном газе и угле, а также их работа сопровождается вредными выбросами в атмосферу. Был поставлен вопрос – можно ли поставлять электричество более экологичным способом?

Решая этот вопрос, возникла следующая идея: использовать энтузиазм людей, которые занимаются в спортзалах [2]. На мировом рынке с 2013 года существуют тренажёры, которые преобразуют кинетическую энергию человека в электрическую [3]. Мы предлагаем сетевой компании сделать обычный фитнес-центр, но использовать в нём тренажёры, которые подключаются к станциям зарядки электромобилей (рис. 1). А клиентами зала станут люди, которых беспокоят проблемы окружающей среды и которые решат таким образом помочь природе и решить экологические задачи.

Проанализируем благоприятное влияние такого спорткомплекса на компанию по системе ESG. Рассматривая экологический сегмент, мы замечаем, что спорткомплекс является не только источником альтернативной энергии, но и центром для поддержки здоровья населения. Со стороны социального сегмента компании предлагается предоставлять своим сотрудникам абонемент на поход в такой фитнес-центр, тем самым предоставляя не только способ взаимодействия с коллегами вне работы, но и возможность развития тела [4].

Рассмотрим более подробно данный проект. Компания Sport Art уже разработала тренажёры, которые способны вырабатывать электричество. Сейчас в связи с санкциями цена на такие тренажёры порядком возросла [5]. Тем самым создались условия, когда необходимо разработать аналоги и запустить их в массовое производство [6]. Задумка такого фитнес-центра в том, что тренажёры, которые в нём находятся, подключаются к аккумуляторам, накапливающим электроэнергию. Эти аккумуляторы подключены к станциям зарядки электромобилей. Таким образом человек может крутить педали на электротренажёре, а его кинетическая энергия будет накапливаться и через какое-то время поступать в электромобиль.

Перейдём на язык цифр. Тренажёр вырабатывает около 200 Ватт в час. В среднем тренажёр работает 8 часов в день. В фитнес-центре порядка 20 тренажеров. Популярный электромобиль Nissan Leaf требует для зарядки 40 кВт. Зал тренажёров вырабатывает 32 кВт в день. Уже сейчас в России количество электромобилей насчитывает 12290 штук. На каждые 100 км пути потребуется около 30 кВт/ч.

У данного проекта имеются положительные стороны. Энергия, вырабатываемая людьми будет накапливаться в аккумуляторах и поставляться в станции зарядки электромобилей, тем самым частично заменяя энергию, которую поставляют с ТЭЦ.

Таким образом, разработка не только увеличит ESG-показатели сетевой компании, но и положительно будет влиять на экологию и здоровье населения. Учитывая популяризацию электрозаправок и прогнозы на 2024 год, данный проект можно использовать не только в отношении одной компании.

Источники

1. Силкина О.Ю., Зарипова Р.С. "Зелёная экономика" как современный способ развития / Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2022. №3 (29). С.43-45.

2. Ефремов А. А. Анализ зарубежного опыта в части построения энергетической структуры ТЭС на твердых коммунальных отходах / А. А. Ефремов, А. Н. Дудолин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 3-14.

3. Басаргин В.Я., Зарипова Р.С., Пырнова О.А. Влияние цифровых технологий на урбанизацию / Цифровая культура открытых городов: материалы Международной научно-практической конференции. Екатеринбург. 2018. С. 13-15.

4. Сиразева А.Л., Зарипова Р.С. Экологическая эффективность производства из различных источников сырья / Бутаковские чтения. Сборник материалов I Всероссийской с международным участием молодежной конференции. Томск, 2021. С. 404-408.

5. Антипова Т.С., Зарипова Р.С. Основные направления импортозамещения в сфере информационных технологий в условиях санкций / Инновационное развитие экономики. Будущее России: материалы и доклады VI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. 2019. С. 142-145.

6. Зарипова Р.С., Алемасов Е.П. Применение алгоритмов и программных приложений в спорте / Физическая культура, спорт, туризм: наука, образование, информационные технологии: материалы Всероссийской с международным участием заочной научно-практической конференции. Казань, 2022. С. 486-490.

7. Соловьева О. В. Исследование движения газовзвеси в моделях фильтров с твердотельными и пористыми гранулами / О. В. Соловьева, С. А. Соловьев, А. Р. Талипова [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 27-39.

8. Савенко А. Е. Ввод в работу автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии на Керченском металлургическом заводе / А. Е. Савенко, П. С. Савенко // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 51-65.

9. Сафин А.Р, Ившин И.В., Цветков А.Н., Петров Т.И., Басенко В.Р., Манахов В.А. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 100-114.

УДК 621.37

БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ҚАБЫЛДАУ САПАСЫН БАҒАЛАУ ӘДІСІ

¹Хизирова Мухаббат Абдисаттаровна, ²Байдолла Ернар Жұмабекұлы

^{1,2}«Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КеАҚ
m.khzirova@aes.kz¹, y.baidolla@aes.kz²

Аңдатпа. Мақаланың теориялық маңыздылығы, ең алдымен, қызмет көрсету кеңістігінің моделін, пайдаланушының қабылдау аймағының моделін, белгілі бір уақытта қолданушы қабылдай алатын қызмет кеңістігінің бір бөлігі болып табылатын кеңейтілген шындық трафигін ұсынудың жаңа әдістемесін жасаумен және оның позициясы мен қабылдау аймағының өзгеруін сипаттайтын мобильді пайдаланушының мінез-құлқымен байланысты.

Бұл кеңейтілген шындық трафигін бағалауды, оның ішінде оны кеңістікте бөлуді және сәйкесінше кеңейтілген шындық трафигінің сипаттамаларын ескере отырып, бесінші буын байланыс желілерін жоспарлауды барабар анықтауға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: *Quality of Experience, IPTV, RTT (round-trip time), Ретрансмит, SYN/ACK, Video Quality Metric, MPEG.*

METHOD FOR ASSESSING THE QUALITY OF PERCEPTION IN COMMUNICATION SYSTEMS

¹Khizirowa Mukhabbat Abdisattarovna, ²Baidolla Yernar Zhumabekuly

^{1,2}Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev
m.khzirova@aes.kz¹, y.baidolla@aes.kz²

Annotation. The theoretical significance of the article is primarily associated with the development of a model of the service space, a model of the user's reception area, a new methodology for presenting augmented reality traffic that is part of the service space that the user can receive at a given time, and the behavior of a mobile user describing its position and changes in the reception area. This makes it possible to adequately determine the assessment of augmented reality traffic, including its distribution in space and, accordingly, the planning of fifth-generation communication networks, taking into account the characteristics of augmented reality traffic.

Key words: *Quality of Experience, IPTV, RTT (round-trip time), Retransmitt, SYN/ACK, Video Quality Metric, MPEG.*

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОСПРИЯТИЯ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ

¹Хизирова Мухаббат Абдисаттаровна, ²Байдолла Ернар Жұмабекұлы

Аннотация. Теоретическая значимость статьи в первую очередь связана с разработкой модели пространства обслуживания, модели зоны приема пользователя, новой методики представления трафика дополненной реальности, являющегося частью пространства обслуживания, которую пользователь может получить в заданное время и поведение мобильного пользователя, описывающее его положение и изменения в зоне приема. Это позволяет адекватно определять оценку трафика дополненной реальности, в том числе его распределение в пространстве и, соответственно, планирование сетей связи пятого поколения с учетом особенностей трафика дополненной реальности.

Ключевые слова: качество восприятия, IPTV, RTT (время приема-передачи), ретрансляция, SYN/ACK, метрика качества видео, MPEG.

1 Байланыс желілеріндегі қабылдау сапасы

Қазіргі заманғы телекоммуникациялық қызметтерді дамыту және күрделендіру оларды ұсыну сапасын бағалау тәсілдерін өзгертуді талап етеді. Сонымен қатар, бүгінде пайдаланушылар ақпарат беру сапасына да, операторлардың қызметтері мен тарифтік жоспарларына да нұқсан келтіреді. Бейне қызметтердің пайда болуымен және кең таралуымен қолданыстағы қызмет көрсету көрсеткіштерінің пайдаланушының қызметке қанағаттану дәрежесін түсіну үшін жеткіліксіз екендігі айқын болады. IPTV енгізу кезінде қызмет көрсету сапасын бағалау кезінде ескеру қажет бірқатар көрсеткіштер анықталды. Мысалы, теледидар арналарын ауыстыру уақыты. Арналарды жиі ауыстырып тұратын бірқатар пайдаланушылар бар, бірақ кабельдік теледидардан айырмашылығы, IP желілерінде бір бейне ағынын таратудан екіншісіне ауысу әр түрлі серверлер, кіру шлюздері, мәліметтер базасы, мазмұнды қорғау жүйесі және т. б. арасында бірқатар функцияларды орындауды талап етеді. Осы жабдықтың өзара әрекеттесу ережелеріне, сұраныстарды өндеу уақытына, жүйеде қажетті ақпаратты іздеу жылдамдығына байланысты арналарды ауыстыру жүзеге асырылады және осы жағдайда арнаны ауыстыру уақыты желінің жұмысына (арналардың өткізу қабілеті, түйіндердің өнімділігі) ғана емес, сонымен қатар IPTV қызметтерін ұсынуға арналған жабдықтар кешенінің нақты сипаттамаларына да байланысты болады. Сондай-ақ, пайдаланушылар үшін интерфейсті шарлаудың ыңғайлылығы мен қарапайымдылығының маңыздылығын атап өткен жөн. Пайдаланушылардың үлкен пайызы техникалық білімді адамдарға жатпайды, олардың арасында зейнеткерлер, үй шаруасындағы әйелдер, гуманитарлық қоймасы бар адамдар көп, олар үшін әртүрлі функциялар мен қызметтердің көптігі бар жаңа интерфейсті түсіну қиын міндет болып табылады. Көптеген адамдар тіпті жаңа жүйелердің мүмкіндіктерінен бас тартады,

өйткені мәзірдің күрделілігіне байланысты ескі және таныс қызметтерді де пайдалана алмайды. Мұндай жағдайлар қызмет көрсету сапасының жаңа көрсеткіштерін құру қажеттілігін түсінуге әкеледі. Жаңа көрсеткіштер жиынтығын жүйелеу және олардың тізімін кеңейту үшін халықаралық электр байланысы одағы (ХЭО, ағылш. ITU, International Telecommunication Union) Р. 10/G. 100, G. 1000, G. 1010, G. 1080 бірқатар ұсыныстарын әзірлейді, онда қабылдау сапасы ұғымы енгізіледі және мультимедиялық қызметтерді, оның ішінде бейне қосымшаларды ұсыну сапасын бағалау үшін көрсеткіштердің негізгі топтары анықталады. ХЭО Р. 10/G. 100 ұсынымына сәйкес қабылдау сапасы – бұл қолданушы субъективті түрде қабылдайтын қосымшаның немесе қызмет көрсетудің жалпы қолайлылығы. Бұл қабылдау пайдаланушының терминалы, желі, қызмет инфрақұрылымы сияқты қызмет көрсету процесіне қатысатын барлық элементтердің жұмысын бағалауды қамтиды және бұл бағалау пайдаланушының күтуіне байланысты болуы мүмкін. Негізінде, қабылдау сапасы субъективті түрде соңғы пайдаланушымен өлшенеді, сондықтан бірдей техникалық сипаттамалары бар әр түрлі пайдаланушылардан ерекшеленуі мүмкін, алайда көбінесе операторлар мен қызмет көрсетушілер қабылдау сапасын объективті әдістермен бағалауға тырысады, олар қазіргі кездегі қызметтерді жан-жақты бағалау үшін жеткіліксіз. Объективті әдістерді әзірлеуді қиындатады, сөйлеудің берілу сапасын бағалаудан айырмашылығы, параметрлердің әсерлі санын ескеру қажет, мұнда G. 107 ұсынысында сипатталған Е-модельде пайдаланушының қызметке қанағаттану дәрежесін түсіну үшін 21 параметр жеткілікті. Бейне ағындары үшін әсер сонымен қатар жүйенің бірқатар сипаттамаларына ие, мысалы, кодек және қолданылатын кодтау жылдамдығы, ақпарат көзі мен дисплейдегі медиа ажыратымдылығы, ақпараттың жоғалуы және кідіріс. Бейне ағыны үшін пакеттің жоғалуы немесе кідірісі қай уақытта берілгені маңызды, бұл қабылданған бейне сапасының жоғары өзгергіштігіне әкеледі. Көрсеткіштердің реакциясына әсер ететін қосымша факторлар бар. Мысалы, жүйенің жұмыс шарттары, яғни стандартты анықтықтың (SDTV) кескінін бағалаудың бірдей жағдайларында жоғары анықтықтағы теледидардың (HDTV) кескінінен немесе бейнеклипті интернетте көргенде басқаша бағаланады. Қабылдау сапасы сонымен қатар мәдени фонды, мотивацияны, назар аударуға байланысты факторларды, пайдаланушының эмоционалды жағдайын және т.б. ескеруді қамтиды. Пайдаланушының қандай да бір қызметтің қолайлылығы туралы пікіріне қосымшаның алдыңғы нұсқасымен немесе технологиямен жұмыс істеу тәжірибесі сияқты факторлар да әсер етуі мүмкін. Мысалы, пайдаланушылар көбінесе спутниктік теледидар мен IPTV-нің жұмысын, сондай-ақ осы қызметтердің құнын, қызмет көрсететін ерекше артықшылықтарды салыстырады: ұтқырлық, уақыт тәуелсіздігі, фильмдер мен қосымша қызметтердің үлкен таңдауы және т.б.

Оларды екі үлкен топқа бөлуге болады. Бірінші топқа қызмет көрсету сапасының көрсеткіштері, сондай-ақ пайдаланушыға қызмет көрсету кезінде жүйенің

жұмысын бағалауға ықпал ететін параметрлер кіреді. Екінші топқа адамның қабылдау компоненттері кіреді. Бірінші топтың көрсеткіштері желі мен жабдықтың жұмысын сипаттайтындықтан және оператор оларды үнемі қадағалап отыратындықтан, олар объективті көрсеткіштерге жатады. Адамның қабылдау компоненттері субъективті параметрлерді сипаттайды, бірақ бұл параметрлер пайдаланушылардың бағалауына үлкен әсер етеді. Сондықтан қабылдау сапасы саласындағы көптеген зерттеулер мен әзірлемелер объективті индикаторлармен байланысы бар бейне қосымшаларды қабылдау сапасын объективті бағалау әдістерін жасауға және олардың өзара корреляция деңгейін анықтауға бағытталған.

Объективті көрсеткіштерге ақпарат беру факторлары, қосымшалардың жұмыс істеу факторлары, қызмет көрсету факторлары кіреді. Ақпаратты беру факторларына деректерді берудің минималды жылдамдығы, пакеттің жоғалуының максималды деңгейі, кідірістер, өткізу қабілеті және бұрын қызмет көрсету сапасына енгізілген басқа желілік сипаттамалар кіреді.

Қосымшалардың жұмыс істеу факторлары кодек параметрлерін, бастапқы бейне деректерінің ажыратымдылығын, кодтау жылдамдығын, қателерді жасыру схемасын, шығындарды теңестіру схемасын және т.б. ескереді, бейне беруді бағалау үшін пайдаланушының қандай кодек орнатылғанын және оның сипаттамаларын түсіну керек, бұл бейне деректерді MPEG стандарттары бойынша кодтау ерекшеліктеріне байланысты.

Қызмет факторлары қызмет көрсету деңгейін бағалайды, мысалы, арналар арасында ауысу уақыты (Zapping time), мазмұнды таңдау мүмкіндігі, электронды бағдарлама (ағылш. Электрондық Бағдарлама нұсқаулығы, EPG), жауап беру уақыты. Бүгінгі таңда пайдаланушыға тиісті сапамен қызмет көрсету үшін желінің қажетті сипаттамаларының орындалуын қамтамасыз ету жеткіліксіз. Операторлар пайдаланушыны қызықтыруы, олардың қызығушылығын сақтауы, басқаларында жоқ фильмдер мен теледидар арналарын ұсынуы керек. Бұл теледидар студиялары мен фильмдер шығаратын компаниялармен күрделі келіссөздерге байланысты, бұл арнайы құқықтық, маркетингтік, экономикалық білімді қажет етеді. Егер интерактивті теледидар пайда болғанға дейін оператор пайдаланушыға желіге кіруге мүмкіндік берсе, қазір ол мазмұнды таңдағанда пайдаланушылардың талғамы мен қалауын түсінуі керек.

Субъективті көрсеткіштерге адамның қабылдау компоненттері, қызметті басқару функциялары және тарифтер кіреді.

Адамның қабылдау компоненттері мәдени фонды, мотивацияны, эмоционалды жағдайды, зейінді және т.б. соңғы уақытқа дейін пайдаланушының эмоционалды жағдайын бағалау мүмкін емес болып көрінді, бірақ жақында оны жүзеге асыра алатын құралдар көбейіп келеді. Мысалы, кеңейтілген шындық камералары адамның эмоцияларын тани алады және алынған эмоциялар негізінде пайдаланушыларға қызмет

көрсету кезінде терең жеке көзқарасты жүзеге асыруға болады. Электрондық бағдарлама бағдарламасын құру кезінде эмоцияларды талдаңыз және көбінесе пайдаланушының жағымды эмоцияларын тудыратын бағдарламаларды ұсыныңыз, содан кейін пайдаланушыда жағымсыз эмоцияларды (қайғы, шаршау, тітіркену) тану кезінде көңіл-күйді жақсартуға ықпал ететін мазмұнды ұсыныңыз. Сондай-ақ, назардың шоғырлануын анықтау үшін кеңейтілген шындық құралдарын қолдану қызығушылық тудырады. Пайдаланушылар көбінесе фонға арналған теледидарды қосады, және сол кезде олар басқа нәрселермен айналысады, бірақ сонымен бірге сауалнама жүргізу және қабылдау сапасын бағалау кезінде олар өз ойларын басшылыққа ала отырып, төмен баға қояды. Осылайша, олардың бағалауы әділ емес және ескерілмеуі керек. Сондай-ақ, концентрацияны бақылау функциясы бейне мазмұнын көру ыңғайлылығын арттыру үшін пайдаланылуы мүмкін. Мысалы, егер камера көлбеу бұрышының өзгеруін және бастың айналуын ұзақ уақыт бойы жазып отырса, пайдаланушы экранның алдында ұйықтап, берілу көлемін азайтады немесе берілетін бейненің сапасын төмендетеді деп қорытынды жасауға болады, өйткені пайдаланушы оны байқамайды, осылайша ресурстарды тиімді пайдалануды, желінің өткізу қабілеттілігін арттыруды және жүктемені азайтуды қамтамасыз етеді. орташа желілік кідіріс.

2 Пайдаланушы моделі

Пайдаланушы моделі – бұл қызметті модельдеудің маңызды элементтерінің бірі. Пайдаланушы қызмет үшін құрылатын субъект болғандықтан, мұндай модель оның мінез-құлқы мен қабылдауының негізгі сипаттамаларын көрсетуі керек, олар қызметтің техникалық параметрлеріне талаптар қояды. Бұл хабарламаларды (ақпаратты) қабылдау және ақпараттың қажеттілігін анықтайтын мінез-құлық, ұйымдастыру және қызмет көрсету әдістерін таңдау факторлары болып табылады.

Хабарламаларды ұсынудың әртүрлі формаларын қабылдау қабілеті адам-машина интерфейсін (жалпы жағдайда) ұйымдастыруға арналған құралдарды таңдауды анықтайды. Мұндай таңдау адамның хабарламаларды ұсынудың әртүрлі формаларын қабылдау ерекшеліктерін, сондай-ақ әртүрлі жағдайларда бірнеше хабарламаларды қабылдау қабілеттерін зерттеуге негізделуі керек. Бұл жеке зерттеу саласы. Бұл жағдайда біз пайдаланушының мінез-құлқына, атап айтқанда, деректер сұрауларының сипатына байланысты мінез-құлық ерекшеліктеріне назар аударамыз. Пайдаланушы моделінің бұл компоненті сұрау трафигі мен DR қызметтерінің деректер трафигінің ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік береді.

Пайдаланушы моделін сипаттау кезінде біз келесі болжамдарға сүйенеміз:

1) пайдаланушы-бұл адам, ал пайдаланушы терминалы-Dt көзілдірігі, смартфон немесе байланыс желісіне қосылған және пайдаланушымен графикалық интерфейсі (экраны) бар басқа портативті құрылғы.

2) мінез-құлқы ең ықтимал (типтік) жағдайлармен анықталатын типтік пайдаланушыны қарастырыңыз. Бұл модель толық қауымдастықты қажет етпейді,

өйткені пайдаланушының мінез-құлқы әдеттегіден айтарлықтай өзгеше болуы мүмкін көптеген арнайы (нақты) аймақтар мен жағдайлар болуы мүмкін. Мұндай қосымшалар нақты модельдерді қажет етеді.

3) мінез-құлық моделін құру кезінде біз мәліметтер сұрауларының сипатын анықтайтын ерекшеліктерді ғана зерттейміз. Оларға DR құрылғысына әсер ететіндер кіреді, оларды қазіргі уақытта қол жетімді сенсорлар мен енгізу құрылғылары арқылы бағалауға болады.

Құрылғы өзгерте алатын немесе енгізе алатын параметрлерді сипаттаңыз. :

- 1) дыбыс, көзі мен мазмұнын тану жоқ;
- 2) көзі және/немесе мазмұны танылатын дыбыс;
- 3) фото немесе видео (объектілерді танусыз);
- 4) фото немесе видео (объектілерді танумен);
- 5) кіріс құрылғысымен манипуляциялар (сенсорлық экран және т. б.);
- 6) құрылғының кеңістіктегі орны (GPS координаттары немесе ғаламдық позициялаудың басқа жүйелері);
- 7) құрылғының кеңістіктегі бағыты (Жердің магнит өрісіндегі бағыт);
- 8) жарықтандыру туралы деректер;
- 9) температура туралы деректер.

Берілген мәліметтер жиынтығы типтік болып табылады, Жеке құрылғылар фитнес білезіктер ("ақылды сағаттар") және т. б. сияқты кеңірек мәліметтер жиынтығын көрсете алады.

ДР қызметі мобильдік құрылғыда жұмыс істейтін др клиенттік қосымшасы мен сервердің өзара іс-қимылы кезінде ұсынылады. Деректер сұрауларын клиенттік қосымша жасайды. Бұл ретте ДР деректерін сұрату интерактивті, яғни пайдаланушының талабы бойынша, сондай – ақ клиенттік қосымшаның шешімі бойынша болжамды болуы мүмкін. Бірінші жағдайда, пайдаланушы белгілі бір жолмен сұрау салады, атап айтқанда сенсорлық экранды түрту, манипулятордың қозғалысы немесе дауыстық пәрмен. Екіншіден, сұрау пайдаланушының немесе қоршаған ортаның әрекеттерін талдау негізінде автоматты түрде клиенттік бағдарламамен жүзеге асырылады, мысалы, басқа координаттармен нүктеге жылжу, Абоненттік құрылғыны бұру, белгілі бір мақсатты объектінің бақылау аймағына кіру және т. б.

Осылайша, деректер сұрауларының сипаты әр түрлі болуы мүмкін, бұл қызмет ерекшелігіне байланысты. Модельді құру кезінде біз қолданба бастаған сұрауларды ғана талдаймыз, яғни.пайдаланушының мінез-құлқының кейбір қасиеттерін талдау негізінде автоматты түрде. Көптеген заманауи қосымшалар мен қызметтерге тән ең тән қасиеттерді қарастырыңыз, атап айтқанда: пайдаланушының қозғалысы және ғарыштағы құрылғының орнын өзгерту.

Мұндай жағдайларда сұрау салуды бастау пайдаланушының координаттары немесе абоненттік құрылғының кеңістіктегі орны өзгерген кезде орын алады. Деректер

уақтылы жеткізілуі керек болғандықтан (олар талап етілуі мүмкін болған кезде), олардың сұранысы кейбір болжамдарға сүйене отырып жасалуы керек. Болжам үшін бастапқы деректер сұрау жасалғанға дейін пайдаланушының мінез-құлық параметрлері болуы мүмкін. Әрине, мысалы, жүргізуші автомобильде жоғары жылдамдықты жолмен жүргенде, жылдамдық пен бағытты ескере отырып, деректерді дайындаған жөн.

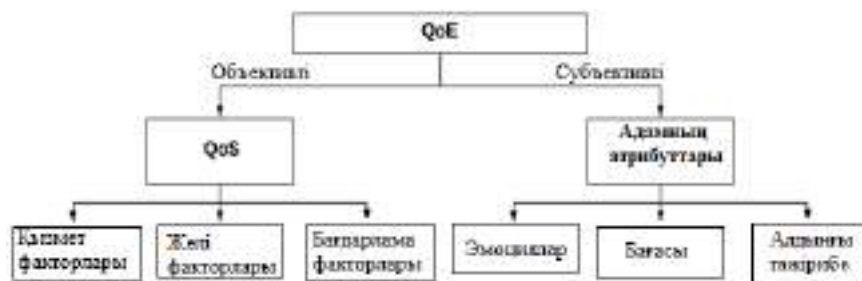
Жалпы алғанда, біз айта аламыз: белгілі бір жағдайда әр түрлі мәліметтер сұранысқа ие болу ықтималдығы әртүрлі. Бұл Пайдаланушының мінез-құлқымен, оның қозғалысымен анықталады. Сонымен қатар, қозғалыс пайдаланушының да, абоненттік құрылғының да (кеңістіктегі бағдар) қозғалысымен сипатталуы мүмкін.

Пайдаланушының қозғалысы туралы (оның үш өлшемді кеңістіктегі координаттарының өзгеруі) айта отырып, DR объектісі пайдаланушының қоршаған кеңістігіне енген кезде мәліметтер сұранысы пайда болады деп санаймыз. Мұндай оқиға абоненттік құрылғының сенсорларымен тіркелуі мүмкін, егер бұл мүмкін болса және қызметте көзделсе, немесе басқа деректер базасына жүгінгеннен кейін. Бұл өзгерістің белгілі бір шекті мәнін таңдау керек екені анық, өйткені координаттарды бағалаудағы өзгерістер пайдаланушының қозғалысына ғана емес, сонымен қатар кездейсоқ-позициялау жүйесінің жұмысында қателіктің болуына байланысты болады. Сонымен қатар, бұл өзгерістің мөлшері қарастырылып отырған кеңістіктегі DR объектілерінің тығыздығына байланысты болуы мүмкін.

3 Quality of Experience

IT саласында тәжірибе сапасы ("қабылдау сапасы") үшін бірде-бір анықтама жоқ. Бірақ, әдетте, QoE интернет-провайдердің қызметтеріне клиенттердің жалпы қанағаттанушылығын білдіреді.

Қабылдау сапасы бірнеше субъективті де, объективті де факторларға байланысты. Бірінші жағдайда, пайдаланушының бағасына оның басқа операторлармен жұмыс істеу тәжірибесі әсер етеді. Ол бағаларды, техникалық қолдау қатынасын және т. б. салыстырады



1 Сурет – QoE объективті және субъективті факторлары

QoE объективті факторларының негізгі метрикасы-қызмет көрсету сапасы (QoS). Бұл жағдайда абоненттің әсері желінің өнімділігі мен тұрақтылығынан, бейнені қарау

кезінде артефактілердің болуын/болмауынан, сондай-ақ VoIP әңгімелеріндегі сыртқы дыбыстар мен шудан қалыптасады.

3.1 QoE қалай өлшенеді

QoE-ге әсер ететін факторлардың бір бөлігі субъективті болса да, пайдаланушының қабылдау сапасын өлшеуге болады. Бұл салада көптеген зерттеулер жүргізілуде.

Анықтау әдісі сервиске немесе қызметке байланысты (аудио, видео, ағын және т.б.).

Сөйлеу және аудио.

Халықаралық Электр байланысы одағы (ITU) ұсынған E-моделі қолданылады. Ол VoIP байланысы арқылы сөйлесу кезінде жабдықтың сипаттамалары мен желі параметрлеріне сүйене отырып, пайдаланушылардың тәжірибесін болжайды. Бұл ақпарат коэффициенттері бірқатар субъективті эксперименттер негізінде таңдалған формулаға ауыстырылады.

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A \quad (1)$$

мұндағы R_0 - бұл сигнал-шу қатынасы,

I_s - сөйлеу көлемін және сөйлесу кезінде қоңыраулардың болуын ескереді,

I_d - сигналдың кідірісінен туындайтын бұрмалану деңгейі,

I_e - қолданылатын кодектер мен жабдықтардың әсерін бағалайды.

Ал A - QoE сапасының рұқсат етілген төмендеуі, клиент оны қабылдауға дайын (мысалы, Wi-Fi-ға қосылған кезде ұтқырлықтың орнына).

Желілік ойындар. Компьютерде ойнау кезінде қабылдау сапасын бағалау үшін бірқатар провайдерлер G-моделін қолданады. Оны Нидерланды қолданбалы ғылыми зерттеулер ұйымының (TNO) инженерлер тобы ұсынды. Ол кідіріс, джиттер және желілік байланыс пакеттерінің жоғалуы сияқты факторларды ескереді. Формула келесідей:

$$MOS = \max(4,33 - 3,0810^{-9} X^3 + 1,1810^{-5} X^2 - 1,1510^{-2} X, 1) \quad (2)$$

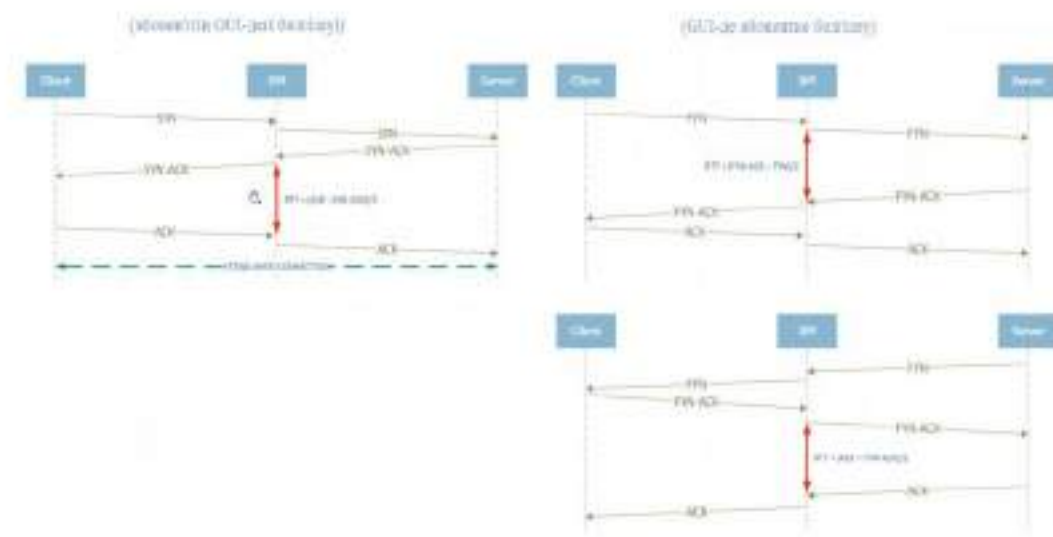
Параметрдің артында желінің үзілістерінің QoE-ге әсері жасырылған. Ол келесідей есептеледі

$$X = \min(PING + 0,686 JITTER, 650) \quad (3)$$

Нидерланды мамандары формуланы Quake IV, Quake III, Unreal Tournament, Counter Strike және Halo сияқты ойындарда сынап көрді. Әдістің дәлдігі шамамен 98% құрады.

Видеоны қарау кезінде QoE-ге суреттің жарықтығы мен контрасты, түс беру, көрінетін бұрмаланулар мен артефактілердің болуы сияқты факторлар әсер етеді. Кейде бейнелер үшін қабылдау сапасы бірқатар субъективті тесттермен өлшенеді. Сарапшылар бейне үзінділерді қарап, олардың сапасын бес балдық шкала бойынша бағалайды — содан кейін нәтижелер орташа болады. Адам факторын болдырмау үшін видеода әртүрлі артефактілерді табатын Video Quality Metric сияқты мамандандырылған бағдарламалық жасақтама қолданылады: бұлдырлану, суреттің табиғи емес қозғалысы, шу.

RTT (round-trip time). Бұл сигналды беру, оны өңдеу және қабылдауды растау үшін қажет уақыт.



2 Сурет – RTT және ретрансмит

Ретрансмит.

Жүйе клиент серверден 10 секунд ішінде SYN/ACK жауабын күтпеген сайын орын алатын деректерді қайта жіберу әрекеттерін тіркейді.

RTT және ретрансмиттер туралы мәліметтер дашбордтарда график түрінде көрсетіледі. Бақылау бөлімі осы статистикамен жұмыс істей алады және RTT көрсеткіштерінің жоғарылауына оларды көзбен бақылау арқылы жауап бере алады.

Интернет-провайдерге бұл не үшін қажет?

Қосылу кезіндегі қателерді мониторинг жасау арқылы, желінің жалпы күйін бағалауға болады. Егер олар жүйелі болса, IT-инфрақұрылым проблемаларының жоқтығына көз жеткізу керек.

QoE басқа мәселелерді шешуге мүмкіндік береді. RTT және ретрансмиттерді бағалай отырып, маркетингтер жабу және функционалдылық бойынша ең жақсы

көрсеткіштері бар жабдықты сатуға, сондай-ақ абоненттің жеке кабинеті арқылы арнаның жүктемесі мен сапасы туралы ақпарат беруге мүмкіндік алады. Мұндай қадамдар QoE көтеруге көмектеседі және клиенттердің кетуін азайтады.

Қорытынды

Қазіргі қоғам адам өмірінің барлық салаларына инфокоммуникациялардың енуімен сипатталады. Байланыс қызметтері тек іскери клиенттерге ғана қажет емес, байланысты қарапайым пайдаланушылар жиі қолданады: ол адамдар арасындағы қарым-қатынастың ажырамас бөлігі, танымал ойын-сауыққа қол жеткізу, бедел элементі, ақша табу құралы және т. б. бүгінгі таңда IPTV (Internet Protocol Television) қызметтерін қоса алғанда, бейне беру қызметтері пайдаланушылар арасында танымал бола бастады, және көптеген операторлар оларды іске асыру үшін желілерді орналастырды немесе орналастыруда.

Көрсетілетін қызметтер спектрін кеңейту және олардың сапасын тиісінше арттыру пайдаланушы үшін бәсекелес күрестегі байланыс операторлары үшін негізгі факторларға айналуға.

TCP/IP технологиясын мультисервистік желілерді құру үшін негіз ретінде пайдаланатын NGN (Next Generation Network) келесі буын байланыс желілерінің тұжырымдамасы операторға іс жүзінде шектеусіз қызметтерді ұйымдастыруға үлкен мүмкіндіктер береді. Сонымен қатар, ол жаңадан құрылған қызметтердің QoE (Quality of Experience) қабылдау сапасын бағалау үшін әдістерді құру және енгізу тұрғысынан күрделі міндеттер қояды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] Бабкин В.А. Оценка уровня каналов // Вестник связи. №7.2018. С. 6-8
- [2] Бабкин В.А. Граничные условия качественных показателей сети связи // Вестник связи. №9.2018. С. 13-17.
- [3] Бабкин В.А. Строганова Е.П. Эффективные критерии для мониторинга телекоммуникационных сетей // Международная научно-практическая конференция “Синхроинфо 2018”, Беларусь, Минск, 2018.
"SINCHROINFO 2018". Belarus, Minsk.
- [4] Recommendation ITU-T Y.1540, "Internet protocol data communication service - IP packet transfer and availability performance parameters", 07/2016.
- [5] Recommendation ITU-T Y.1541, "Network performance objectives for IP-based services", 12/2011.
- [6] Recommendation ITU-T M.2301, "Performance objectives and procedures for provisioning and maintenance of IP-based networks", 07/2002.
- [7] Recommendation ITU-T E.651, "Reference connections for traffic engineering of IP access networks", 03/2000.
- [8] Recommendation ITU-T Y.1231, "IP access network architecture", 11/2000.

[9] Mauro D., Schmidt K. (2012). Basics of SNMP. 2nd edition, trans. from English, St. Petersburg: Symbol-Plus. 520 p.

[10] INEWS OF THE NATONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES ISSN 2224-5227 Volume 3, Number 447 (2021), 95-99 <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.69> q3-37%. USING OF VIRTUAL PRIVATE NETWORK TECHNOLOGY FOR SIGNAL TRANSMISSION IN CORPORATE NETWORKS.

УДК 621.37

ЖОҒАРЫ ӨНІМДІ ДЕРЕКТЕР ОРТАЛЫҚТАРЫНДАҒЫ ФОТОНДЫ КОММУТАЦИЯ

¹Берден Абылайхан Берденұлы, ²Чежимбаева Катина Сламбаевна
^{1,2}«Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс
университеті» КеАҚ
a.berden@aes.kz¹, k.chezhibayeva@aes.kz².

Аңдатпа. Фотонды коммутатор желіаралық желілерінің өнімділігінің өсіп келе жатқан талаптарын қанағаттандыру үшін жоғары өнімді деректер орталықтарының архитектурасына енгізу үшін қарастырылуда. Біз фотонды коммутаторлар технологияларына шолу жасаймыз және олардың ДӨО өнімділігіне ықтимал әсерін бағалау әдістемесін әзірлейміз. Біз оптикалық коммутатордың үш санатын, атап айтқанда, бос кеңістіктегі коммутаторды, III-V біріктірілген коммутаторды және біріктірілген кремний коммутаторды қарастырудан бастаймыз. MEMS, LCOS, SOA, MSI және MR коммутациясының соңғы технологиялары, сондай-ақ олардың өнімділігі мен масштабталу мүмкіндіктері қарастырылады. ДӨО оптикалық коммутатордың нақты пайда болуы үшін қажет өнімділік көрсеткіштері талқыланады және жинақталады, ауысу уақытына, құнына, қуат тұтынуына, масштабталуына және оптикалық қуатына ерекше назар аударылады. Сонымен қатар, коммутатордың метрикалық кеңістігіндегі Парето фронты талданады.

Түйінді сөздер: Фотонды коммутатор, MEMS, LCOS, SOA, MSI, Парето фронты

PHOTON SWITCHING IN HIGH-PERFORMANCE DATA CENTERS

¹A.B. Berden, ²K.S.Chezhimbayeva
^{1,2}Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev
e-mail: k.chezhibayeva@aes.kz, a.berden@aes.kz

Abstract. The photon Switch is being considered for implementation in the architecture of high-performance data centers to meet the increasing performance

requirements of the network. We will provide an overview of photon switch technologies and develop a methodology for assessing their potential impact on data center performance. We will start by considering three categories of optical switches, namely the free space switch, the III-V integrated switch, and the integrated silicon switch. The latest MEMS, LCOS, SOA, MSI, and MR switching technologies, as well as their performance and scalability capabilities, are considered. The performance indicators required for the actual appearance of a data center optical switch are discussed and summarized, and special attention is paid to switching time, cost, power consumption, scalability, and optical power. In addition, the Pareto front in the metric space of the Switch is analyzed.

Keywords: *photonic switch, MEMS, LCOS, SOA, MSI, Pareto front*

ФОТОННАЯ КОММУТАЦИЯ В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

¹Берден Абылайхан Берденулы, ²Чезимбаева Катипа Сламбаевна

^{1,2}НАО «Алматинский университет энергетики и связи им.Гумарбека Даукеева»

a.berden@au.es.kz¹ k.chezhibayeva@au.es.kz²

Аннотация. Фотонные коммутаторы все чаще рассматриваются для внедрения в высокопроизводительные архитектуры центров обработки данных для удовлетворения растущих требований к производительности сетей межсетевого взаимодействия. Мы представляем обзор технологий фотонных коммутаторов и разрабатываем методику оценки их потенциального влияния на производительность ЦОД. Мы начинаем с обзора трех категорий оптических коммутаторов, а именно: коммутаторов в свободном пространстве, интегрированных коммутаторов III-V и интегрированных кремниевых коммутаторов. Рассматриваются новейшие технологии коммутации MEMS, LCOS, SOA, MZI и MRR, а также их ограничения по производительности и соображения масштабируемости. Обсуждаются и обобщаются показатели производительности, необходимые для реального появления оптических коммутаторов в центрах обработки данных, с особым акцентом на время переключения, стоимость, энергопотребление, масштабируемость и оптическую мощность. Кроме того, анализируется фронт Парето в пространстве метрик коммутаторов. Наконец, мы рассмотрим гибридную интегрированную конструкцию коммутатора с использованием технологии склеивания пластин III-V/Si и исследуем ее потенциальное влияние на снижение стоимости и мощности.

Ключевые слова: фотонный коммутатор, MEMS, LCOS, SOA, MSI, фронт Парето

1 Кіріспе

ДӨО желілерін үш негізгі функционалдық блок түрінде ұсынуға болады, олар мыналарды қамтиды: (1) көптеген соңғы нүктелер арасында ақпарат беруге арналған арналар жиынтығы; (2) әрбір арнаға және әрбір арнадан ақпаратты енгізуге және жинауға жауап беретін желілік интерфейстер; және (3) кіріс арналарында алынған ақпаратты беруге арналған коммутаторлар, тиісті шығу арналарына. Деректер орталығы серверлерінің өнімділігінің тұрақты өсуі желінің барлық үш функционалды блоктарының өткізу қабілеттілігінің жоғарылауына әкеледі.

Бірнеше сантиметрлік электр берілістері бір сымнан ондаған Гбит/с-пен шектелген. Осылайша, жүздеген Гбит/с өткізу қабілетіне қол жеткізу параллелизмнің жоғары деңгейін талап етеді, бұл өз кезегінде үлкен интерфейстер мен күрделі конструкцияларға әкеледі. Сонымен қатар, Мур Заңының соңына қарай бір ауданға транзисторлардың саны азайып келеді және әрқайсысы жүздеген Гбит/с өткізу қабілетін қамтамасыз ететін көптеген порттары бар электрондық қосқыштарды енгізу барған сайын күрделі міндетке айналуға. Деректер орталықтарында үнемі өсіп келе жатқан өткізу қабілеттілігінің талаптарын қолдау үшін зерттеушілер жаңа арналар мен интерфейстердің архитектураларын іздейді, сондай-ақ осы мақаладағы ең бастысы-коммутацияның балама әдістерін, атап айтқанда оптикалық коммутатор.

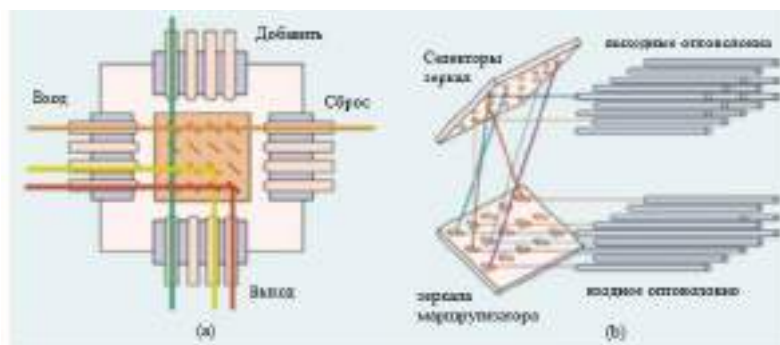
Бірнеше технологиялар микроэлектромеханикалық жүйелерді (MEMS), кремнийдегі сұйық кристалдарды (LCOS), жартылай өткізгішті оптикалық күшейткіштерді (SOA), Маха-Цендер интерферометрлерін (MZIs) және микросақиналы резонаторларды (MRR) қоса алғанда, ДӨО қолданбалары үшін кеңістіктік немесе толқын ұзындығы бойынша таңдаулы оптикалық қосқыштарды қамтамасыз ете алады. ДӨО белгілі бір қолданба үшін оптикалық қосқышты таңдау, сайып келгенде, бір порттың құны, қайта конфигурациялау уақыты және оптикалық қуаттың жоғалуы сияқты көрсеткіштермен анықталады. Оптикалық қосқыштарды әдеттегі электр қосқыштарымен бірге пайдалану қосымша өткізу қабілетін берудің орнына қолданыстағы өткізу қабілетін қайта бөлу арқылы желідегі қиындықтарды жоюға дейін азаяды. Демек, өткізу қабілетін қайта бөлуге байланысты шығындар (яғни, оптикалық қосқыштардың құны) қосымша өткізу қабілеттілігінің құнынан аспауы керек. Коммутатордың конфигурация жылдамдығы да маңызды, өйткені ол (ішінара, төменде талқыланды) қайта бөлудің жылдамдығын талап етеді. Қуаттылыққа салынатын айыппұлдар шектеулі оптикалық бюджеті бар трансиверлерді пайдалануға кедергі келтіруі мүмкін. Қорытындылай келе, әрбір жеке метриканы бағалау барлық оптикалық технологияларды терең түсінуді ғана емес, сонымен қатар оптикалық қосқышты дұрыс таңдау үшін ДӨО жүйесіндегі барлық осы параметрлерді біріктірілген талдауды қажет етеді.

2 Негізгі теориялық ақпарат

2.1 MEMS негізіндегі оптикалық қосқыштар

MEMS негізіндегі оптикалық қосқыштар-бұл бос кеңістіктегі ең көп таралған және жетілдірілген коммутациялық құрылғылар. Кеңістіктік MEMS қосқыштары сәйкесінше 1a және 1b суретте көрсетілгендей екі өлшемді (2-D) және үш өлшемді (3-D) конфигурацияларда жүзеге асырылды. $N \times N$ 2D MEMS ауыстырып-қосқышы N^2 микроайналарды қажет етеді және оның ауқымдылығы, сайып келгенде, олардың бұрышын, өлшемін, толтыру коэффициентін және қисықтығын қоса, микроайна жасау дәлдігімен шектеледі. Құрылғы толқын ұзындығының 1280-1650 нм барлық диапазонында <1 дБ ауытқуларымен <6 дБ енгізілетін шығынын көрсетті. Кросс-кедергілер <-50 дБ, ал максималды ауысу уақыты - 12 мс.

3D MEMS қосқыштары өте кең ауқымды оптикалық кросс-қосқыш құрылғыларды қолдау үшін ұсынылды. 3D MEMS коммутаторының 2D құрылғыларымен салыстырғанда порт нөмірін масштабтау заңында артықшылығы бар: берілген айнаның айналу бұрышы үшін оның өлшемі $\sqrt{N}$ артады, ал 2D айна микросхемасының $N \times N$ коммутатор жүйесі үшін N сызықтық шкаласы бар.



1 Сурет - (a) 2 өлшемді MEMS оптикалық қосқышы. (b) Үш өлшемді MEMS оптикалық қосқыш

2.2 LCOS негізіндегі оптикалық қосқыштар

LCOS LC материалының жарық модуляциясының қасиетін және озық CMOS технологиясын біріктіреді. Нематикалық IOS құрылғылары фазалық кеңістіктік жарық модуляторлары үшін 10-100 мс диапазонында қайта конфигурациялау уақытымен басым технологияға айналууда. LCOS негізіндегі оптикалық қосқыштардың бірегей ерекшелігі торсыз жұмыс істеу мүмкіндігі болып табылады, және одан да маңыздысы,

бұл мүмкіндікті белсендіру қосымша шығындарды қажет етпейді және өнімділік пен сенімділікті төмендетпейді. Робертсон және басқалары нематикалық LCOS 15 мкм қадамы бар 1280×720 пиксель массивінен тұратын көп функциялы 1×9 LCOS WSS коммутация жүйесін хабарлады. Құрылғы 1550 нм толқын ұзындығында максималды модуляциясы $2,2 \pi$ болатын 256 дискретті фазалық деңгейлерді шешуге қабілетті болды. 100 және 200 ГГц арналар аралығы үшін кірістіру және ең нашар айқаспалы байланыс сәйкесінше 7,6 дБ және -19,4 дБ жоғалуы болды. Порттар санын көбейту жоғарырақ LCOS қабылдамауын талап етеді.

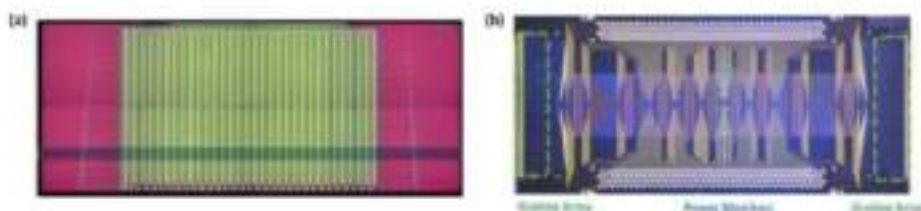
2.3 Кремний негізіндегі оптикалық қосқыштар

Дамыған өндірістік инфрақұрылымы бар жоғары дамыған CMOS индустриясы кремний-изолятор платформасында (SOI) кремний фотоникасының қарқынды дамуына себеп болды. Негізгі (кремний) және қаптаманың (кремний диоксиді) қабаттары арасындағы үлкен индекстік контраст күшті жарық толқынын шектеуді қамтамасыз етеді және осылайша InP платформасына қарағанда әлдеқайда аз аймаққа әкеледі. Кремнийдің күшті термо-оптикалық (Т-О) коэффициенті ($1,8 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$) бар және біз оны ондаған микросекундтарда фазаны реттеу үшін қолдануға болатындығын көрсеттік. Алайда, кремнийдің сызықтық электрооптикалық әсері жоқ және оның квадраттық әсері өте әлсіз. Наносекундтық масштабтағы ауысу уақытының артықшылықтарын алу үшін плазмалық дисперсияның инжекция арқылы әсері немесе тасымалдаушылардың сарқылуы электро-оптикалық (Е-О) қосқыштар үшін ең жақсы кремнийлі шешімді ұсынады. Кремний негізіндегі оптикалық қосқыштар негізінен интерферометриялық және резонанстық ауысу элементтерімен зерттелді. Жақында кремний интеграцияланған MEMS қосқышының жаңа түрі жасалды.

2.4 MZI негізіндегі оптикалық қосқыштар

Соңғы бірнеше жыл ішінде кремнийлі фотонды интеграциялау технологиясы тез дамып, ондаған мыңға дейін компоненттер кристалда барған сайын күрделі функцияларды орындау үшін монолитті түрде біріктірілуі мүмкін. 32×32 көлеміндегі алғашқы монолитті mzi кремний коммутациясы 2015 жылы хабарланды (сурет. 4а). Ол Т-О фазалық тюнерлерін қолдана отырып, MZI-нің 1024 компонентін енгізді, ал кремний негізіндегі коммутациялық схемамен салыстырғанда алынған аймақ 45 есе азайды. Бұл құрылғы $15,8 \pm 1$ дБ кристаллдағы жол шығынының тамаша біркелкілігін және жолдан тәуелсіз шығындармен (PILOSS) топологияны қолдану арқасында <-35 дБ кросс-бағыттау коэффициентін көрсетті. Жауап беру уақыты 30 мкс-тен аз болды. Бір жылдан кейін тағы бір 32×32 Т-О MZI қосқышы көрсетілді, ол әр коммутатор ұяшығында нақты уақыт режимінде калибрлеу үшін ~900 фотодиодтарды біріктіреді.

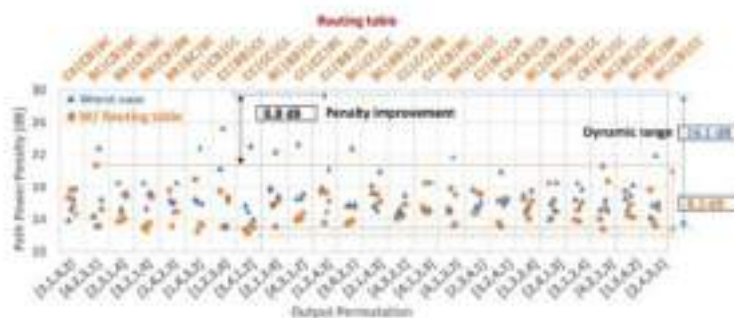
Құрылғыда кеңейтілген топологиясы бар блокталмайтын топология қолданылды және кристаллдағы жол шығыны >23 дБ, ал өсу/құлдырау уақыты шамамен 750 мкс болды.



2 Сурет - (a) 32x32 кремний TOMSI PILOS негізіндегі қосқыш.
(b) 32x32 E-O MAI негізіндегі кремнийлі Бенеш қосқышы

3 Зерттеу барысы

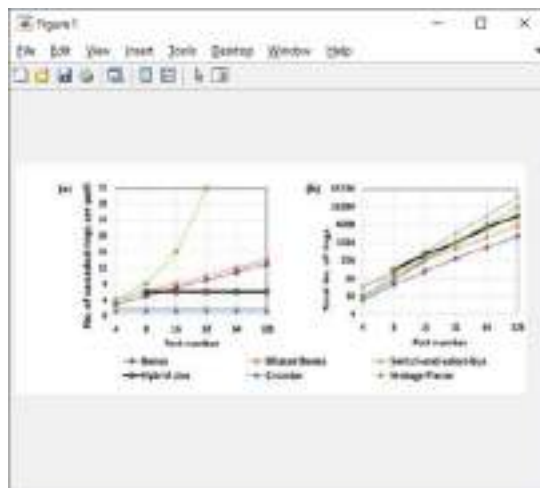
Біз толық маршруттау кестесін тәжірибелік түрде көрсеттік. MZI модулінің әр иығында құрылғыны калибрлеуге арналған жылу реттегіші және жоғары жылдамдықты коммутация үшін PIN фазалық ауыстырғыш бар. MZI әрбір элементін конфигурациялау арқылы 4×4 портты Benes қосқышын 24 ауыстыруға сәйкес келетін 64 жаһандық күймен конфигурациялауға болады. Айыппұл қуатына түрлендіру арқылы 64 коммутация күйіне сәйкес келетін барлық 256 жарық жолы үшін жолдың жалпы $\times 4$ кіріс айыппұл қуатын алуға болады. Толық санау кестесі 3-суретте көрсетілгендей, қуатқа байланысты айыппұлдарды ең жақсы түрде теңестіретін және ең нашар жолдан аулақ болатын шешім ретінде құрылуы мүмкін.



3 Сурет - Барлық 24 ауыстыру үшін таңдалған және ең нашар жолды сәйкестендіру үшін толық порттан портқа қуат шегі. 11 дБ қуат жоғалуы кіріс/шығыс торының қосқыштарына байланысты екеніне назар аударыңыз

Әрі қарай зерттеу кеңейтілген үш сатылы Clos желісін ауыстыру және таңдау кезеңдерімен біріктіру кезінде жүргізілді. Бұл дизайн қадамдардың санын қарапайым үш мәнге дейін төмендететін қолайлы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді, сонымен бірге коммутациялық элементтердің қажетті санын едәуір азайтады, бұл наносекунда қайта

конфигурациялау мүмкіндігі бар кең ауқымды коммутациялық жүйелерді құруға мүмкіндік береді. Топологиялық бағалау (4 сурет(a) және (b)) clos-of-switch-and-select топологиясын басқа кеңінен қолданылатын архитектуралармен салыстыру арқылы сақиналардың жалпы санын және каскадтау деңгейін теңдестіру кезінде кең ауқымды желілер үшін таңқаларлық болатындығын көрсетеді.



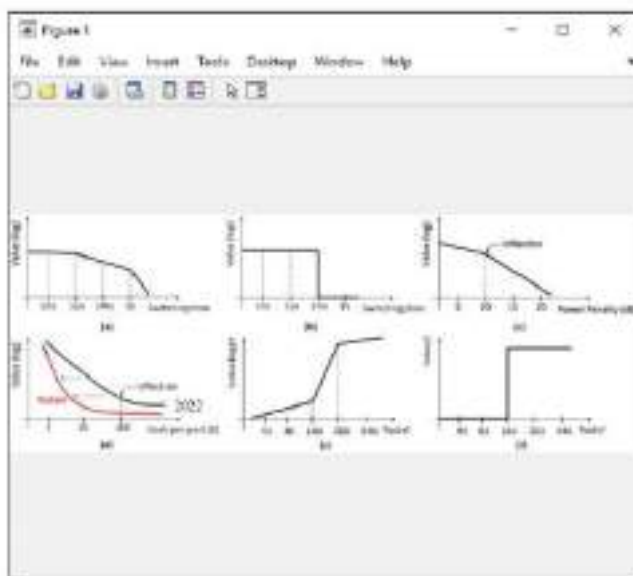
4 Сурет - (a) сақиналар саны ең нашар жағдайда бір жолға құлау және (b) Өртүрлі архитектуралардағы коммутатор порттарының санына байланысты сақиналардың жалпы саны

MRRs толқын ұзындығының селективті табиғаты оларды WSS қосымшалары үшін WDM серпімді ауысу мүмкіндігімен пайдалану мүмкіндігін анықтайды. Тұжырымдама crossbar топологиясында толқын ұзындығы бойынша іріктелетін түйін ретінде әр түрлі резонанстық толқын ұзындығы бар кремний MRRs сериясын орналастыру арқылы ұсынылды.

Егер өзара байланысты қайта конфигурациялау әр сағаттан жиі болмаса, коммутация уақытының екінші масштабының теріс әсері іс жүзінде көрінбейді. Сонымен, коммутатордың коммутация уақытының функциясы ретіндегі мәні, басқа параметрлері бірдей, 1 микросекунд - 1 секунд диапазонында баяу төмендейді деп санауға болады. 5a суретте көрсетілгендей және 5b суретте жеңілдетілгендей, 1 секундтан кейін құнның күрт төмендеуі күтіледі.

Қуатты тұтынуды азайту тұрғысынан оптикалық қосқыштар трансиверлердің оптикалық бюджетіне сәйкес келуі керек. Бұл шығын мен энергияны тұтыну тұрғысынан да қажет. Сондықтан, егер бір немесе бірнеше күшейткішті деректер орталығындағы әр арнаға дискретті компоненттер ретінде қосу керек болса, онда әр арнаның құны айтарлықтай артады, бұл оптикалық коммутацияның артықшылықтарын жоққа шығаруы мүмкін. Қуатты тұтыну тұрғысынан коммутатордың айтарлықтай қуат жоғалуы іске қосу лазерінің қуатына әсер етеді. Мысалы, қабылдағыштың сезімталдығы -16 дБм және арна бюджеті 20 дБ болса, толқын ұзындығына тән триггер

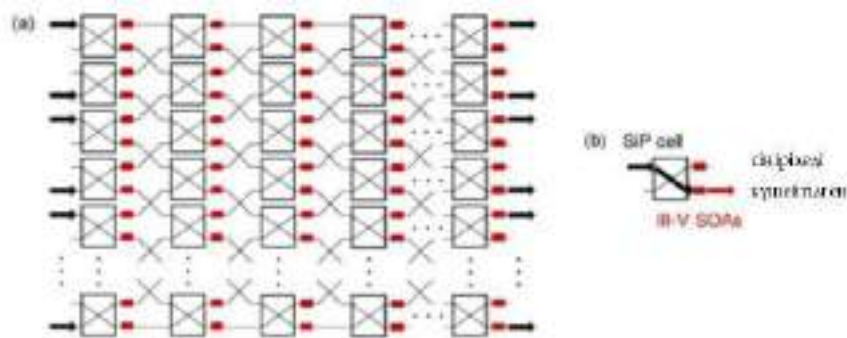
қуаты 4 дБм, яғни 2,5 мВт, ол бір толқын ұзындығына 25 Гбит/с сигналды беру кезінде және лазерлік түтіктің тиімділігі 10% 1 пДж/битке сәйкес келеді. Егер коммутатор 10 дБ қуат айыппұлымен салынса, лазер толқын ұзындығына 14 дБм жоғары қуат беріп қана қоймайды, лазер битіне энергия күшейту болмаған кезде 10 есе 10 пДж/битке дейін артады. Бұл өте көп, әсіресе электрлік пакеттік қосқыштар бүгінгі күні биттерді қабылдауға, ауыстыруға және жіберуге, процесте 20-30 пДж/бит жағуға қабілетті екенін ескерсеңіз. Оптикалық күшейткіштердің болуы лазер қуатын тұтынудың ұлғаюын азайтуы мүмкін, бірақ күшейткіштерге тән қуатты тұтынуды да ескеру қажет.



5 Сурет - (а) ауысу уақыты мен мән арасындағы байланыс. (b) ауысу уақытына байланысты қадамдық функцияның мәнін бағалау. (с) коммутатордың қуаты үшін айыппұл (ең нашар жағдай) мен құн арасындағы байланыс. (d) портқа коммутация құны мен құн арасындағы өзара байланыс. (е) коммутатор радикалы мен құны арасындағы байланыс. (f) Радикс функциясы ретінде коммутатордың құны үшін ұсынылған жуықтау

Жоғары тиімділік күшейткіштері әзірленбесе, қосқыш қуат айыппұлының үздіксіз қуат тұтынуына әсері маңызды болып қала береді және оптикалық коммутацияның энергияны үнемдеу артықшылықтарын жоққа шығарады және тіпті қуат тұтыну мәселелеріне байланысты коммутаторлардың жаппай қабылдануына қауіп төндіруі мүмкін. Тұтастай алғанда, біз оптикалық қосқыштың «мәні» барлық басқа параметрлері тұрақты болған кезде, 9с суретте көрсетілгендей қуат айыппұлына байланысты өзгереді деп күтеміз. 0 дБ-ден 10 дБ-ге жақын диапазондағы қуат айыппұлдары үшін мән әдетте «жоғары» болады және қуат айыппұлы 0 дБ-ге дейін азайған сайын ол біртіндеп артады, бұл энергия тиімділігін көрсетеді.

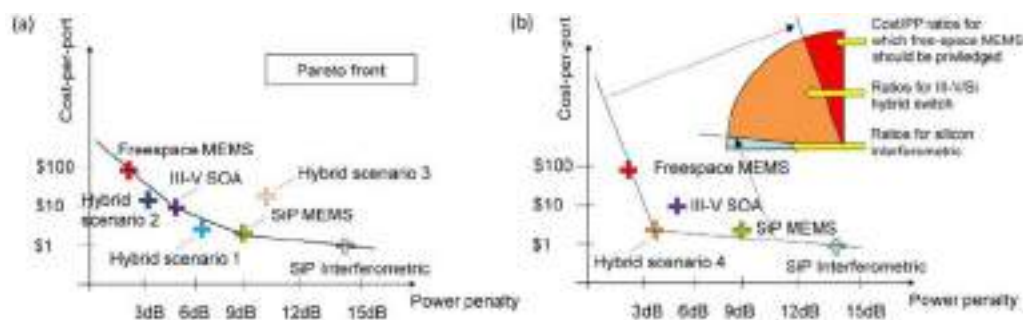
Гибриді дизайн жоғалтпай жұмыс істеуге бағытталған, бұл деректер орталықтарында айтарлықтай артықшылық болып табылады, өйткені бұл EFDA сияқты қосымша оптикалық күшейтуді болдырмауға ғана емес, сонымен қатар оптикалық таратқыштарға қалыпты Шығыс қуатында жұмыс істеуге мүмкіндік береді және қабылдағыштың жағында кең электр қуатын күшейту қажеттілігін жояды. Біз SOA элементтерін үлестірілген түрде енгізіміз келеді, осылайша сіңіруді III-V қосқыштарына ұқсас тұжырымдамада кросс-тректерді басу үшін одан әрі қолдануға болады. Айырмашылығы-интерферометриялық ауысу элементтері кремний подложкасында жүзеге асырылады және MRR немесе MZI элементтерін қолдануға болады. Бірінші ретті айқастылықты жоққа шығаратын коммутатор топологиялары үшін әрбір коммутациялық ұяшық бір уақытта тек бір сигналды тасымалдайды, ал SOA қосылып тұрғанда күшейіп, өшірілген кезде жұтатын тандемде ауысады. Жақсы үміткерлер - кеңейтілген Benes және реттелетін кеңейтілген блоктамайтын қосқыш. PILOSS тағы бір үміткер болып табылады және коммутациялық ұяшықтарды толқындық бағыттаумен бірге біркелкі бөлу SOA-ны қамтитын көп сатылы коммутатор дизайны үшін үлкен бонус болып табылады (6-сурет). Дегенмен, PILOSS топологиясы бірінші ретті айқасты толық блоктамайтынын атап өткен жөн. Сонымен қатар, қосылған SOA өзін-өзі тексеру мақсатында кері ығысу режимінде қуат детекторлары ретінде жұмыс істей алады. SOI платформасындағы электро-оптикалық және термо-оптикалық құрылғылар үшін энергия үнемдейтін оптикалық коммутация көрсетілгенін ескере отырып, III-V/Si гибриді қосқыштардың энергия тиімділігі көбінесе екі материал арасындағы байланыс тиімділігіне байланысты болады. Таратылған кері байланыс гибриді лазерінің жоғары тиімділігін көрсеткендей, энергияны үнемдейтін гибриді қосқыштарға жол ашты.



6 сурет - (a) PILOS топологиясындағы III/Vi гибриді қосқыш схемасы. (b)бір уақытта бір кіріс сигналын беретін гибриді коммутациялық элемент және тандемде қосылатын SOA қосылыс

Енді біз гибриді интеграцияланған коммутациялық жүйенің ықтимал әсерін талқылап, оны метрикалық кеңістікке енгіземіз. Бірінші сценарийде (7 а суретте

көрсетілген) қуат үшін айыппұл интерферометрлік SiP-пен салыстырғанда қосымша күшейту және кедергілерді басу арқылы айтарлықтай төмендейді, бірақ технология MEMS-тің бос кеңістіктегі әріптестеріне жақындауға әлі дайын емес. Екінші жағынан, SOA-ның құнына әсерін азайтуға болады, өйткені пластиналарды желімдеу және сутегі әсерінен қабаттарды беру арқылы бір INP субстратын қайта пайдалануға болады және осылайша құнын төмендетеді. Бұл гибридік интегралды қосқыштарды құны үлкен болған жағдайда пайдалануға мүмкіндік береді. Екінші сценарийде (7 а суретте көрсетілген) гибридік интеграция технологиясы дамыған сайын қуат айыппұлына қатысты жоғары сипаттамаларға қол жеткізуге болады. Сондықтан өндіріс құнының өсуімен сіз шыдай аласыз. Екі жағдайда да гибридік құрылғы Парето майданында болады. Үшінші сценарий (7А суретте көрсетілген) гибридік интеграцияланған құрылғының құны да, өнімділігі де басқа бәсекелес технологиялардан артта қалған ең нашар жағдайды білдіреді. Мінсіз жағдай, яғни. 4-сценарий 7В-суретте көрсетілген, онда гибридік интегралды коммутациялық мата SiP интерферометрлік құрылғыларымен салыстырмалы баға деңгейінде орналасқан және ең қолайлы таңдау бола отырып, еркін кеңістіктік коммутациялық маталардың қуатына жақын қуатты көрсетеді.



7-сурет Парето алдыңғы жағына III-V/Si гибридік қосқышын енгізу арқылы (а) 1, 2 және (b) 3 сценарийлері үшін гибридік біріктірілген қосқыштардың ықтимал әсері.

Қорытынды

Деректер орталықтарының өзара байланыстарға үнемі өсіп келе жатқан сұранысы жаңа технологияларды енгізуді ынталандырады. Оптикалық коммутация деректер орталықтарындағы өткізу қабілеттілігі, құны және қуат тұтынуымен байланысты мәселелерді шешуге көп көңіл бөледі. Бұл жұмыста біз үш оптикалық коммутация платформасынан MEMS, LCO, SOA, MZI және MRR коммутациясының ең заманауи технологияларын, соның ішінде бос кеңістікті, III-V фотонды интеграцияны және кремний фотонды интеграцияны қарастырдық. Деректер орталығының

қосымшалары порттардың саны, ауысу уақыты, энергияны тұтыну және оптикалық қуаттың жоғалуы тұрғысынан негізгі көрсеткіштерге ие. Сонымен қатар, оптикалық қосқыштар үшін талап етілетін өнімділікті бағалау үшін бағалау әдістемесі енгізілді және коммутатордың метрикалық кеңістігінің Парето фронты анықталды. Бос кеңістігі бар MEMS, кремний интеграциясы бар MEMS, SOA III-V және SIP негізіндегі интерферометриялық қосқыштар Паретоның алдыңғы жағын әр түрлі толтырады, олардың әрқайсысы әр түрлі қолдану сценарийлері үшін рөл атқарады және олардың ешқайсысы басқаларға мүлдем үстемдік етпейді. Соңында, екі платформаның күшті жақтарын біріктіру үшін III-V / Si пластиналарын қосу технологиясын қолдана отырып, III-V / Si гибриді оптикалық қосқыш ұсынылды.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

- [1] Слепов Н. Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET и WDM). М.: Радио и связь, 2003. 468 с.
- [2] Testa F., Pavesi L. Optical Switching in Next Generation Data Centers. Springer International Publishing AG, 2008. P. 336.
- [3] Оссовская, М.П. Волоконно-оптические сети и системы связи: Учебное пособие КПТ / М.П. Оссовская. - СПб.: Лань КПТ, 2016. - 272 с.
- [4] Скляров, О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи: Учебное пособие / О.К. Скляров. - СПб.: Лань, 2010. - 272 с.
- [5] Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман. - М.: Техносфера, 2007. - 512 с.
- [6] Подлазов, В.С. Системная сеть с малым диаметром из малопортовых маршрутизаторов / В.С. Подлазов, М.Ф. Каравай // Управление большими системами. Выпуск 56.- М.: ИПУ РАН .-2015.
- [7] Подлазов, В.С. Топологические резервы «сплюснутых» системных сетей/ В.С. Подлазов, М.Ф. Каравай // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. -2016.
- [8] Каравай, М.Ф. Метод инвариантного расширения системных сетей многопроцессорных вычислительных систем / М.Ф. Каравай, В.С. Подлазов / Идеальная системная сеть. АИТ. – 2010.

РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ДЕМОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА И ОПРОСА ОТ ФОТОННОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

В. Вуйцик¹, А.У. Калижанова², А.Х. Козбакова⁴,
А.А. Ахсутова³

¹Люблинский технический университет,

²Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК,

³Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева,

⁴Алматинский технологический университет
a.kalizhanova@aues.kz². a.akhsutova@aues.kz³

Аннотация. В данной работе представлена разработка, изготовление и экспериментальные испытания волоконно-оптического датчика давления, работающего по принципу интерферометра Саньяка с двулучепреломляющим волокном, с использованием механического преобразователя в виде тонкостенного сосуда. Преимуществом датчика является простая, полностью оптоволоконная структура его оптической части, а также несложная и надежная механическая часть. При проектировании чувствительность датчика можно легко и в относительно большой степени адаптировать к поставленной измерительной задаче, изменяя оптические и механические параметры.

Ключевые слова: оптическое волокно, волоконно-оптические датчики, волоконная решетка Брэгга, спектральные характеристики, датчик давления.

Введение. Выпускаемые в настоящее время оптические волокна находят применение во многих областях науки, они используются при разработке процессов, технологических и материаловедческих исследованиях, а также для производства фотонных устройств и функциональных элементов. Производство фотонных, телекоммуникационных и специализированных нетелекоммуникационных оптических волокон широко используется различными лабораториями.

С некоторых пор наблюдается значительный рост использования оптических волокон, в основном в сфере телекоммуникаций, в связи с очень большим объемом информации, который можно передать по одному оптическому волокну. Все чаще оптические волокна используются также в контрольно-измерительной технике в качестве датчиков химических и физических величин [1]. Свойства материалов, из которых изготовлены оптические волокна, обеспечивают их широкое применение в области метрологии. Одной из важнейших особенностей оптических волокон является их высокая устойчивость ко всем видам электромагнитных помех. Небольшие размеры, малый вес, а также высокая чувствительность волоконно-оптических датчиков и относительно простая конструкция позволяют проводить измерения, которые трудно осуществить другими известными методами. Волоконно-оптические датчики, как и все остальные, кроме достоинств, имеют и недостатки. Одним из таких недостатков, безусловно, является чувствительность к изменениям температуры и иногда сложная система обнаружения. Тем не менее, интенсивное развитие телекоммуникаций и многочисленные исследования оптических волокон оказывают существенное влияние на улучшение их параметров, а также на создание новых, специализированных типов оптических волокон. Это влияет на точность измерений, снижение стоимости оптоэлектронных устройств и расширение применения оптического волокна в метрологии [2].

Данная работа посвящена разработке, изготовлению и испытанию волоконно-оптического датчика давления, работающего по принципу интерферометра Саньяка с двулучепреломляющим волокном, с использованием механического преобразователя в виде тонкостенного сосуда.

Оптические волокна являются одной из самых быстрорастущих сред передачи как с точки зрения скорости передачи информации, так и с точки зрения ее качества. Магнитное поле не мешает прохождению света. Это позволяет использовать оптические волокна во многих отраслях промышленности. Быстрое развитие оптических волокон дополнительно обусловлено высокой величиной произведения ширины полосы передачи на расстояние, на которое эта передача может осуществляться. Другими преимуществами оптических волокон являются надежность, безопасность работы, небольшой вес и габариты, что делает их незаменимыми во многих областях [3].

Датчики на основе волоконной решетки Брэгга относятся к группе датчиков с модуляцией длины волны и обладают многими выгодными метрологическими свойствами. Эти датчики, помимо основных свойств волоконно-оптических датчиков, отличаются многими другими особенностями, такими как то, что выходной сигнал является частотно-зависимым и, следовательно, устойчивым к амплитудным возмущениям, вызванным флуктуациями источника света [4].

Волоконная решетка Брэгга имеет структуру с переменным показателем преломления, которая создается в сердцевине оптического волокна путем облучения ее ультрафиолетовым светом [5], [6].

Волоконные брэгговские решетки широко используются в датчиках и телекоммуникациях. К наиболее распространенным относятся: наклонные решетки Брэгга, равномерные решетки и решетки с переменным периодом [7].

Конструкция и принцип действия датчика

Цель работы заключалась в разработке датчика, задачей которого будет измерение давления в диапазоне от 0 до 100 кПа с точностью не хуже 2%, а его разрешающая способность составит 0,5кПа. Перед началом реализации проекта были произведены необходимые расчеты и по их результатам подготовлен измерительный инструмент. Для изготовления датчика использовался интерферометр Саньяка с двулучепреломляющим фотонным оптическим волокном.

Принципиальная схема датчика

Работу интерферометра Саньяка с двулучепреломляющим оптическим волокном, схема которого представлена на рисунке 1, можно объяснить следующими соображениями.



Рисунок 1. Интерферометр Саньяка с двулучепреломляющим волокном

Если пренебречь затуханием 3-dB ответвителя, поляризационного передающего оптического волокна, одномодового оптического волокна в петле, то функции передачи и отражения интерферометра описываются выражением

$$T = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) = \frac{1}{2}[1 - \cos|\Delta\varphi|] \quad (1)$$

$$R = \cos^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) = \frac{1}{2}[1 + \cos|\Delta\varphi|], \quad (2)$$

где $\Delta\varphi = \varphi_x - \varphi_y$ — разность фаз между поляризационными модами x и y , распространяющимися в поляризационно-несущем оптическом волокне, которая определяется соотношением

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot L \cdot \Delta n}{\lambda} \quad (3)$$

Δn , L , λ - эти символы обозначают фазовое двулучепреломление и длину оптического волокна, несущего поляризацию и длину волны соответственно.

Максимумы функции передачи существуют при следующем условии:

$$2\pi\Delta n L / \lambda = |2m + 1|\pi \quad (4)$$

m - целое число.

Петлевой интерферометр с передающим поляризацию оптическим волокном относится к группе модовых интерферометров, в которых интерференция происходит между модами в одном оптическом волокне.

Модовые интерферометры используются для создания датчиков для измерения химических и физических величин из-за широкого диапазона длин волн, в которых они работают, и их компактной конструкции. Эти интерферометры также характеризуются высокой стабильностью во времени и низкой температурной чувствительностью.

На рисунке 2 показана схема петлевой интерферометрической системы, предназначенной для измерения чувствительности фазового двулучепреломления, измерение касается внешней величины $d\Delta n/dX$. Этой конкретной внешней величине подвергается только та часть участка тестируемого оптического волокна, которая несет поляризацию.

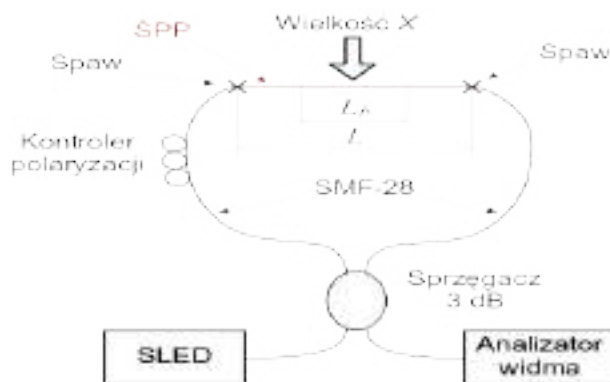


Рисунок 2. Принципиальная схема системы петлевого интерферометра

В работе использовалось оптоволокно PANDA 13-U25A. Оно характеризуется двумя стержнями из силикатного стекла, которые размещены в оболочке оптического волокна на противоположных последующей сторонах сердцевинки. Они создают сжимающие напряжения с концентрацией напряжений в центре этого ядра. Наведенное двойное лучепреломление зависит от диаметра стержней и их расстояния от

сердцевины. Благодаря этому решению оптическое волокно позволяет генерировать высокое линейное двойное лучепреломление. Волокно PANDA показано на рис. 3.

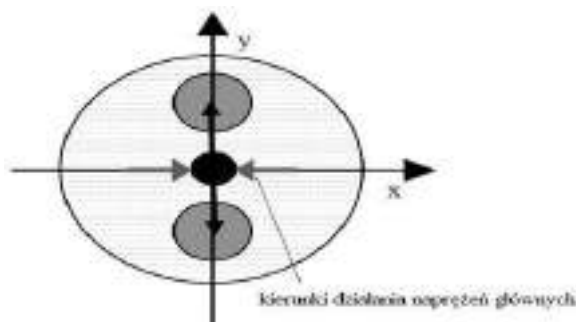


Рисунок 3. Поперечное сечение оптического волокна PANDA

Оптическое волокно PANDA 13-U25A имеет следующие параметры:

- Диаметр поля моды - $9,5 \mu\text{m}$;
- Диаметр рубашки - $125 \mu\text{m}$;
- Диаметр оптического волокна - $245 \mu\text{m}$;
- длина биения - $2,5\text{--}4 \text{ mm}$;
- Затухание - менее 5 dB/km ;
- значение двулучепреломления для длины волны $\lambda = 1550 \text{ nm}$ - $3,86 \cdot 10^{-4}$;

Коэффициент компенсации поляризации - менее 30 dB/km . Чтобы определить характеристики конкретной системы, надо подставить следующие значения:

$D = 16,6 \text{ mm}$ (диаметр тонкостенного сосуда);

$\delta = 0,26 \text{ mm}$ (толщина стенки тонкостенного сосуда);

$E = 113 \text{ GPa}$ (модуль Юнга);

$\nu = 0,37$ (число Пуассона);

$P_0 = 0,1 \text{ MPa}$ (начальное давление);

$P = 0,1 \text{ MPa}$ (установочное давление);

$\eta = 2$ (отношение длины недеформированного оптического волокна к длине деформированного);

$\Delta n_G = 3,86 \cdot 10^{-4}$ (групповое двулучепреломление волокна);

$\Delta n = 3,86 \cdot 10^{-4}$ (фазовое двулучепреломление волокна);

$\frac{d\Delta n}{d\varepsilon} = 65 \cdot 10^{-4}$ (изменение фазового двулучепреломления волокна);

$\lambda_{M_0} = 1550,012 \text{ nm}$ (длина волны покоя);

$\lambda = 1550 \text{ nm}$ (длина волны);

$\varepsilon_0 = 0$.

Подставляя численные данные в формулу (5),

$$K_{sc} = \frac{d\lambda_{M_0}}{d\varepsilon} = \frac{\lambda \left(\frac{d\Delta n}{d\varepsilon} + \Delta n \right)}{(1 + \eta) \Delta n_G} \quad (5),$$

получаем значение деформационной чувствительности интерферометра Саньяка с заданным оптическим волокном Panda

$$K_{\lambda_M} = \frac{d\lambda_M}{d\varepsilon} = \frac{1550 \cdot (65 \cdot 10^{-4} + 3,86 \cdot 10^{-4})}{(1+2) \cdot 3,86 \cdot 10^{-4}} = 9,22 \cdot 10^3 \text{ nm}/\varepsilon = 9,22 \text{ nm}/\text{m}\varepsilon$$

Поступая аналогично для тонкостенного сосуда, получают значение его чувствительности к давлению и правильность работы датчика, предназначенного для измерения давления.

$$K_{\lambda_{\text{сп}}} = 0,408 \cdot \frac{0,0166}{0,00026 \cdot 113 \cdot 10^9} = 2,305 \cdot 10^{-10} \text{ } \varepsilon / \text{Pa} = 2,305 \cdot 10^{-10} \text{ m}\varepsilon / \text{kPa}$$

Общая чувствительность системы следующая:

$$\lambda_M = \lambda_{M_0} + K_{\lambda_M} \cdot |\varepsilon_0 + K_{\lambda_{\text{сп}}} \cdot (P_0 + P)|$$

Подставив начальное положение выбранного минимального спектра (около 1550 nm) и чувствительность компонентов (оптический и механический преобразователь), получим теоретические характеристики обработки датчика:

$$\lambda_M = 1550,012 + 9,217 \text{ nm}/\text{m}\varepsilon \cdot |\varepsilon_0 + 2,305 \cdot 10^{-10} \text{ m}\varepsilon / \text{kPa} \cdot (P_0 + P)|$$

$$\lambda_M = 1550,012 + 2,125 \cdot 10^{-3} \text{ nm}/\text{kPa} \cdot (P_0 + P)$$

$$\lambda_M = 1550,012 + 2,125 \cdot \text{pm}/\text{kPa} \cdot (P_0 + P)$$

Чувствительность к давлению составляет 2,125 pm/kPa.

Построение измерительной системы для определения характеристик датчика.

После подключения измерительной системы в соответствии со схемой, представленной на рисунке 4, можно было провести проверку датчика. Изменение величины заданного давления вызывает деформацию двулучепреломляющего волокна, намотанного на тонкостенный сосуд, что в свою очередь можно наблюдать как сдвиг спектра интерферометра. Характеристики обработки тестируемого датчика определялись методом измерения спектрального сдвига. Для определяемой характеристики рассчитана ее нелинейность, а также стандартная неопределенность определения наклона прямой и свободного члена.

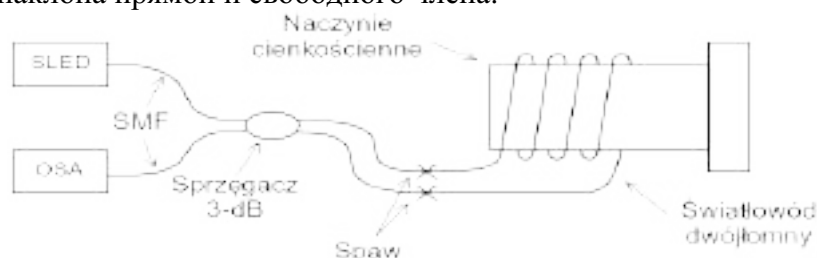


Рисунок 4. Схема измерительной системы, предназначенной для определения характеристик

Характеристики обработки датчика определялись методом наименьших квадратов. Отклонение точек измерения от полученных характеристик (невязки соответствия) обработки представлено в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерения характеристик обработки датчика

λ_M - длина волны, для которой наблюдается минимум спектра, $\Delta\lambda_M$ - остаток аппроксимации прямой методом наименьших квадратов, $d\lambda_M$ - остаток подгонки, относящийся к диапазону обработки

Давление [kPa]	λ_M измеренный[nm]	λ_M определяется по прямой [nm]	$\Delta\lambda_M$ [nm]	$d\lambda_M$ [%]
-------------------	-------------------------------	--	------------------------	------------------

0,00	1550,012	1550,01214	0,00014	-0,06
10,00	1550,036	1550,03322	-0,00278	1,32
20,00	1550,053	1550,0543	0,00130	-0,62
30,00	1550,075	1550,07499	-0,00001	0,01
40,00	1550,093	1550,09617	0,00317	-1,46
50,00	1550,119	1550,11705	-0,00195	0,93
60,00	1550,136	1550,13814	0,00214	-1,02
70,00	1550,159	1550,15972	0,00072	-0,34
80,00	1550,183	1550,18041	-0,00259	1,24
90,00	1550,203	1550,20149	-0,00151	0,72
100,00	1550,221	1550,21963	0,00137	-0,65

Технологическая характеристика волоконно-оптического тензорезистора на основе интерферометра Саньяка, определенная из измерений, имеет вид $\lambda_m = 1550,01163 + 0,002108 \cdot \varepsilon$, где λ_m — значение длины волны, при котором наблюдается минимум спектра пропускания интерферометра. Чувствительность к давлению составляет 2,1 pm/kPa.

Вышеуказанная характеристика обработки является нелинейной и составляет 1,46%. Стандартные неопределенности определения коэффициентов полученной характеристики преобразования составляют: $u(a) = 0,02$ pm/kPa (т.е. около 1%), $u(b) = 1,1$ pm/kPa.

Закключение. В работе был спроектирован и проверена правильность работы волоконно-оптического датчика, предназначенного для измерения давления. Он основан на волоконном интерферометре Саньяка с использованием двулучепреломляющего волокна Panda и механического преобразователя в виде тонкостенного сосуда. Корректность работы системы была подтверждена измерением характеристик обработки датчика. На их основе были определены основные метрологические параметры. Чувствительность к обработке тестируемого датчика составляет 2,1 pm/kPa, нелинейность характеристик не превышает 1,5%, а диапазон ограничен прочностью на сжатие тонкостенного сосуда, а не прочностью на деформацию оптическое волокно (и составляет 1 МПа).

Преимуществом датчика является простая, полностью оптоволоконная структура его оптической части, а также несложная и надежная механическая часть. При проектировании чувствительность датчика можно легко и в относительно большой степени адаптировать к поставленной измерительной задаче, изменяя оптические и механические параметры. Это как отношение длины деформированного оптического волокна к недеформированному, так и толщина стенки и материал, из которого изготовлен тонкостенный сосуд. Датчик используется для измерения давления опасных жидкостей и газов (например, агрессивных газов), а также во взрывоопасных зонах. Экспериментальные исследования проводились в рамках проекта ГФ №АР09259547 «Разработка системы из распределенных волоконно-оптических датчиков на основе волоконных решеток Брэгга для контроля состояния строительных конструкций» ИИВТ КН МОН РК.

Список литературы

- [1] Raikara U.S., Lalasangia A.S., Akkia J.F., Raikarb P., Manoharc K.G., Srinivasd T., Badigera N.M., Radhakrishnane P., Cd concentration sensor based on fiber grating technology, "Sensors and Actuators B", 2012. – Vol. 1617. - P. 818-823.
- [2] Kaczmarek Z., Światłowodowe czujniki i przetworniki pomiarowe, Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa 2006. - P. 80-83.
- [3] Dr hab. Krzysztofa Dzierżęga, FM - Optyka Światłowodowa, Materiały przeznaczone dla studentów Inżynierii Materiałowej w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego. - P. 56-63.
- [4] Kaczmarek Z.: Światłowodowe czujniki i przetworniki pomiarowe. Agenda Wydawnicza PAK, 2006. - P. 88-93.
- [5] Kashyap R.: Fiber Bragg gratings. Academic Press, San Diego, Toronto, 1999.
- [6] Praca nr 12300065, 14300035, 09300065: Badania światłowodowych siatek Bragg nanoszonych metodą skanowania maski fazowej. Centralna Izba Pomiarów Telekomunikacyjnych (P-12), 2005.
- [7] Iadicicco A., Campopiano S., Cutolo A., Giordano M., Cusano A.: Microstructured fibre Bragg gratings: analysis and fabrication. ELECTRONICS LETTERS 14th April 2005. - Vol. 41.
- [8] Berthold J.: Evolution of WDM in transport networks. Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 1998.

АДАПТИВТІ ҮЙЛЕСТІРУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫНЫҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ӨЗГЕРЕТІН КЕДЕРГІСІ БАР КЕҢ ЖОЛАҚТЫ РАДИОТЕХНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ҮШІН КЕШЕНДІ КРИТЕРИЙ

Ержан Асел Ануарқызы¹, Бойкачев Павел Валериевич²,
Накисбекова Балауса Рыскожаевна³

^{1,3} АУЭС имени Гумарбека Даукеева г.Алматы, Республика Казахстан,

² Учреждение образование «Военная академия Республики Беларусь»
Республика Беларусь

¹ a.erzhan@aes.kz, ² pashapasha.boi@mail.ru, ³ b.nakisbekova@aes.kz

Аннотация: өзгермелі жүктеме кедергісіне бейімделген сәйкес келетін құрылғыларды синтездеудің кешенді критерийі ұсынылады.

Түйінді сөздер: бейімделу, кең жолақты, сәйкестік, ауытқу, өзгеретін кедергі.

Abstract: a complex criterion for the synthesis of matching devices adaptive to the changing load impedance is presented.

Keywords: adaptation, alignment, deflection, changing the impedance.

Kіріспе

Қазіргі заманғы радиотехникалық жүйелердің (РТЖ) күрделілігіне, құны мен сенімділігіне әртүрлі талаптар қойылады. Сонымен, заманауи ақпараттық технологиялардың сапалы жұмыс істеуі үшін РТЖ бұзушы әсер ету жағдайында үлкен көлемдегі ақпараттың жоғары жылдамдықты берілуін қамтамасыз етуі керек. Ол үшін жолақты кеңейту, жиілік диапазондарын арттыру, сондай-ақ сигнал қуатын көзден жүктемеге беру деңгейін оларды пайдалану жағдайларына қарамастан барлық жұмыс диапазонында талап етілетін жиіліктерден кем емес қамтамасыз ету қажет.

РТЖ-не қуат берудің қажетті деңгейін қамтамасыз ету үшін кең жолақты үйлестіру құрылғылары (КЖҮҚ) қолданылады. Бірақ кең жолақты үйлестіру құрылғылары синтезі кезінде оларды пайдалану жағдайларының өзгеруіне байланысты жүктеменің күрделі қарсыласуының тұрақсыздығы өте сирек ескеріледі. Мысалы, бұрын жарияланған жұмыста [1] AD-44/CW-TA-30-512 антенналық құрылғыда тұрақты сәйкес келетін құрылғының болуы антенна кедергісінің өзгеруі жағдайында қуаттың тұрақты берілуін қамтамасыз етпейтіні көрсетілген. Осылайша, РТЖ-дің кең жиілік диапазонындағы сапалы жұмысы үшін жүктеменің өзгеретін кедергісі болған кезде қуат беру коэффициентінің (ҚБК) қажетті деңгейін қамтамасыз ететін кең жолақты үйлестіру құрылғысын синтездеген жөн.

Міндет қою. Мәселені шешу үшін екі тәсіл қолданылады:

- тұрақты жүйе параметрлері үшін алаңдататын әсерлердің барлық мүмкін сипаттамалары үшін жүйенің жұмыс істеуінде жеткілікті жоғары (алдын ала анықталған) табыстылық деңгейін сақтайтын жүйелерді пайдалану - берік (сезімталдығы төмен) жүйелер [2];

- әрбір нақты жағдайда тұрақты жұмыс істеуді қамтамасыз ету үшін бұзылатын әсерлердің қасиеттерінің өзгеруінен кейін динамикалық қасиеттердің тәуелсіз автоматты қайта құрылымдауы ұйымдастырылатын жүйелерді пайдалану - бейімделу жүйелері [2].

Бірінші тәсілді қолдану рұқсат етілген шектерде жүктеме кедергісінің өзгеру әсерін ескеретін КЖҮҚ синтездеуге мүмкіндік береді. Бірақ робастикалық жүйелердің мүмкіндіктері шексіз бола алмайды. Егер сыртқы әсерлердің рұқсат етілген классы тым кең болса, онда сол жүйе қандай динамикалық қасиеттерге ие болса да, барлық мүмкін жағдайларда қанағаттанарлық жұмыс істей алмайды [2, б.26]. Осылайша, жүктеменің өзгеретін кедергісі болған кезде кең жиілік диапазонында қажетті қуат беру деңгейін қамтамасыз ету үшін бейімделетін кең жолақты үйлестіру құрылғыларын пайдалану ұсынылады.

Адаптивті сәйкес тізбектерді синтездеудің күрделі өлшемі.

Радиоавтоматика жүйесін (адаптивті жүйені) синтездеу үшін жүйенің сапасына берілген техникалық талаптар негізінде оптималдылық критерийлерін таңдау қажет [3].

Жүйенің негізгі мақсаты жүктеменің өзгеретін кедергісі болған кезде қажетті қуат беру деңгейін қамтамасыз ету болғандықтан, жалпы квадраттық қателік минималды болатын КЖҮҚ параметрлерінің оңтайлы мәнін анықтау қажет [3].

$$\int_{f_H}^{f_B} \left[K(f)_{\text{трсб}} - K(f, Z_H, Z_{\text{сц}}) \right]^2 df \rightarrow \min \quad 1)$$

мұндағы $K(f)_{\text{трсб}}$ - қуат берудің қажетті деңгейі. $K(f, Z_H, Z_{\text{сц}})$ - КПМ функциясы; f_H, f_B - жоғарғы және төменгі жиілік.

ҚБК функциясы (2-өрнек) күрделі жүктеме кедергісімен де, күрделі ҚБК кедергісімен де анықталады.

$$K(f, Z_H, Z_{\text{сц}}) = \frac{4\text{Re}[Z_H(f)]\text{Re}[Z_{\text{сц}}(f)]}{\left(\text{Re}[Z_H(f)] + \text{Re}[Z_{\text{сц}}(f)] \right)^2 + \left(\text{Im}[Z_H(f)] + \text{Im}[Z_{\text{сц}}(f)] \right)^2} \quad 2)$$

мұндағы $Z_H(f), Z_{\text{сц}}(f)$ - жүктеменің кешенді кедергісі, КЖҮҚ.

Жүктеме кедергісін өзгертуден басқа, КЖҮҚ параметрлерінің берілген мәннен ауытқуының әсерін де қарастыру қажет. Кез келген ауытқулар ҚБК функциясының өзгеруіне әкеледі (3-өрнек).

$$\begin{cases} K(f, Z_H, Z_{\text{сц}}) - \Delta K(f, Z_H, Z_{\text{сц}}) \leq K(f, Z_H, Z_{\text{сц}}) \\ K(f, Z_H, Z_{\text{сц}}) + \Delta K(f, Z_H, Z_{\text{сц}}) \geq K(f, Z_H, Z_{\text{сц}}) \end{cases} \quad 3)$$

мұндағы $\Delta K(f, Z_H, Z_{\text{сц}})$ - жүктеме импедансының (КЖҮҚ параметрлерінің) өзгеруінен туындаған КПМ функциясының номиналды мәннен ауытқуы.

ҚБК функциясының ауытқуы Тейлор қатарындағы тиісті ыдыраумен анықталады [5-7]. Сызықтық жағдай үшін (екінші және одан жоғары бұйрықтардың туындыларын ескермеу) ыдырау келесідей болады

$$\Delta K(f, Z_H, Z_{CQ}) = \sum_{i=1}^N S_i^r [K(f, x_i)] \Delta x_i \quad 4)$$

мұндағы $S_i^r [K(f, x_i)] = \sum_{i=1}^N \frac{\partial K(f, x_i)}{\partial x_i}$ - ҚБК функциясының жүктеме параметрлерінің өзгеруіне сезімталдығы (ШСУ); - жүктеме элементі мәнінің ауытқуы (КЖҮҚ).

Кіріс әсері қалыпты заңға бағынатын кездейсоқ шама болғандықтан, ауытқуды бағалау үшін ҚБК функциясының дисперсиясы қолданылады [5].

$$\sigma^2 = \frac{|S_i^r|^2 d^2}{3} \quad 5)$$

мұндағы d - жүктеме импедансының ауытқуы (КЖҮҚ)

ҚБК функциясының жалпы дисперсиясын бағалау үшін біз қолданамыз

$$\sigma_K(f)^2 = \frac{|S_i^r [K(f), Z_H]|^2 d_{Z_H}^2}{3} + \sum_{i=1}^N \frac{|S_i^r [K(f), L_i]|^2 d_i^2}{3} + \sum_{i=1}^N \frac{|S_i^r [K(f), C_i]|^2 d_i^2}{3} \quad 6)$$

6-өрнектен $\sigma_K(f)^2$ жүктеме импедансы вариацияларының әсерін азайту минимизациямен қамтамасыз етіледі.

Осылайша, ұсынылған талаптарға сүйене отырып, адаптивті КЖҮҚ синтезінің өлшемі келесідей болады

$$\begin{cases} \left[K(f)_{\text{трсб}} - K(f, Z_H, Z_{CQ}) \right]^2 \leq \varepsilon, f_H \leq f \leq f_B \\ K(f, Z_H, Z_{CQ}) - \sigma_K(f)^2 \leq K(f, Z_H, Z_{CQ}) \leq K(f, Z_H, Z_{CQ}) + \sigma_K(f)^2 \\ \sigma_K(f)^2 \rightarrow \min \end{cases} \quad 7)$$

мұндағы ε - рұқсат етілген ауытқу.

Қорытынды:

Осылайша, жүктеменің өзгеретін кедергісі болған кезде кең жиілік диапазонында қажетті қуат беру деңгейін қамтамасыз ету үшін күрделі критерий (7-өрнек) арқылы синтезделген адаптивті КЖҮҚ қолдану ұсынылады. Осы критерийді пайдалану жүктеменің өзгеретін кедергісі және КЖҮҚ параметрлері болған кезде қажетті беріліс деңгейін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі:

- [1] Бойкачев, П. В. Результаты исследования влияния условий эксплуатации на импеданс антенных устройств радиостанций ОВЧ/УВЧ диапазонов / П. В. Бойкачев, И. А. Дубовик, В. О. Исаев // «Вестник» ВАРБ. – 2019. – №2(63). – С. 32–40.
- [2] Небылов А.В. Гарантирование точности управления. – М.: Наука. Физмалит, 1998. – 304 С.
- [3] Коновалов В. Ф. Радиоавтоматика. – М.: Высш. шк., 1990. – 335 с.
- [4] Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Корольюк и др. - М.: Наука, 1985.-640 с
- [5] Гехер, К., ред: Ю. Л. Хотунцева. Теория чувствительности и допусков электронных цепей. М.Сов. радио. 1973.
- [6] Plotkin, J., Almuratova, N., Yerzhan, A., Petrushin, V. Parasitic effects of pwm-vsi control leading to torque harmonics in ac drives. Energies, 2021, 14(6), 1713.
- [7] Yerzhan A.A., Kuralbayev Z.K. Electronic Circuit Responsiveness Determination // World Applied Sciences Journal. 2013. – V.26 (8). – P.1011-1018.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ТЕЛЕТРАФИКА ДЛЯ ПРЯМОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКОЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Жуманов Еламан Ержанулы¹, Кумызбаева Сауле Касымбековна², Коньрова Мадина
Жанатовна³, Кадылбеккызы Эльвира⁴

^{1,2,3,4} НАО «Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева», г.
Алматы, Республика Казахстан

¹y.zhmanov@aes.kz, ²s.kumyzbayeva@aes.kz, ³m.konyrova@aes.kz,
⁴e.kadylbekkyzy@aes.kz

Аннотация. На сегодняшний день, из-за больших выбросов углекислого газа в атмосферу, остро стоит вопрос по внедрению экологически чистой энергии ВИЭ. Основной проблемой таких источников является свойства непостоянности. Для решения этой проблемы предлагается объединить различные типы источников энергии в виртуальную теплоэлектростанцию VHPP. Таким образом, они смогут компенсировать и взаимозаменять друг друга. В данной статье рассматривается виртуальная теплоэлектроцентраль и способы ее оптимизации с помощью теории телетрафика. Целью данной работы является анализ возможности применения теории телетрафика в управлении VHPP. Предлагается система управления для стабилизации нагрузки.

Ключевые слова: виртуальная теплоэлектростанция (VHPP), виртуальная электростанция (VPP), интеллектуальное управление генерацией, телетрафик, умные системы (Smart grid), возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

ANALYSIS OF THE APPLICATION EFFICIENCY OF THE TELETRAFFIC THEORY FOR DIRECT LOAD CONTROL IN SMART GRID SYSTEM

Zhumanov Yelaman Yerzhanuly¹, Kumyzbayeva Saule Kasymbekovna², Konyrova
Madina Zhanatovna³, Kadylbekkyzy Elvira⁴

^{1,2,3,4} Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named
Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan

¹y.zhmanov@aes.kz, ²s.kumyzbayeva@aes.kz, ³m.konyrova@aes.kz,
⁴e.kadylbekkyzy@aes.kz

Abstract. In nowadays, due to the large emissions of carbon dioxide into the atmosphere, the issue of introducing environmentally friendly renewable energy is acute. The main problem of such sources is the properties of impermanence. To solve this problem, it is proposed to combine various types of energy sources into a virtual thermal power plant. In this way, they will be able to compensate and replace each other. This article discusses a virtual thermal power plant and ways to optimize it using the theory of teletraffic. The

purpose of this work is to analyze the perspectives for using the theory of teletraffic in VHPP management. A control system is proposed to stabilize the load.

Keywords: *virtual heat power plant (VHPP), virtual power plant (VPP), intelligent generation control, teletraffic, Smart grid, renewable energy sources (RES).*

Введение

Согласно Парижскому соглашению 2015 года [1], Послания Президента РК «Казахстан-2050», а также разрабатываемой Концепции низкоуглеродного развития Казахстана до 2050 года, остро стоит вопрос глубокой декарбонизации энергетики Казахстана [2]. Одним из инструментов выполнения поставленной задачи является переход к использованию экологически чистой энергии возобновляемых источников (ВИЭ). Однако, неустойчивый и неопределенный характер ресурсов ВИЭ создает серьезные проблемы для устойчивости энергосистем. Масштабное внедрение ВИЭ может привести к техническим проблемам, таким как перегрузка передачи, нестабильность частоты и напряжения, ухудшение надежности. Чтобы обеспечить устойчивость и надежность энергосистем с многочисленными источниками, а также более низких инвестиционных и эксплуатационных затрат, ряд стран, таких как Германия, Финляндия и др. предлагают внедрить концепцию виртуальной электростанции (VPP) [3]. VPP представляет собой совокупность источников распределенной генерации, элементов накопления энергии и управляемых нагрузок, которые сопровождаются информационными и коммуникационными технологиями. VPP осуществляет планирование, контроль и координацию потоков энергии между ее компонентами для минимизации затрат на производство энергии. Виртуальная электростанция объединяет разные уровни мощности и использует пространственно-временную взаимодополняемость различных распределенных источников энергии для реализации их совместного производства [4]. Эта технология может повысить стабильность возобновляемых источников энергии без значительных изменений электросети [4].

Наиболее известные в мировой практике примеры успешной реализации Виртуальных электростанций:

- Разработка компании cyberGrid. Подключенная мощность 63МВт [5].
- Компания RWE (ФРГ) объединила в VPP генерирующие ВИЭ установки по всей территории Рейнско-Рурского региона. Связь и система управления разработана компанией Siemens. VPP позволила получать 80 МВт мощности для продажи на европейском рынке [6].
- Одна из крупнейших VPP в Австралии создана на базе аккумуляторов Tesla и включает 50 тыс. домохозяйств [7].
- VPP в пригороде Мюнхена объединяет энергосистемы 20 тыс домохозяйств [8].
- VPP на изолированном острове на Гавайях объединяет энергосистемы 3200 домохозяйств [9].

Существуют две основные концепции VPP: техническая виртуальная электростанция (TVPP) и коммерческая виртуальная электростанция (CVPP). TVPP осуществляет техническое управление и сервис распределенных энергетических ресурсов. CVPP необходима для ведения экономического менеджмента деятельности TVPP. Обе концепции предполагают наличие одних и тех же компонентов, которые состоят из технологии генерации, аккумулирования энергии, информационных и коммуникационных технологий.

Так как предельные рыночные цены 1 кВтч сетей различаются по местоположению и времени суток, решение о наиболее эффективном распределении

энергией принимает CVPP, за исключением случаев возникновения конфликтов с TVPP [10].

Теория вопроса

Однако, в реалиях энергосистем Казахстана невозможно внедрение концепции VPP только применительно к распределению электрической энергии. Остро стоит вопрос в обеспечении эффективного устойчивого распределения тепла, а применение различных ВИЭ для теплоснабжения усложняется резко континентальным климатом Казахстана, с сильнейшими суточными перепадами температур до 20-30 (°C) и существенными различиями температур между регионами страны [11]. И вполне логично создать систему, такую как виртуальная теплоэлектроцентраль (VNPP).

VNPP – это набор структур тепловой и электрической энергии распределенной генерации, элементов накопления энергий и управляемых нагрузок, сопровождаемых информационными и коммуникационными технологиями с целью формирования единой виртуальной теплоэнергоцентрали, которая рассчитывает, контролирует и организывает потоки тепловой и электрической энергии между ее компонентами, чтобы минимизировать затраты на производство энергии [12].

Виртуальная теплоэлектроцентраль участвует в энергетических транзакциях и может в комплексе реагировать на спрос рынка в электро и теплоэнергии, обеспечивая оптимальное распределение ресурсов и укрепляя связь между электрическими и тепловыми сетями. VNPP может преобразовывать электрическую энергию в тепловую в период низких цен на электроэнергию и высоких цен на тепловую энергию, когда энергия избыточна, что эффективно повышает экономичность работы системы и гибкость диспетчеризации. Таким образом, VNPP сталкивается со значительной неопределенностью во внешней среде, на стороне источника и на стороне нагрузки и существует настоятельная необходимость в разработке оптимального метода планирования, который может адекватно учитывать многофункциональность [13].

Основная часть

Традиционная парадигма работы электросети заключается в постоянной адаптации производства энергии к спросу. Такой подход ставится под сомнение из-за роста более изменчивых и менее предсказуемых возобновляемых источников энергии. Альтернативное решение - [прямое управление нагрузкой](#) некоторых по своей природе гибких электрических нагрузок для формирования спроса. Прямое управление [отложенными нагрузками](#) представляет собой аналогию с контролем допуска потока в телекоммуникационных сетях: запрос сетевых ресурсов может быть отложен на основе текущего состояния сети, чтобы гарантировать некоторые показатели производительности.

В статье [14] авторы доказывают, что обычные инструменты телетрафика могут быть эффективно использованы для управления электрическими нагрузками. В частности, предлагается схема управления, которую можно легко настроить для достижения желаемого [компромисса](#) между расходами ресурсов на управление нагрузкой и утечкой конфиденциальности.

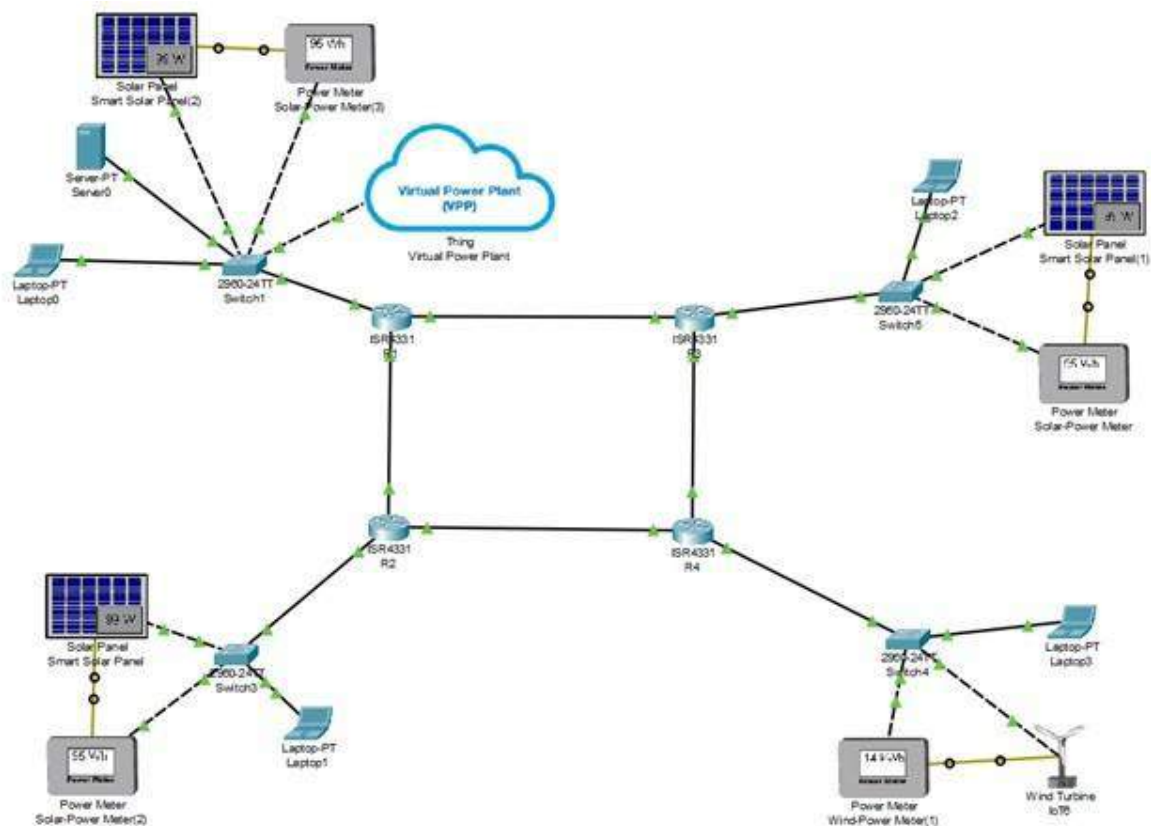
Прямое управление нагрузкой относится к возможности энергетической компании (или сторонних организаций) включать и выключать некоторые приборы конкретных пользователей в периоды пикового спроса и контролировать электрические нагрузки потребителей. Прямое управление нагрузкой в основном возможно использовать в критических ситуациях для предотвращения сбоев сети путем отключения нагрузок. Но в исследовании [15] авторами было предложено широкое использование управление нагрузкой в качестве способа формирования пиков спроса на энергию или предоставления других вспомогательных услуг. К примеру, для

управления термостатическими нагрузками, такие как кондиционеры и системы отопления, для точной настройки регулирования спроса на электроэнергию. В статье [15] исследуются методы координации агрегатов термостатически регулируемых нагрузок, включая кондиционеры и холодильники для управления частотными и энергетическими дисбалансами в энергосистемах. Термостатически управляемые нагрузки, такие как холодильники, кондиционеры и электрические водонагреватели, являются отличными кандидатами для предоставления таких услуг, поскольку они способны накапливать тепловую энергию, подобно тому, как батарея накапливает химическую энергию. Потребность в услугах регулирования спроса, вероятно, будет расти с увеличением производства ветряных и солнечных генераторов, которые, как ожидается, увеличат отклонения частоты и энергетический дисбаланс. Главная фокусировка идет на возможностях централизованного управления нагрузками с высокой точностью, но с низкими требованиями к инфраструктуре датчиков и связи. Для этого предлагается иерархическая система, где контроллер передает управляющие сигналы на все термостатические нагрузки, которые всегда остаются в своей температурной зоне. Требуется отслеживание нагрузки и регулирование, как за счет уменьшения, так и увеличения энергопотребления в течение короткого периода времени.

В данной статье мы рассматриваем сценарий, в котором функциональные возможности прямого управления нагрузкой используются для небольших энергетических нагрузок, т. е. нагрузок бытовых пользователей, спрос на электроэнергию которых может быть отложен, но не прерван или модулирован, и предлагаем простые подходы к управлению, основанные на телетрафической инженерии. Эти подходы основаны на локальных сетях, но подходят для применения в крупномасштабных системах. Аналогично сетям связи, в которых трафик данных из разных источников мультиплексируется на маршрутизаторах разных иерархических уровней, нагрузки в электрической сети мультиплексируются на разных уровнях агрегации. Необходимые дополнительные интеллектуальные и коммуникационные возможности могут быть реализованы с помощью интеллектуальных разъемов без необходимости замены старых приборов. Предлагается простой механизм управления, который гарантирует, что мгновенная потребность в электроэнергии превышает заданную границу с вероятностью меньше, чем, когда требуется только стохастические характеристики потребности в электроэнергии для каждого класса приборов. Этот механизм сочетает в себе два различных режима работы. В первом случае устройствам необходимо запросить у контроллера разрешение на запуск, в то время как контроллер ограничивает количество одновременно активных устройств. Во втором случае вероятность активации периодически транслируется на все приборы; приборы могут немедленно запуститься или отложить свое решение до определенного времени, без необходимости связывания с контроллером. Первый режим работы требует большего обмена данными между устройствами и контроллером и может привести к утечке более конфиденциальной информации о привычках пользователей. Второй режим работает в открытом режиме, следовательно, не раскрывает никакой личной информации. В то же время, без точного знания текущего количества активных устройств, система в целом потребует более низкого использования ресурсов для удовлетворения ограничения. Если объединить два режима работы, тогда, когда устройство захочет начать свою работу, оно запросит разрешение у контроллера, но самостоятельно примет решение. Таким образом достигается желаемый компромисс между утечкой конфиденциальности, использованием ресурсов и накладными расходами на контроль за счет конкретного выбора.

Поставщик энергии может взаимодействовать с различными контроллерами нагрузки. Он определяет требования для каждого контроллера с точки зрения

максимальной вероятности превышения заданной потребности в электроэнергии в контролируемой зоне. Каждый контроллер, в нашем случае VPP, отвечает за выполнение своего запроса, управляя активацией отложенных нагрузок, таких как стиральные машины и т.п., в контролируемой зоне. Поскольку каждый контроллер нагрузки действует независимо от других, то можно сосредоточиться на одном контроллере нагрузки. На основе прогноза спроса VPP отображает требования в управляющий сигнал, который передается всем контролируемым объектам, чтобы решить, откладывать или нет запросы на активацию нагрузки. Каждый объект оборудован шлюзом, в нашей статье Power Meter, способным принимать сигнал управления и взаимодействовать с бытовыми приборами с помощью локальных технологий. Интеллектуальные приборы могут напрямую взаимодействовать со шлюзом, в то время как обычной техникой можно управлять с помощью интеллектуальных штекеров. Этот механизм позволяет контроллеру нагрузки оценивать изменяющуюся во времени потребляемую мощность, а также более жестко контролировать совокупную потребляемую мощность, а затем добиваться более эффективного использования ресурсов в контролируемой области.



Модель Smart Grid системы на Cisco Packet Tracer.

В статье предложена модель на Cisco Packet Tracer с использованием 3 солнечных панелей и 1 ветряной турбины. Имеется центральное управление с сервером и VPP, которая может обеспечить вероятностные гарантии спроса на электроэнергию в контролируемой зоне. Схема может работать с большим количеством обычной техники и может быть сконфигурирована для обеспечения желаемого компромисса между использованием ресурсов, накладными расходами на связь и конфиденциальностью.

Заключение

Основная идея состоит в том, чтобы управлять классом электроприборов путем объединения централизованной системы запросов и ответов с вероятностной системой, способной принимать локальные решения, такую как VPP. Преимуществом предлагаемой идеи является соотношение между запросами на активацию, которые обрабатываются локально, и запросами, которые направляются контроллеру. Недостатком является утечка информации о привычках пользователей и накладных расходах на связь за счет эффективности управления, которую еще предстоит решить.

Данные исследования дают основания предполагать возможность применения теории телетрафика не только для эффективного управления в VPP, но и в виртуальных теплоэлектростанциях.

Таким образом, внедрение виртуальных электроцентралей для оптимизации работы возобновляемых источников энергии может сыграть огромную роль в декарбонизации Казахстана: плавном снижении количества угольных ТЭС и увеличении ВИЭ, путем объединения всех приборов в одну сеть и управления с помощью принятия решений локально. Для корректной работы виртуальных теплоэлектростанций требуется решить лишь коммуникационные вопросы. Теория телетрафика является одним из возможных инструментов решения данной задачи.

Источники

[1] The UNFCCC secretariat (UN Climate Change). Что такое Парижское соглашение? [Электронный ресурс]. <https://unfccc.int/ru/peregovornyy-process-i-vstrechi/parizhskoe-soglashenie/chto-takoe-parizhskoe-soglashenie>.

[2] Официальный сайт Президента РК. Послание Президента Республики Казахстан - Лидера нации Нурсултана Назарбаева народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства» [Электронный ресурс]. https://www.akorda.kz/ru/events/astana_kazakhstan/participation_in_events/poslanie-prezidenta-respubliki-kazahstan-lidera-nacii-nursultana-nazarbaeva-narodu-kazahstana-strategiya-kazahstan-2050-novyi-politicheskii- (дата обращения: 14.12.2012).

[3] Weishang Guo, Pingkuo Liu, Xiaole Shu. Optimal dispatching of electric-thermal interconnected virtual power plant considering market trading mechanism//Journal of Cleaner Production, 2020, no.279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123446> (дата обращения: 23.07.2020).

[4] Хальясмаа А.И., Ревенков И.С., Сидорова А.В. Применение технологии цифрового двойника для анализа и прогнозирования состояния трансформаторного оборудования//Вестник Казанского государственного энергетического университета. Том: 14 Номер: 3 (55) Год: 2022.

[5] Энергоньюс. Как виртуальные электростанции дают реальную экономию и надёжность. [Электронный ресурс]. <http://energo-news.ru/archives/151588> (дата обращения: 19.04.2019).

[6] Фонд энергия без границ. Реальные выгоды виртуальной электростанции. [Электронный ресурс]. <https://energy-fund.ru/info/articles/eto-interesno/realnye-vygody-virtualnoy-elektrostantsii/> (дата обращения: 9.08.2016).

[7] Хабр. Tesla объединит 50 000 домов бедняков в Южной Австралии в виртуальную электростанцию на 250 МВт. [Электронный ресурс]. <https://habr.com/ru/post/409955/> (дата обращения: 5.02.2018).

[8] Ведомости. Домохозяйства переходят на самообеспечение электричеством. [Электронный ресурс]. <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2018/01/07/747134-domohozyaistva-samoobespechenie-elektrichestvom> (дата обращения: 28.06.2021).

[9] Electrovesti.net. Виртуальная электростанция – что это, и зачем. Вопросы, которые вы стеснялись задать. [Электронный ресурс]. https://elektrovesti.net/62503_virtualnaya-elektrostantsiya-chto-eto-i-zachem-voprosy-kotorye-vy-stesnyalis-zadat (дата обращения: 30.08.2018).

[10] Omid Sadeghian, Arman Oshnoei, Rahmat Khezri, SM Muyeen. Risk-constrained stochastic optimal allocation of energy storage system in virtual power plants//Journal of Energy Storage, 2020, no.279. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101732> (дата обращения: 3.08.2020).

[11] С.К. Кумызбаева, П.А.Б. Джеймс, В.В. Стояк, М.В. Ибрагимова. Структурная оптимизация систем комплексного энергоснабжения на основе геотермальной полигенерационной установки // Вестник АУЭС. – Алматы, №2(36), 2017. – С. 17-26.

[12] Stoyak V.V., Zavadsky V.A., Kumyzbayeva S.K. Интеллектуальное управление распределенной генерации: виртуальный теплоэлектроцентрали – энергосистемы нового поколения//Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2018, no.4, pp.19-25.

[13] Ахметова И.Г., Лапин К.В. Исследование нестационарных процессов теплообмена в тепловых сетях централизованного теплоснабжения//Вестник Казанского государственного энергетического университета. Том: 14 Номер: 3 (55) Год: 2022

[14] G. Neglia, L. Giarre, I. Tinnirello, G. Di Bella. Teletraffic engineering for direct load control in smart grids//Sustainable Energy. Grids and Networks, 2018, no. 157. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2018.07.007> (дата обращения: 24.07.2018).

[15] Johanna L. Mathieu, Stephan Koch, State Estimation and Control of Electric Loads to Manage Real-Time Energy Imbalance//Power Systems, IEEE Transactions on February 2013. doi:<http://dx.doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2204074> (дата обращения: 03.06.2012).

РАЗРАБОТКА МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Жунусов Аян Радиянович¹, Байкенов Алимжан Сергеевич², Желтаев Тимур Желтаевич³,
Зиекенов Токталык Айдарханович⁴

^{1,2,3} НАО «Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева»,

⁴ Центрально-Азиатский университет, г. Алматы, Республика Казахстан

¹jarmale@mail.ru, ²a.baikenoff@yandex.kz, ³zheltayev@gmail.com, ⁴toktalyk@mail.ru

Аннотация: В данной работе рассмотрены вопросы развития систем мониторинга качества сервисов в телекоммуникационных сетях, проведен анализ существующих систем, использующих машинное обучение. Разработан алгоритм сбора и обработки данных для дальнейшего использования в системе с машинным обучением по предложенному методу мониторинга качества сервисов в телекоммуникационных сетях.

Ключевые слова: система мониторинга; машинное обучение; алгоритм; телекоммуникационная сеть; python; рppoe.

DEVELOPMENT OF QUALITY MONITORING IN A TELECOMMUNICATION NETWORK USING MACHINE LEARNING

Zhunussov Ayan Radiyanovich¹, Baikenov Alimzhan Sergeyevich², Zheltayev Timur
Zheltayevich³, Ziyekenov Toktalyk Aidarkhanovich⁴

^{1,2,3} Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek
Daukeev, ⁴ Central Asian University, Almaty, Republic of Kazakhstan

¹jarmale@mail.ru, ²a.baikenoff@yandex.kz, ³zheltayev@gmail.com, ⁴toktalyk@mail.ru

Abstract: In this paper, the issues of developing systems for monitoring the quality of services in telecommunication networks are considered, an analysis of existing systems using machine learning is carried out. An algorithm for collecting and processing data has been developed for further use in a system with machine learning according to the proposed method for monitoring the quality of services in telecommunication networks.

Key words: monitoring system; machine learning; algorithm; telecommunications network; python; pppoe.

Введение

Современные телекоммуникационные системы и сети передачи данных генерируют огромные и разнородные объемы трафика данных. В таких сетях традиционные методы сетевого управления для мониторинга и анализа данных сталкиваются с некоторыми проблемами и вопросами, например, с точностью и эффективной обработкой больших данных в режиме реального времени. Машинное обучение (Machine Learning - ML) эффективно используется для облегчения анализа и выявления проблем в системах с большим объемом данных для распознавания скрытых и сложных закономерностей. В [1] описываются достоинства и недостатки алгоритмов машинного обучения с точки зрения их применения, чтобы помочь принять обоснованное решение по выбору соответствующего алгоритма обучения для удовлетворения конкретных требований приложения. Так, в работе [2], исследователи в области сетей применяют модели машинного обучения для приложений мониторинга и анализа сетевого трафика (Network Traffic Monitoring and Analysis – NTMA), таких, как классификация и прогнозирование трафика. В [3] представлен обзорный анализ методов машинного обучения, доступных и легких для реализации, и как их можно применять в реальных условиях.

В наше время основной объем трафика приходится на использование сети Интернет. Это вызывает экспоненциальный рост данных и трафика через Интернет. Классификация интернет-трафика является очень популярным инструментом по отношению к системам обнаружения информации. Несмотря на то, что было разработано так много методов для эффективной классификации интернет-трафика, среди них наиболее популярны методы машинного обучения. Например, в [4] проведен краткий обзор различных контролируемых и неконтролируемых методов машинного обучения, применяемых различными исследователями для решения классификации интернет-трафика. Статья [5] направлена на поиск новых подходов к классификации интернет-трафика для улучшения QoS (Quality of Service - QoS). Изучены и развернуты методы машинного обучения и глубокого обучения (Deep Learning - DL) для классификации интернет-трафика. Оценены все необходимые элементы для сопряжения решения ML или DL с хорошо известной архитектурой управления спутниковой связью и QoS. В [6] обсуждаются проблемы и вопросы, связанные с классификацией больших данных с использованием методов геометрического представления и обучения и современных сетевых технологий больших данных (Big Data). В частности, обсуждаются вопросы, связанные с объединением контролируемых методов обучения, методов обучения с представлением, методов машинного обучения на протяжении всей жизни и технологий больших данных для решения задач классификации сетевого трафика. В [7] обсуждаются методы классификации сетевого трафика, а набор интернет-данных в реальном времени разрабатывается с использованием инструмента захвата сетевого трафика, после чего используется

инструмент для извлечения функций из захваченного трафика, а затем четыре классификатора машинного обучения.

Анализ трафика в сети передачи данных имеет множество целей, таких как оценка производительности и безопасность сетевых операций и управления. Поэтому анализ сетевого трафика считается жизненно важным для улучшения работы и безопасности сетей. В [8] обсуждаются различные подходы машинного обучения для анализа трафика. Машинное обучение демонстрирует эффективные возможности в решении сетевых проблем. В этой работе представлен обзор методов, используемых при анализе трафика. А в работе [9] рассматриваются новые исследования в области применения методов машинного обучения для классификации IP-трафика — междисциплинарного сочетания методов IP-сетей и интеллектуального анализа данных. Обсужден ряд ключевых требований для использования классификаторов трафика на основе машинного обучения в действующих IP-сетях и проведен качественный анализ, в какой степени рассмотренные работы соответствуют этим требованиям.

Машинное обучение также может быть применено в прогнозировании сбоев программного обеспечения (SFP — Software Fault Prediction). В [10] проведено сравнение производительности машинного обучения и статистических методов на основе моделей SFP. Данное эмпирическое исследование и анализ показывают, что способность прогнозирования методов машинного обучения для классификации класса/модуля как подверженного ошибкам/неподверженного ошибкам лучше, чем у классических статистических моделей. Эффективность методов SFP на основе машинного обучения в отношении подверженности сбоям выше, чем в обычных статистических целях.

Идея машинного обучения демонстрирует факт, что компьютер может самосовершенствоваться с течением времени. Исследование [11] показало, что стратегии машинного обучения с точки зрения компьютера бывают контролируемыми, неконтролируемыми и полуконтролируемыми. Самыми последними приложениями машинного обучения являются обнаружение объектов, классификация объектов и извлечение соответствующей информации из изображений, графических документов и видео.

В области мобильных технологий уже исследуются методы машинного обучения. В [12] предложена общая структура под названием «Оптимизация глубокого обучения для цепочки сервисных функций» (Deep Learning Optimization for Service Function Chaining — DLO-SFC), которая обеспечивает быстрые оптимальные конфигурации с использованием методов глубокого обучения и оптимизации сети. В [12] разработана предлагаемая структура так, чтобы она была универсальной и ортогональной для конкретного варианта использования. В [13] рассматривается ряд архитектур и конструкций распределенного машинного обучения, ориентированных на

оптимизацию мобильной связи, вычислений и распределения ресурсов. А в рамках [14] предлагается концепция стратегий машинного обучения для решения проблем проектирования WSN (Wireless Sensor Network).

Реализация сторонних программных модулей в традиционных сетях слишком сложна, в отличие от программно-определяемых сетей (SDN – software-defined networking), которые стали очень популярны в последние несколько лет. В [15] представлена разработка модуля машинного обучения для прогнозирования качества опыта (QoE – Quality of Experience) в программно-определяемых сетях. Модуль позволяет прогнозировать и обеспечивать заданное заказчиком качество обслуживания и снижать нагрузку на сетевое оборудование за счет уменьшения объема сигнального трафика в сети. В [16] предлагается новая архитектура оптической сети с поддержкой машинного обучения, основанная на SDN, которая также называется самооптимизирующимися оптическими сетями (SOON – self-optimizing optical networks), а в [17] рассматриваются методы мониторинга оптических характеристик (OPM – optical performance monitoring) и идентификации формата модуляции (MFI – modulation format identification) на основе машинного обучения. Более того, алгоритмы машинного обучения применяются при идентификации и классификации конфликтующих потоков. В результате в [18] представлено несколько алгоритмов машинного обучения, которые включают дерево решений (DT – Decision Tree), метод опорных векторов (SVM – Support Vector Machine), чрезвычайно быстрое дерево решений (EFDT – Extremely Fast Decision Tree) и гибрид (DT-SVM) для обнаружения и классификации конфликтующих потоков в SDN. Предлагаемые алгоритмы EFDT и гибридный DT-SVM демонстрируют высокую способность приложений SDN обеспечивать быстрое обнаружение и классификацию потоков конфликтов.

Точная классификация трафика через SDN имеет фундаментальное значение для многих других сетевых операций, от мониторинга безопасности до учета и от качества обслуживания (QoS) до предоставления операторам полезных прогнозов для долгосрочного предоставления услуг, например, в [19] используются четыре варианта оценки нейронной сети для классификации трафика по приложениям.

Для SDN одной из проблем безопасности является распределенная атака типа «отказ в обслуживании» (DDoS – distributed denial-of-service). DDoS-атака представляет угрозу для Интернета. Для предотвращения DDoS-атаки можно использовать алгоритм машинного обучения. В [20], [21] и [22] предлагаются различные методы машинного обучения, такие как дерево принятия решений (DT – Decision Tree) и метод опорных векторов (SVM – Support Vector Machine) для обнаружения вредоносного трафика. В [22] подробно рассматриваются литературные исследования с использованием наборов данных CSE-CIC IDS-2018, UNSW-NB15, ISCX-2012, NSL-KDD и CIDDS-001, которые широко используются для разработки систем обнаружения вторжений (IDS – Intrusion Detection Systems).

В связи с тем, что SDN является ведущей технологией для обеспечения работы систем мобильной связи 5-го поколения (5G), в [23] основное внимание уделяется снижению эксплуатационных расходов при одновременном 1) повышении качества обслуживания (QoS) за счет использования преимуществ очередей и многопутевой переадресации в OpenFlow, 2) предоставлении оператору сети с поддержкой SDN эффективного распределения сетевых ресурсов с учетом мобильности и 3) уменьшении или даже устранения необходимости в избыточном выделении ресурсов.

Машинное обучение может обеспечивать прогнозирование трафика в режиме реального времени, прогнозирование будущего трафика и краткосрочное прогнозирование трафика на основе недавних наблюдений и исторических данных. В [24] рассматривается, как преодолеть узкие места, ограничивающие широкое развертывание автономных систем, и роль, которую машинное обучение может сыграть в этом отношении.

В рамках [25] исследовано потенциальное использование общедоступных программируемых коммутаторов для внутрисетевой классификации путем сопоставления обученных моделей машинного обучения с таблицами сопоставления действий.

Основная часть

Если сравнивать сегмент телекоммуникационной сети с деревом (рис. 1) вне зависимости от топологии, то устройства пользователей CPE (Customer Premises Equipment) являются листьями, а маршрутизатор оператора связи PE (Provider Edge) – стволом. Так же, как листьям питательные вещества через ветки поступают от ствола, так и трафик от маршрутизатора достигает клиентское оборудование через коммутаторы. Данная параллель приведена для того, чтобы выделить важный факт – для всех CPE точкой схождения является маршрутизатор. Маршрутизатор обладает необходимой информацией по всем подключенным к нему устройствам и собирает статистику. В отличие от коммутаторов, обремененных информацией только за определенный сегмент сети, маршрутизатор хранит данные по всему диапазону используемых VLAN (Virtual Local Area Network, виртуальная локальная сеть).

У операторов связи принято выделять отдельный VLAN под каждые виды сервисов и направления (трасса прохождения пакетов по выделенному VLAN от PE до CPE). Это удобно как при ведении учета, так и во время траблшутинга, что указано в работе [26], где рассмотрены введение пассивного и активного типов измерения качества сервисов мультисервисной телекоммуникационной сети. Таким образом, каждый VLAN прописан по своему пути, начиная от маршрутизатора и заканчивая на устройстве доступа. Отсюда можно сделать вывод, что маршрутизатор с помощью VLAN отмечает пути прохождения трафика по всем возможным направлениям. Так же стоит отметить, что с помощью VLAN разграничиваются и виды предоставляемых услуг, которые реализуются с помощью разных сетевых протоколов, таких как PPPoE.

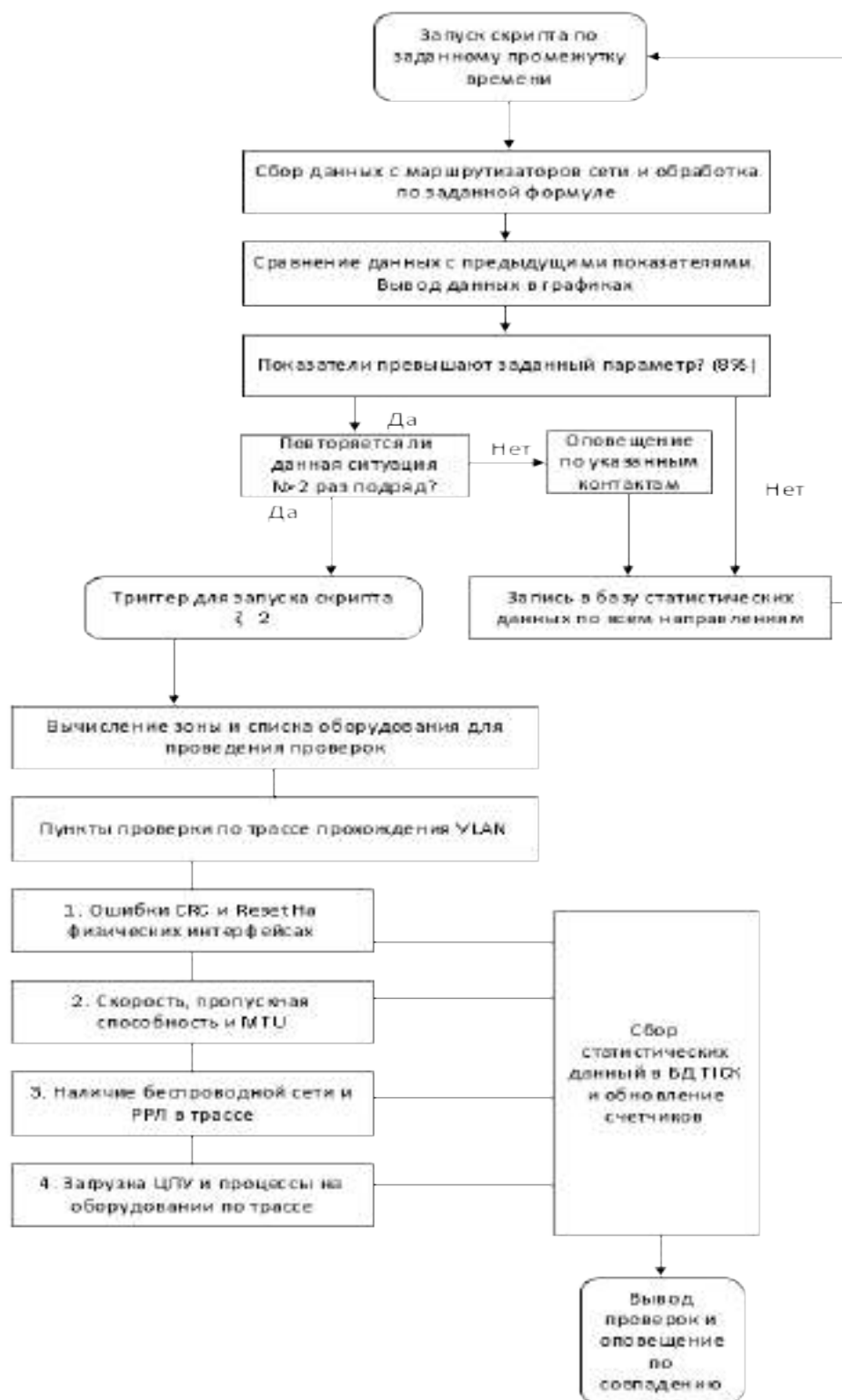


Рис. 2. Блок схема работы скрипта по сбору и обработке информации

Пошаговое описание работы скрипта:

1. Проводится запуск скрипта проверки по заданному промежутку времени.

2. Осуществляется сбор данных с маршрутизаторов сети согласно заданным командам.

3. Проводится сравнение собранных данных с предыдущими показателями.

4. Если новые данные не превышают определенные заданные параметры, то скрипт запишет и сохранит полученную информацию и продолжит работу согласно Пункту №1. Если новые данные превышают определенные заданные параметры с повтором более двух раз подряд, то скрипт осуществит запуск дополнительного скрипта согласно Пункт №5.

5. Появляется триггер и осуществляется запуск скрипта №2.

6. Вычисляется зона и список оборудования для проведения проверок

7. Проводится проверка определенных параметров по трассе прохождения VLAN

a. Ошибки CRC и Reset на физических интерфейсах

b. Скорость, пропускная способность и MTU

c. Наличие беспроводной сети и РРЛ в трассе

d. Загрузка ЦПУ и процессы на оборудовании по трассе

8. Осуществляется сбор статических данных в БД TICK и обновление счетчиков

9. Вывод результатов проверок, выставление коэффициентов согласно счетчикам и оповещение по совпадению

Данный скрипт был опробован на сети АО «Казахтелеком» и показал себя с хорошей стороны. Скрипт был использован для реализации предложенного в работе метода мониторинга качества в телекоммуникационной сети и запускался по следующему сценарию:

1. Запуск каждые 5 минут.

2. Осуществляется сбор данных по каждому PPPoE VLAN-у со всех маршрутизаторов сети по разным направлениям.

3. Проводится сравнение собранных данных по отправленным PADT с предыдущими показателями.

4. Согласно полученным данным, 2ой раз подряд при проверке, количество пакетов сигнализирующих о разрыве сессий по определенному VLAN-у в направлении поселка Володарское превышает количество, находящееся в пределах нормы.

5. Появляется триггер для осуществления запуска скрипта №2.

6. Вычисляется трасса и список оборудования для проведения проверок, в нашем случае определяется следующая трасса: Маршрутизатор – коммутатор – РРЛ-оборудование сети доступа-абонент.

7. Проводится проверка заданных параметров по трассе прохождения VLAN-а.

- a. Ошибки CRC и Reset на физических интерфейсах маршрутизаторов и коммутаторов (в пределах нормы).
- b. Скорость, пропускная способность и MTU (в пределах нормы).
- c. Наличие беспроводной сети и РРЛ в трассе (есть РРЛ).
- d. Загрузка ЦПУ и процессы на оборудовании по трассе (в пределах нормы).
8. Осуществляется сбор статических данных в БД и обновление счетчиков.
9. Вывод результатов проверок и оповещение по совпадению.
10. Рекомендуется проверить юстировку антенн РРЛ. После юстировки показания по данному направлению улучшаются.

Согласно проведенному анализу, 7 из 10 случаев по указанной трассе прохождения VLAN-а ранее были связаны с РРЛ оборудованием, в связи с чем для проверки РРЛ выставляется больший коэффициент и следующую проверку по данному направлению в первую очередь необходимо провести по данному пункту.

Заключение

В свете очень быстрого развития телекоммуникационных сетей есть необходимость в адекватных изменениях в системах мониторинга, что, соответственно, указывает на актуальность темы. В данной статье проведен анализ работ, где предложено внедрение дополнительных протоколов или инструментов для мониторинга качества сервисов с учетом затрат дополнительных ресурсов. Предложенный же в настоящей статье метод подразумевает использование уже имеющихся на РЕ данных, которые косвенно указывают на качество сервисов. Новизна заключается в методе обработки данных путем сопоставления статистики отправленных пакетов PADT во временном промежутке и раскрытии их косвенной связи с качеством предоставляемых услуг.

Источники

[1] Susmita Ray “A Quick Review of Machine Learning Algorithms”, 2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon), 10 октября 2019, 19046513.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8862451>

[2] Mahmoud Abbasia, Amin Shahraki, Amir Taherkordib “Deep Learning for Network Traffic Monitoring and Analysis (NTMA): A Survey”, Computer Communications, том 170, 15 марта 2021. – С.19-41.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366421000426>

[3] Moisés Loma-Osorio de Andrés, Aneta Poniszewska-Marańda, Luis Alfonso Hernández Gómez “Towards the Machine Learning Algorithms in Telecommunications Business Environment”, Information System, 21 ноября 2020. – С. 79–96.

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-63396-7_6

[4] Neeraj Namdev, Shikha Agrawal, Sanjay Silkari “Recent Advancement in Machine Learning Based Internet Traffic Classification”, Procedia Computer Science, том 60, 2015. – С. 784-791.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915023650>

[5] Fannia Pacheco, Ernesto Exposito, Mathieu Gineste “A framework to classify heterogeneous Internet traffic with Machine Learning and Deep Learning techniques for satellite communications”, Computer Networks, Том 173, 22 мая 2020, 107213.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128619313544>

[6] Shan Suthaharan “Big data classification: problems and challenges in network intrusion prediction with machine learning”, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, Том 41, Издание 4, Март 2014. – С. 70–73.

<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2627534.2627557>

[7] Muhammad Shafiq; Xiangzhan Yu; Asif Ali Laghari; Lu Yao; Nabin Kumar Karn; Foudil Abdessamia “Network Traffic Classification techniques and comparative analysis using Machine Learning algorithms”, 2016 2nd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC), 11 мая 2017, 16867512.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7925139>

[8] Nour Alqudah, Qussai Yaseen “Machine Learning for Traffic Analysis: A Review”, Procedia Computer Science, Том 170, 2020. – С. 911-916.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920305494>

[9] Thuy T.T. Nguyen; Grenville Armitage “A survey of techniques for internet traffic classification using machine learning”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Том 10, Издание 4, 4 квартал 2008.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/4738466>

[10] Sushant KumarPandey, Ravi Bhushan Mishra, Anil Kumar Tripathi “Machine learning based methods for software fault prediction: A survey”, Expert Systems with Applications, Том 172, 15 июня 2021, 114595.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417421000361>

[11] Asharul Islam Khana, Salim Al-Habsi “Machine Learning in Computer Vision”, Procedia Computer Science, Том 167, 2020. – С. 1444-1451.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920308218>

[12] Abdelhakim Nacef, Abdellah Kaci, Youcef Aklouf, Diego Leonel Cadette Dutra “Machine learning based fast self optimized and life cycle management network”, Computer Networks, Том 209, 22 мая 2022, 108895.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128622000949>

[13] Omar Nassef, Wenting Sun, Hakimeh Purmehdi, Mallik Tatipamula, Toktam Mahmoodi “A survey: Distributed Machine Learning for 5G and beyond”, Computer Networks, Том 207, 22 апреля 2022, 108820.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128622000421>

[14] Zaki Ahmad Khan, Abdus Samad “A Study of Machine Learning in Wireless Sensor Network”, International Journal of Computer Networks and Applications (IJCNA), Том 4, Издание 4, июль - август (2017).

<https://mail.ijcna.org/Manuscripts/IJCNA-2017-O-10.pdf>

[15] Le Yuan, Mykhailo Medvetskyi, Mykola Beshley, Andrii Pryslupskyi, Halyna Beshley “Machine Learning-Enabled Software-Defined Networks for QoE Management”, 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), 10.1109/AICT52120.2021.9628961, 21-25 сентября 2021.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9628961>

[16] Yongli Zhao, Boyuan Yan, Dongmei Liu, Yongqi He, Dajiang Wang, Jie Zhang “SOON: self-optimizing optical networks with machine learning”, Computer Science, 19 октября 2018.

<https://www.semanticscholar.org/paper/SOON%3A-self-optimizing-optical-networks-with-machine-Zhao-Yan/9faab8a3fe6a919e84383162e02894ecf19e1b85>

[17] Waddah S. Saif, Maged A. Esmail, Amr M. Ragheb, Tariq A. Alshawhi, and Saleh A. Alshebeili “Machine Learning Techniques for Optical Performance Monitoring and Modulation Format Identification: A Survey”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, том 22, №. 4, четвертый квартал 2020.

<https://ieeexplore.ieee.org/ielx7/9739/9265420/09184046.pdf>

[18] M. H. Khairi, S. Ariffin, N. A. A. Latiff, K. M. Yusof, Mohamed Khalafalla Hassan, Fahad Taha Al-Dhief, Mosab Hamdan, Suleman Khan, Muzaffar Hamzah, “Detection and Classification of Conflict Flows in SDN Using Machine Learning Algorithms”, Computer Science, 17 мая 2021.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Detection-and-Classification-of-Conflict-Flows-in-Khairi-Ariffin/72acf5b66aa5ed961a56635d124c1c8223a1cc0d>

[19] Mohammad Reza Parsaei, Mohammad Javad Sobouti, Seyed Raouf khayami, Reza Javidan “Network Traffic Classification using Machine Learning Techniques over Software Defined Networks”, International Journal of Advanced Computer Science and Applications 8(7) Том 8, Издание 7, январь 2017.

https://www.researchgate.net/publication/318894970_Network_Traffic_Classification_using_Machine_Learning_Techniques_over_Software_Defined_Networks

[20] Afsaneh Banitalebi Dehkordi, Mohammad Reza Soltan Aghaei, Farsad Zamani Boroujeni “The DDoS attacks detection through machine learning and statistical methods in SDN”, The Journal of Supercomputing. 77, страницы 2383–2415 (2021), 15 июня 2020.

https://www.researchgate.net/publication/342250530_The_DDoS_attacks_detection_through_machine_learning_and_statistical_methods_in_SDN

[21] K. Sudar, M. Beulah, P. Deepalakshmi, P. Nagaraj, P. Chinnasamy “Detection of Distributed Denial of Service Attacks in SDN using Machine learning techniques”, 2021 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), 21 апреля 2021.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Detection-of-Distributed-Denial-of-Service-Attacks-Sudar-Beulah/3d2db34ddfd9f75f2acb2a96c8cdc63c28ab>

[22] Ilhan Firat Kilincer, Fatih Ertam, Abdulkadir Sengur, “Machine learning methods for cyber security intrusion detection: Datasets and comparative study”, Computer Networks, Том 188, 7 апреля 2021, 107840.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128621000141>

[23] Miloud Bagaa, D. Dutra, T. Taleb, Konstantinos Samdanis “On SDN-Driven Network Optimization and QoS Aware Routing Using Multiple Paths”, IEEE Transactions on Wireless Communications, Том: 19, Издание: 7, июль 2020.

<https://www.semanticscholar.org/paper/On-SDN-Driven-Network-Optimization-and-QoS-Aware-Bagaa-Dutra/1892d28e690e242df8e00c4e2490c43e9dab12ea>

[24] Sara Ayoubi; Noura Limam, Mohammad A. Salahuddin, Nashid Shahriar, Raouf Boutaba, Felipe Estrada-Solano, Oscar M. Caicedo “Machine Learning for Cognitive Network Management”, IEEE Communications Magazine, Том: 56, Издание: 1, январь 2018.

https://www.researchgate.net/publication/320540444_Machine_Learning_for_Cognitive_Network_Management

[25] Zhaoqi Xiong, Noa Zilberman “Do Switches Dream of Machine Learning?: Toward In-Network Classification”, HotNets '19: Proceedings of the 18th ACM Workshop on Hot Topics in Networks, 14 ноября 2019. – С. 25–33.

<https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3365609.3365864>

[26] T. Bhumrawi, C. Netramai, K. Kaemarungsi, K. Limtanyakul “Impact of Multi-services over Service Provider’s Local Network Measured by Passive and Active Measurements Techniques”, The 9th International Conference on Computing and Information Technology (IC2IT2013): 9th-10th May 2013 King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Berlin: Springer Science & Business Media, 2013. – С. 41-50.

[27] Víctor Labayen, Eduardo Magaña, Daniel Morató, Mikel Izal “Online classification of user activities using machine learning on network traffic”, Computer Networks, Том 181, 9 ноября 2020, 107557.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128620312081>

ТАЛШЫҚТЫ БРЭГГ ТОРЛАРЫНЫҢ ПАЙДА БОЛУ ҚАҒИДАЛАРЫ ЖӘНЕ ОНЫ ЖАЗУДЫҢ АРНАЙЫ ӘДІСТЕРІ

Кадирбаева Г.К.¹, Чежимбаева К.С.².

^{1,2} «Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КеАҚ

¹ g.kadirbayeva@aes.kz, ² k.chezhimbayeva@aes.kz

Аңдатпа. Бұл жұмыста талшықты Брэгг торларымен таныстыру, жалпы ұғымдар және пайда болу қағидаларының сипаттамаларын зерттеп, теориялық нәтижелермен салыстыру жолдары және оларды жазу әдістері қарастырылды. Бұл зерттеудің мақсаты қолданыстағы Брэгг торларының архитектураларына егжей-тегжейлі сипаттама беру, сонымен қатар талшықты Брэгг торларының пайда болу қағидаларын және олардың кейбір жазылу әдістерін қарастыру болып табылады. Зерттеу нәтижесінде талшықты Брэгг торларының шағылысу спектрі және өткізу спектрлері көрсетілді, сонымен бірге Брэгг торларын модельдеу нәтижелері ұсынылды.

Түйінді сөздер: Талшықты Брэгг торлары, талшық, оптика, экспозиция.

PRINCIPLES OF THE FORMATION OF FIBROUS BRAGG LATTICES AND SPECIAL METHODS FOR RECORDING IT

Kadirbayeva G.K.¹, Chezhimbayeva K.S.²

^{1,2} Non-profit Joint Stock Company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named Gumarbek Daukeyev"

¹ g.kadirbayeva@aes.kz, ² k.chezhimbayeva@aes.kz.

Abstract: In this paper, we examined the introduction of fiber Bragg networks, general concepts and characteristics of the principles of origin, ways to compare them with theoretical results and methods for writing them. The purpose of this study is to provide a detailed description of existing Bragg lattice architectures, as well as to consider the principles of origin of fiber Bragg lattices and some of their writing methods. As a result of the study, the reflection spectrum and transmission spectra of fiber Bragg grids were demonstrated, and at the same time the results of modeling Bragg grids were presented.

Keywords: Fiber Bragg grids, fiber, optics, exposure.

Kipicne

Бүгінгі күні температура мен механикалық деформацияларға арналған талшықты-оптикалық сенсорлардың жаңа және перспективалы нұсқаларының бірі сезімтал элемент ретінде талшықты сыну көрсеткішінің торларын (Брагг торлары) пайдаланатын сенсорлар

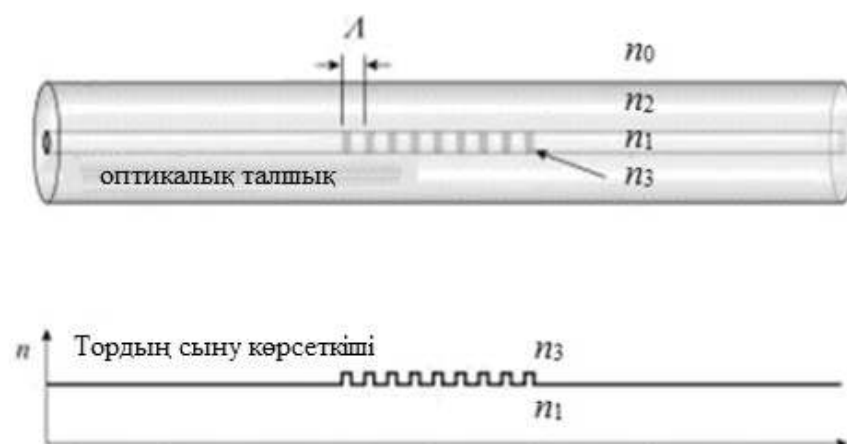
болып табылады - олар белгілі бір толқын ұзындығында сәулеленуді көрсету қасиетіне ие. Қазіргі кезде талшықты оптикалық байланыс желілерінің пайдалану ауқымы артқан сайын, желінің жұмыс жасауын бақылайтын көмекші құралдар мен құрылғылар – талшықтың сыртқы ортаның әсерінен болған қысымына және ортаның температурасына тәуелділігін анықтау маңыздылығы артуда. Талшықты Брэгг торына (ТБТ) негізделген температуралық сенсорларды үлкен қашықтықта орналасқан және қауіпті әртүрлі жарылғыш, күшті электромагниттік сәуле шығаратын орталарда, мұнай, газ құбырларындағы температура мен қысымды өлшеуге, магистралды талшықты байланыс желісі жүргізілген орталардағы температураны анықтау мақсатында кеңінен қолданады [1].

Жұмыстың негізгі мақсаты - талшықты Брэгг торларымен таныстыру, жалпы ұғымдар және пайда болу механизмдері сипаттамаларын зерттеп, тәжірибелік нәтижелермен салыстыру болып табылады.

Жұмыстың барысында Брэгг торының негізгі сипаттамалары қарастырылған және Брэгг торын сипаттайтын негізгі параметрлер туралы ақпараттар келтірілген. Брэгг торын құрастырудың ерекшеліктері сипатталып, оны құрастыру кезінде қажетті кіріс параметрлерінің өзгеру диапазондары мен тұрақты мәндерін пайдаланып математикалық моделін құрастыруда олардың (мысалы, аподизация коэффициенттері) өзгерісі ескерілмеген. Брэгг торын жасау және оны модельдеу жұмыстарына қатысты еңбектерге әдебиеттік шолулар жасалды.

Талшықты Брэгг торының негізгі сипаттамалары

Талшықты Брэгг торы (ТБТ) – бұл бойлық бағытта өзегінің сыну көрсеткіші (СК) периодты өзгертін оптикалық талшықтың (ОТ) бір бөлігі (сурет 1).



Сурет 1. Талшықты Брэгг торы

Оптикалық талшық (ОТ) бойымен таралатын сәуле световодтың өздік модаларының: бағыттаушы және сәулелендіруші, жиынтығы болып табылады. Оптикалық

талшықтың сәулелендіруші модасы үздіксіз функцияны құраса, ал бағыттаушы модасы β_i тұрақты таралу коэффициенттерінің дискретті жиынтығына сәйкес келеді. СК-де өзгерістер байқалмаған жағдайда, оптикалық талшық модалары бір-бірінен тәуелсіз таралады. Сондықтан, СК-нің модуляция периоды таңдап алынған сәуле модалары арасында қажетті резонанстық байланысты қамтамасыз ететіндей таңдап алынады. СК-нің модуляциясы оптикалық талшықтың (ОТ) негізгі және оған қарама-қарсы бағытта таралатын модаларды байланыстырады. Осының нәтижесінде дискретті толқын ұзындығында ОТ арқылы таралған сәуле ТБТ-да шағылады. Шағылу коэффициенті СК-нің модуляциясының тереңдігімен, ал шағылған сәуленің толқын ұзындығы Брэгг шартымен анықталады, (1) формулада көрсетілгендей [1]:

$$\lambda_B = 2n_{\text{эфф}}\Lambda, \quad (1)$$

мұндағы λ_B – Брэгг резонансының толқын ұзындығы, $n_{\text{эфф}}$ – шағылған сәуленің толқын ұзындығы үшін талшық өзегінің эффективті сыну көрсеткіші (СК), Λ – Брэгг торының периоды.

Оптикалық талшықтың өзегімен таралған сәуле тордың әр қырынан шашырайды. Егер Брэггтің шарттары орындалмаса, онда тордың әр қырынан шағылған сәуле фазаға түспейді, сол себепті сөніп қалады. Ал Брэгг шартын қанағаттандыратын толқын ұзындығы үшін тордың әр қырынан шағылған сәулелер өзара араласып (қосылып), талшық бойымен кері бағытта таралады [2].

Орташа сыну көрсеткіші n_0 бар бір модаль оптикалық талшық өзегінде пайда болған біртекті Брэгг торын қарастырайық. Сыну көрсеткішінің профилін (2) өрнекке сәйкес өрнектейміз:

$$n(z) = n_0 + \Delta n \cos\left(\frac{2\pi x}{\Lambda}\right), \quad (2)$$

мұндағы Δn – Брэгг торы СК-і модуляциясының амплитудасы, Λ – Брэгг торының периоды, x – талшықтың осы бойымен арақашықтық. Модалар байланысы теориясын пайдаланып, Брэгг торының шағылу спектрі функциясын (3) формулаға сәйкес келесідей өрнектейік:

$$R(\lambda, l) = \frac{\Omega^2 \sinh^2(sl)}{\Delta k^2 \sinh^2(sl) + s^2 \cosh^2(sl)}, \quad (3)$$

мұндағы $R(\lambda, l)$ – тордың шағылуы, сәуленің λ толқын ұзындығы мен тордың ұзындығы l функциясы ретінде анықталады, Ω – байланыс коэффициенті, $\Delta k = k - \pi/\Lambda$ – толқындық сан, $k = 2\pi n_0/\lambda$ және $s^2 = \Omega^2 - \Delta k^2$. СК-і модуляциясының

синусоидалы функциясы үшін байланыс коэффициенті келесідей (4) формулаға сәйкес өрнектеледі:

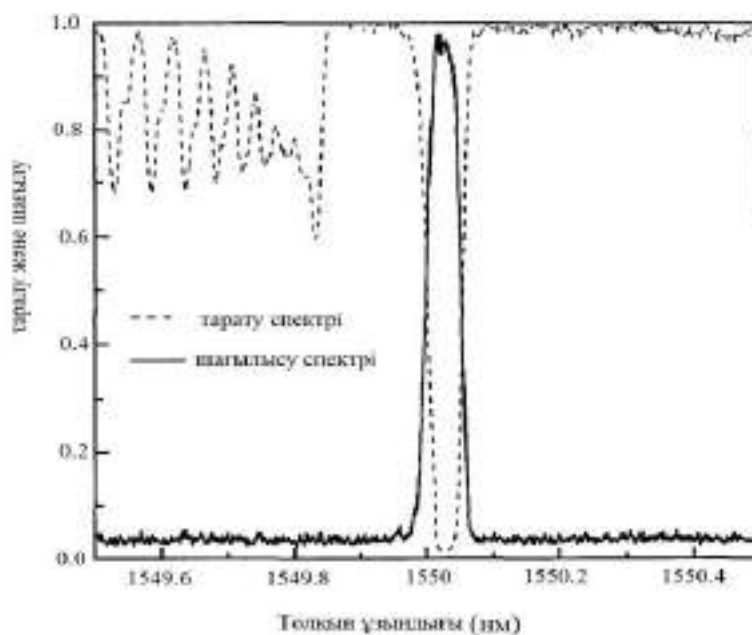
$$\Omega = \frac{\pi \Delta n \eta(V)}{\lambda}, \quad (4)$$

мұндағы $\eta(V) \approx 1 - 1/V^2$, ($V \geq 2,4$) – талшықтың өзегіндегі негізгі моданың қарқындылығының пайыздық көрсеткішін анықтайтын функция.

Брэгг толқын ұзындығы үшін $\Delta k = 0$, сондықтан (3) өрнек (5) формула түрінде жазылады:

$$R(\lambda, l) = \tanh^2(\Omega l), \quad (5)$$

Толқын ұзындығының функциясы ретінде есептелген тордың шағылу спектрінің нәтижесі 2 суретте көрсетілген.



Сурет 2. Типтік Брэгг талшықты торының сәулелену және шағылысу спектрлері

Брэгг талшықты торының СК-і модуляциясының тереңдігі неғұрлым үлкен болса, ТБТ шағылу коэффициенті соғұрлым үлкен болады. (1) Өрнектен көріп отырғанымыздай ТБТ-дың резонанстық толқын ұзындығы световодтың өзегінің эффективті СК-не және СК-нің модуляция периодына тәуелді болады.

ТБТ-дың маңызды параметрлерінің бірі – ол СК-нің Δn модуляциясының мәні. Нашар шағылыстырғыш ТБТ үшін СК-нің индукцияланған модуляциясының амплитудасын бағалау үшін келесі (6) формуланы қолдануға болады:

$$\Delta n = \frac{\lambda_B}{\pi l} \tanh^{-1}(\sqrt{r_{\text{макс}}}) \quad (6)$$

мұндағы $r_{\text{макс}}$ – тордың Брэгг резонансының орталық толқын ұзындығындағы шағылу коэффициенті. Мысалы, 1550 нм-де Брэгг резонансы бар ТБТ үшін шағылу коэффициенті 10% және тордың ұзындығы 15 мм болғанда (6) формуласына сәйкес СК-нің Δn модуляциясының мәні шамамен $1,077 \cdot 10^{-5}$ құрайды.

ТБТ-дың шағылу спектрінің енін жартылай биіктікте есептеуге арналған негізгі өрнек (7) формуламен өрнектеледі [1]:

$$\Delta \lambda = \lambda_B \cdot \alpha \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta n}{2n_0}\right)^2 + \left(\frac{1}{N}\right)^2} \quad (7)$$

мұндағы N – тор сызықтарының саны. α параметрі шағылдырғыш қасиеті жоғары торлар үшін 1-ге тең (сәулені шамамен 100%-ға шағылдыратын ТБТ), ал әлсіз шағылыстырғыш торлар үшін $\alpha \approx 0,5$ -ке жуық деп қабылданады.

Талшықты Брэгг торларын жазудың арнайы әдістері

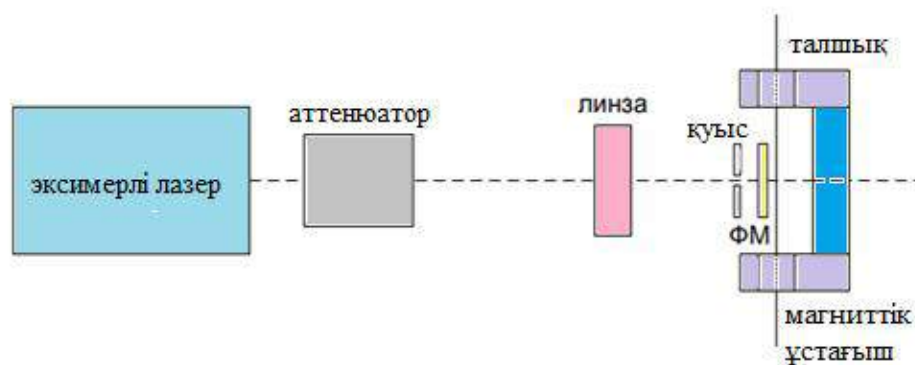
Біртекті ТБТ-дың спектрлерінде әдетте бүйірлік максимумдар байқалады (1.2 сурет), олардың орналасуы тордың ұзындығымен анықталады [3]. Брэгг торларының аподизациясы бүйірлік максимумдарды едәуір басып тастауы мүмкін, бұл олардың арасындағы айқасқан бөгеулердің азаюымен байланысты DWDM жүйелерінде оптикалық арналардың жақын спектрлік орналасуына мүмкіндік береді [3]. Торлардың аподизациясы деп торда оның ұзындығы бойынша келтірілген СК-і модуляциясы амплитудасының бірқалыпты өзгеруін айтады [4]. Осылайша, келтірілген СК-нің Гаусстық майысқан профилін қолдану арқылы ТБТ-ы негізгі резонанстың ұзын толқын ұзындықтары жағындағы бүйірлік максимумдарды жоюға мүмкіндік береді. Қысқа толқын ұзындықтары жағында бүйірлік максимумдардың болуы тордағы орташа индукцияланған СК-нің өзгеруіне байланысты болып табылады; тордың барлық ұзындығы бойынша олардың шамасын тұрақты ұстау мүмкін болса, онда оларды да жоюға болады [5].

Қазіргі заманғы талшықты-оптикалық байланыс желілеріндегі жарық импульстарының уақытша дисперсиясын өтеу үшін резонанстық толқын ұзындығы желілердің барлық ұзындығы бойымен үздіксіз немесе сатылы түрде өзгертін торлар үлкен қызығушылық тудырады. Мұндай чирпирленген торлар шағылудың/өткізудің кең спектріне (100 нм жоғары) немесе үлкен дисперсияға (1000 пс/нм астам) ие. Осы типтегі торларды жазу тордың ұзындығы бойынша негізгі моданың келтірілген СК-нің немесе эффективті СК-нің модуляция периодын өзгерту арқылы жүзеге асырылады [6].

Талшықты Брэгг торларының бір импульсті және көп импульсті жазбасы

Ұзақ экспозиция кезінде ТБТ-ын жазудың заманауи әдістері кез-келген параметрлерге ие дифракциялық құрылымдар жасауға мүмкіндік берсе, көп импульсті торларды жасау әдісі бір импульсті жазу арқылы ОТ-ты созу процесі кезінде ТБТ массивтерін құруға мүмкіндік бермейді.

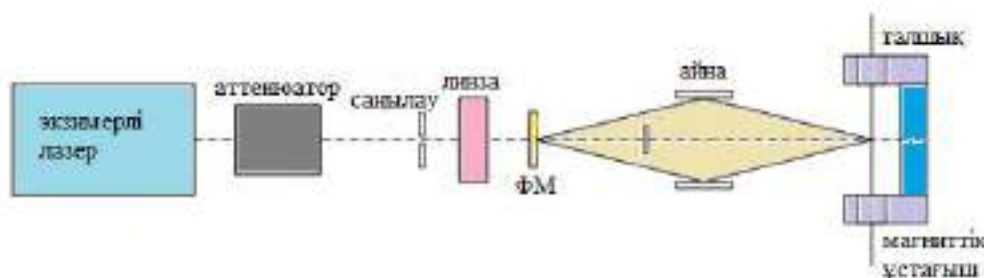
Фазалық маска және интерферометриялық әдіспен торларды бір импульсті және көп импульсті жазу әдістері схемаларының мысалдарын 6-7 суреттерден көруге болады.



Сурет 3. Фазалық маска әдісімен ТБТ жазудың сұлбасы

«Coherent Compex 102» эксимер лазері (KrF газ қоспасы), сурет 3, 20 Гц жиіліктегі 248 нм толқын ұзындығында 1 нс импульстер шығарады. Орнатылған ысырмасы бар аттенюатор лазер тұрақты жұмыс режиміне шығарылған кезде импульстардың ішінен бір импульсті бөліп алуға мүмкіндік береді. Цилиндрлік линза қажетті энергия тығыздығына жету үшін лазер сәулесін осьтердің біріне бағыттайды. Саңылау талшықтың сәуле түсетін бөлігінің өлшемін өзгертуге мүмкіндік береді, осылайша ТБТ ұзындығын, демек оның спектрлік сипаттамаларын өзгертуге мүмкіндік бар.

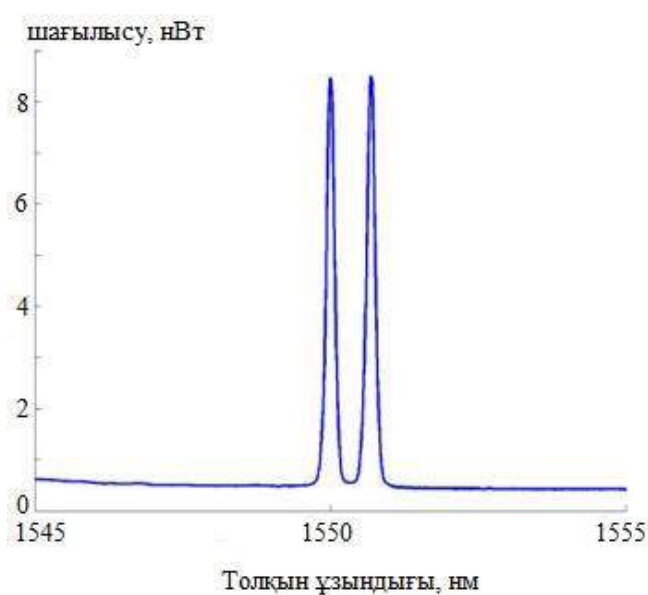
3 суреттегі сұлбада «Тальбот» интерферометрі және «Coherent Compex 150 T» эксимерлі лазері қолданылады (бұл лазерлік жүйе Compex 102 эксимер лазерімен салыстырғанда жақсы сәулелік сипаттамаларға ие, импульстен импульске дейінгі энергия тұрақтылығы, сонымен қатар кеңістіктік және уақыттық когеренттіліктің ұзындығы арттырылған [8]).



Сурет 4. Интерферометриялық әдісімен ТБТ жазудың сұлбасы

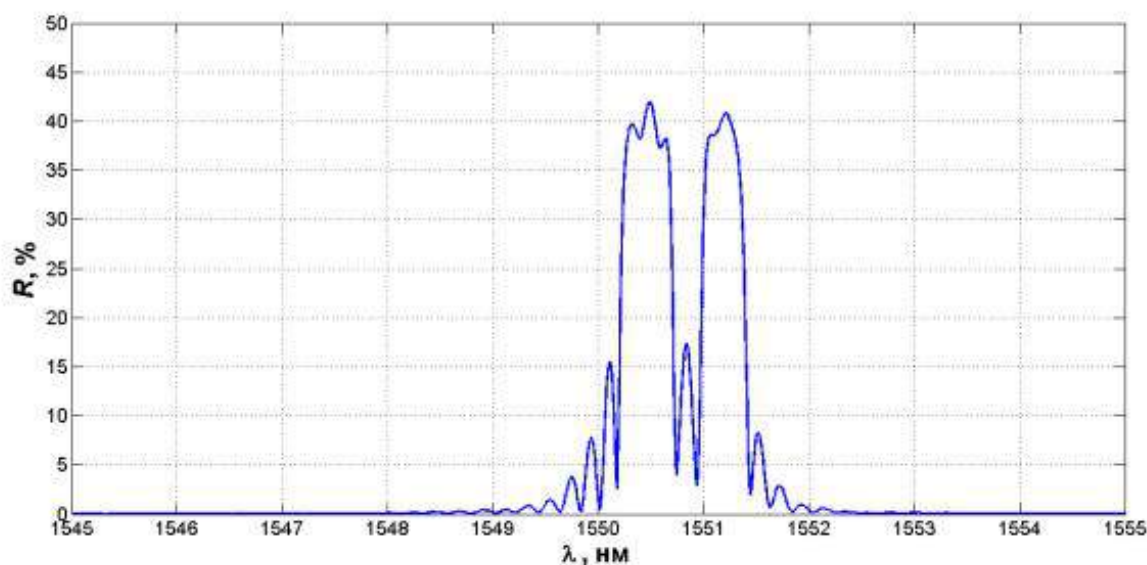
Фазалық маска әдісімен (сурет 3) KrF эксимер лазерінің жалғыз импульсімен жазылған I типті ТБТ-дың шағылу спектрі 5 суретте көрсетілген. Тор құрамында GeO_2 18 мол% болатын эллиптикалық кергіш қабығы бар екі сыну көрсеткіші бар ОТ-та жазылған. Шағылу коэффициенті $\sim 2\%$ және жартылай биіктіктегі шағылу шегінің шамасы шамамен 0,1 нм құрайды. Ұсынылған ТБТ оптикалық талшықта энергия тығыздығы $\sim 400 \text{ мДж/см}^2$ эксимер лазерінің 20 нс импульстерімен жазылды.

5 суретте шағылудың екі шегінің болуы тордың екі сәулелі сыну көрсеткіші бар ОТ-та индукциялануына байланысты. Анизотропты талшықтың таңдалған осьтерінің әрқайсысы үшін тиімді СК-і әртүрлі болғандықтан, Брэгг резонансының толқын ұзындығы шағылдырушы сетовод осы бойымен тез және баяу таралатын сәуле үшін әртүрлі болады.



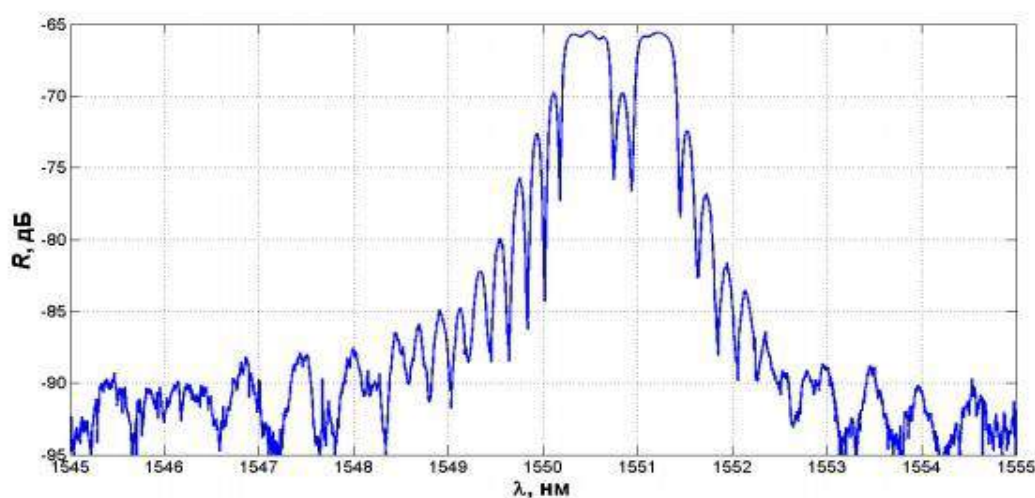
Сурет 5. Бір импульспен жазылған I типті ТБТ-дың шағылу спектрі

Интерферометриялық әдіспен (4 сурет) KrF эксимерлі лазермен ұзақ экспозиция кезінде жазылған I типті ТБТ-дың шағылу спектрі 6 суретте көрсетілген. Тор құрамында GeO_2 12 моль% болатын эллиптикалық кергіш қабықшасы бар екі сыну көрсеткіші бар ОТ-та жазылған. Экспозиция уақыты -1 сағатты құрайды. Шағылу коэффициенті $\sim 42\%$, жартылай биіктіктегі шағылу шектерінің мәні шамамен 0,5 нм құрайды.



Сурет 6. Ұзақ экспозиция кезінде жазылған
I типті ТБТ-дың шағылу спектрі (сызықтық шкала)

7 суретте дәл сол ТБТ-дың шағылу спектрі логарифмдік шкалада берілген.



Сурет 7. Ұзақ экспозиция кезінде жазылған
I типті ТБТ-дың шағылу спектрі (логарифмдік шкала)

Қорытынды

Мақалада Брэгг торына зерттеу және модельдеу жұмыстарын ұйымдастыруда Брэгг торын маңыздылығы қарастырылды. Брэгг торының басқа оптикалық талшықты сенсорлардан ерекшеліктері мен артықшылықтары туралы мәліметтер келтірілді. Брэгг торының негізгі сипаттамалары, оны жасау кезінде қолданылатын негізгі параметрлердің сипаттамалары зерттелді. Брэгг торын лазерлермен жазудың (жасау) негізгі екі түрі –

фазалық маска және интерферометрлік айналар арқылы жасаудың ерекшеліктері туралы мәліметтер келтірілді. Талшықты Брэгг торларының бір импульсті және көп импульсті жазбасы қарастырылды. Экспозиция кезінде жазылған I типті ТБТ-дың шағылу спектрлері екі түрлі шкалада көрсетілді, яғни логарифмдік және сызықтық шкалалар.

Әдебиеттер тізімі

- [1] Wojcik W. Жунусов К.Х., Смайлов Н.К. «Қазіргі замандағы талшықты-оптикалық байланыс желілері мен брэгг торының температураға тәуелділігін анықтау». «Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар: білім, ғылым, тәжірибе» атты II Халықаралық ғылыми-тәжірбиелік конференцияның ЕҢБЕКТЕРІ, Алматы, Қазақстан, 3-4 желтоқсан, 2015 жыл II том С. 306-309
- [2] Waldemar Wojcik., Жунусов К.Х., Смайлов Н.К., Жетписбаев К.У., Медетов Б.Ж. «Моделирование волоконно-оптических сенсоров температуры на основе брэгговской решетки» «Весенние научные чтения» Международная мультидисциплинарная конференция, 28 апреля 2016 годаг. Киев, С. 102- 109
- [3] T.G. Giallorenzi, J.A. Bucaro, A. Dandridge, G.H. Sigel Jr, J.H. Cole, S.C.Rashleigh, R.G. Priest, Optical fiber sensor technology, IEEE J. Sel. Top.Quantum Electron. 18 (April 4) (1982) 626–665.
- [4] S. Yin, P.B. Ruffin, F.T.S. Yu (Eds.), Fiber Optic Sensor, 2nd edition, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2008.
- [5] M. Moccia, M. Pisco, A. Cutolo, V. Galdi, P. Bevilacqua, A. Cusano, Opto-acoustic behavior of quoted fiber Bragg grating, Opt. Express 19(September 20) (2011) 18842–18860.
- [6] K. Vivek, R. Rajesh, C.V. Sreehari, S. Sham Kumar, K. Shajahan, T.K. Praveen, T.Santhanakrishnan, K.P.B. Moosad, A new approach of large diameter polymer-coated fiber laser hydrophone, J. Lighwave Technol. 35 (October 19)(2017) 4097–4104.
- [7] Y.-J. Rao, In-fiber bragg grating sensors, Meas. Sci. Technol. 8 (November 4) (1997) 355–375.
- [8] T. Liu, L. Hu, M. Han, Adaptive ultrasonic sensor using a fiber ring laser with tandem fiber Bragg gratings, Opt. Lett. 39 (August 15) (2014) 4462–4465.
- [9] G.P. Agrawal, S. Radic, Phase-shifted fiber Bragg gratings and their application for wavelength demultiplexing, IEEE Photonics Technol. Lett. 6 (August 8) (1994) 995–997.

МATLAB БАҒДАРЛАМАСЫ ОРТАСЫНДА СЫЗЫҚТЫҚ АНТЕННАЛАРДЫ ЗЕРТТЕУ

Р.Н. Каргулов¹, Б.А. Карибаев², О.А. Мананкова³

«Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті», Алматы,
Қазақстан Республикасы

¹ra.kargulov@aes.kz, ²b.karibayev@aes.kz, ³o.manankova@aes.kz

Аңдатпа. Ғылыми мақалада MatLAB бағдарламасы ортасында сызықтық антенналар құрылып, олардың сипаттамалары алынып және олардың матлаб бағдарламасындағы түр-келбеті және конструктивті құрылысы қарастырылып, зерттелді.

Сызықтық антенналар ішінде монопольді, дипольді және Яги–Уда антенналары зерттеліп, қарастырылды. Антенналардың алдымен матлаб бағдарламасындағы көрінісі мен конструктивті құрылысы show командасын енгізу арқылы қарастырылды. Келесі болып антенналардың импедансы немесе антеннаның кіріс кедергісі, олардың бағытталу диаграммасы және азимуттық, бұрыштық бағытталу диаграммалары, кері жоғалтулардың жиілікке тәуелділігі мәні, тұратын толқын коэффициенті, поляризациясы және кешенді көрсетілетін S параметрлері зерттелді. Әр антеннаның параметрлері құрылысына, жұмыс істеу жиілігіне байланысты оның сипаттамалары да әртүрлі болады.

Кілт сөздер: MatLAB, Antenna Designer, антенна, монопольді антенна, дипольді антенна, Яги–Уда антеннасы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ АНТЕНН В СРЕДЕ MATLAB

Р.Н. Каргулов¹, Б.А. Карибаев², О.А. Мананкова³

«Алматинский университет энергетики и связи им.Гумарбека Даукеева», Алматы,
Республика Казахстан

¹ra.kargulov@aes.kz, ²b.karibayev@aes.kz, ³o.manankova@aes.kz

Аннотация. В научной статье были разработаны и исследованы линейные антенны в среде программы MatLAB, взяты их характеристики и рассмотрен их вид и конструктивное построение в программе MATLAB.

Среди линейных антенн были исследованы и рассмотрены монопольные, дипольные и антенны Яги–Уда. Внешний вид и конструктивное построение антенн в программе матлаб рассматривались путем введения команды show. Далее были изучены импеданс антенн или входное сопротивление антенны, диаграмма их направленности и азимутальные, угловые диаграммы направленности, значения частотной зависимости обратных потерь, волновой коэффициент, поляризация и комплексно отображаемые параметры S . В зависимости от конструкции параметров, частоты работы каждой антенны, ее характеристики также будут отличаться.

Ключевые слова: MatLAB, Antenna Designer, антенна, монопольная антенна, дипольная антенна, антенна Яги–Уда.

INVESTIGATION OF LINEAR ANTENNAS IN THE MATLAB ENVIRONMENT

R.N. Kargulov¹, B.A. Karibaev², O.A. Manankova³

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev

¹ra.kargulov@aes.kz, ²b.karibayev@aes.kz, ³o.manankova@aes.kz

Abstract. *In the scientific article, linear antennas were created in the MATLAB program environment, their characteristics were obtained and their appearance and constructive construction in the MATLAB program was considered and studied.*

In linear antennas, monopole, Dipole and Yagi-Uda antennas were studied and considered. The appearance and constructive construction of the antennas first in the MATLAB program was considered by introducing the show command. Next, the impedance of the antennas or the input impedance of the antenna, their orientation diagram and azimuth, angular orientation diagrams, the value of the frequency dependence of the inverse losses, consisting of the wave coefficient, polarization and parameters s with a complex representation were studied. The parameters of each antenna, depending on the construction, frequency of Operation, its characteristics will also be different.

Keywords: *MatLAB, Antenna Designer, antenna, monopole antenna, dipole antenna, Yagi-Uda antenna.*

Kipicne

Антенналардың негізгі және басты мақсаты - электромагниттік толқындарды кеңістік бойынша тарату және оны қабылдау.

Антенна деп - бағытталған электромагниттік толқындарды, яғни электр тогының тербелістерін радиотолқындарға, және де бұл құбылысты керісінше, радиотолқындарды басқарылатын электромагниттік толқындарға түрлендіруді жүзеге асыратын электрлік құрылғы. [1]

Антенна күрделі радиожүйелердің пассивті компоненттеріне жатады, сонымен қатар құрылымдық жағынан олар өткізгіштер мен магнитодиэлектриктердің қосылысын білдіреді. Тағы да айта кетерлік нәрсе, антенналар радиотолқындардың таратылуымен және қабылдауымен қатар радиосигналдарды кеңістіктікте сүзу функцияларын орындай алатындығын атап өткен жөн, осылайша радиожүйелер әрекетінің бағытталуын қамтамасыз етеді және радио сәулелену көздерін пеленгациялауды жүзеге асырады.

Сызықтық антенналар - бұл антенналар, олардың ерекшелігі-сызықтық антенналарда токтар бойлық өлшемдермен және толқын ұзындығымен салыстырғанда тар болады. Қарапайым сөзбен айтқанда, сызықтық антенна-айнымалы жоғары жиілікті ток өткізетін өткізгіш, ал өткізгіштің көлденең мөлшері толқын ұзындығынан әлдеқайда аз [4].

Сызықтық антенналар келесі сипаттамаларға сәйкес жіктеледі:

- Өткізгіштегі ток режимі бойынша: ток толқынының жүгіру режимімен және токтың тұрақты толқын режимімен;

- Түрі бойынша: жақтаулы, саңылаулы, дірілдеткіш және сым.

Зерттеу үшін сызықты антенналардың ішінен монополды, дипольді және Яги-Уда антенналары таңдалды. антенналардың сыртқы түрі мен дизайны Matlab бағдарламасында жасалған.

Монопольді антенна көбінесе резонанстық антенна ретінде қолданылады; түтікше ұзындығы бойынша кернеу мен ток толқындарымен тербеліп, радио толқындары үшін ашық резонатор ретінде жұмыс істейді. Сондықтан антеннаның ұзындығы ол

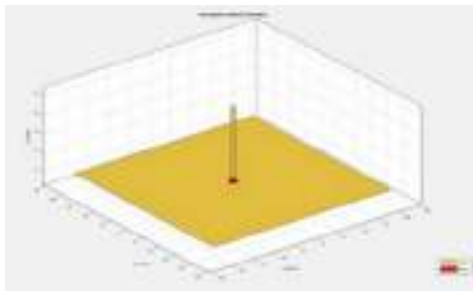
қолданылатын радио толқындарының толқын ұзындығымен анықталады. Ең көп таралған түрі - ширек толқынды монопольді антенна, онда антенна радиотолқындардың толқын ұзындығының төрттен бірін құрайды. [2]

Диполь – теориялық тұрғыдан антеннаның қарапайым түрі. Көбінесе ол басынан аяғына дейін бағытталған, бірдей ұзындықтағы екі өткізгіштен тұрады, олардың арасында белгілі байланыс болады. Дипольді антенналар көбінесе резонанстық антенналар ретінде кеңінен қолданылады. Егер бұндай антеннаның берілу нүктесі қысқаратын болса, онда ол белгілі бір жиілікте резонанс тудыруы мүмкін, мысалы, шертілетін домбыра шегі сияқты. [3]

Яги-Уда антеннасы немесе жәй ғана Яги антеннасы - бұл «соңғы-от» торындағы екі немесе одан да көп параллель резонанстық антенна элементтерінен тұратын бағытталған антенна; бұл элементтер көбінесе жартылай толқындық диполь ретінде әрекет ететін металл түтіктер болып табылады. Яги-Уда антенналары радиотаратқышқа және/немесе қабылдағышқа тарату желісі арқылы қосылған тізбектей қосылып, орналасқан элементтерден және электр байланысы жоқ қосымша "пассивті эмитенттерден" тұрады, олар әдетте бір рефлектор мен директорлардың кез-келген санын қамтиды [4].

Негізгі бөлім

MatLAB бағдарламасы зерттеу жұмыстарын, симмуляциялау және эмитациялауға өте икемді, оңтайлы болып табылады деуге болады, себебі зерттеу жұмыстары бір бағытта емес, бірнеше бағытта жасалуы мүмкін, яғни матлаб бағдарламасының плагиндерін қолдана отырып, зерттеу жұмысын бірнеше жақтан өткізуге болады. Ғылыми мақаланың жазылу барысында матлабтың бірнеше плагині қолданылды, олар Antenna ToolBox, Antenna Design және де ең көп қолданылатыны ол Simulink эмуляциялау-симмуляциялау плагині болды.



а) Монопольді антеннаның



ә) Дипольді антенна



б) Яги–Уда антенна

Сурет 1. Матлаб бағдарламасы терезесіндегі көрінісі (show командасы)

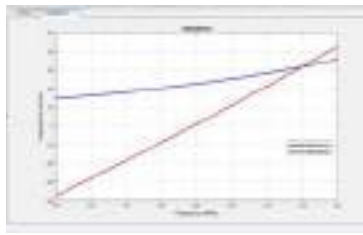
Антенналардың тандалған түрі үшін кедергі мәні 1 формула бойынша есептеледі және 2-суретте көрсетілген.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (1)$$

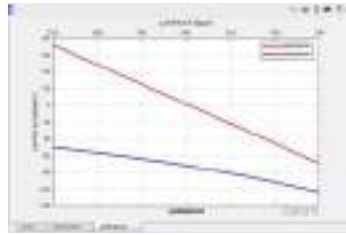
$$Z_M = \sqrt{30^2 + 30^2} = 42,43 \text{ (Ом)}.$$

$$Z_D = \sqrt{20^2 + 80^2} = 82,46 \text{ (Ом)}.$$

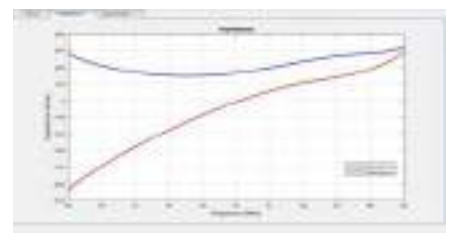
$$Z_{Y-U} = \sqrt{100^2 + 220^2} = 241,661 \text{ (Ом)}.$$



а)



э)



б)

Сурет 2. Антеннаның импедансы (а) Монопольді антеннаның, э) Дипольді антенна, б) Яги–Уда антенна)

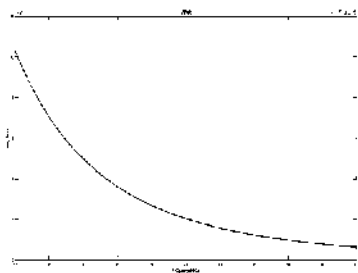
Зерттелетін антенналардың кернеуінің тұрақты толқындарының қатынасы 2 формула бойынша есептеледі. Модельдеу нәтижелері 2-суретте көрсетілген.

$$\Gamma = \frac{U_{max}}{U_{min}} \text{ немесе } \Gamma = \frac{\rho}{Z_{жүктеме}}, \quad (2)$$

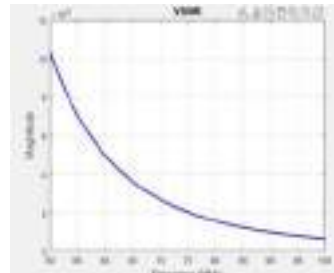
$$\Gamma_M = \frac{140 \cdot 10^6}{75 \cdot 10^6} = 1,87.$$

$$\Gamma_{\partial} = \frac{140 \cdot 10^6}{80 \cdot 10^6} = 1,75.$$

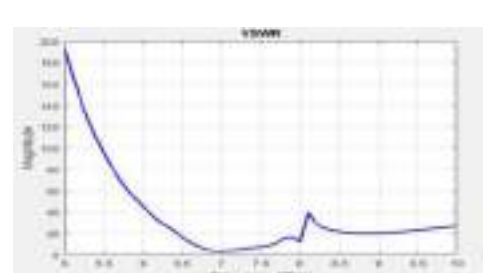
$$\Gamma_{я-у} = \frac{150 \cdot 10^9}{70 \cdot 10^9} = 2,14.$$



а)



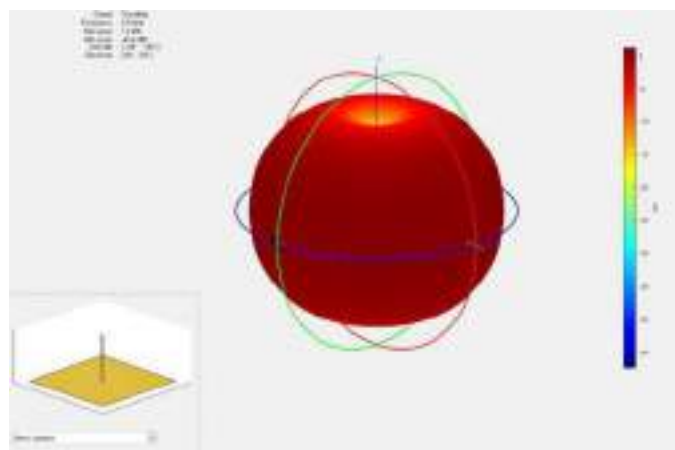
э)



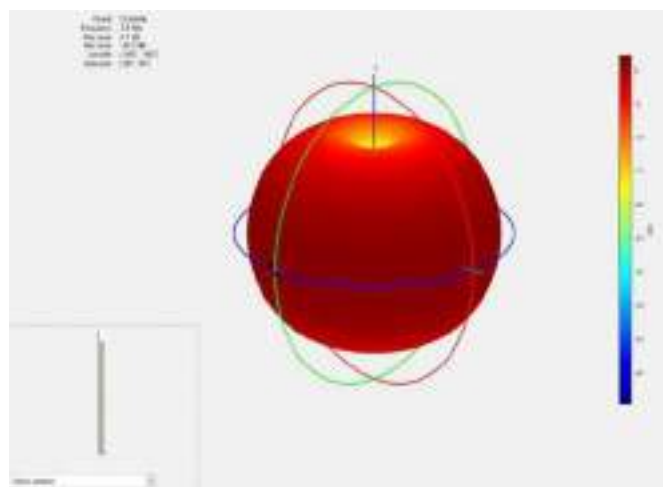
б)

Сурет 3. Антеннаның кернеуінің тұрақты толқын коэффициенті: а) Монопольді антенна, э) Дипольді антенна, б) Яги–Уда антенна

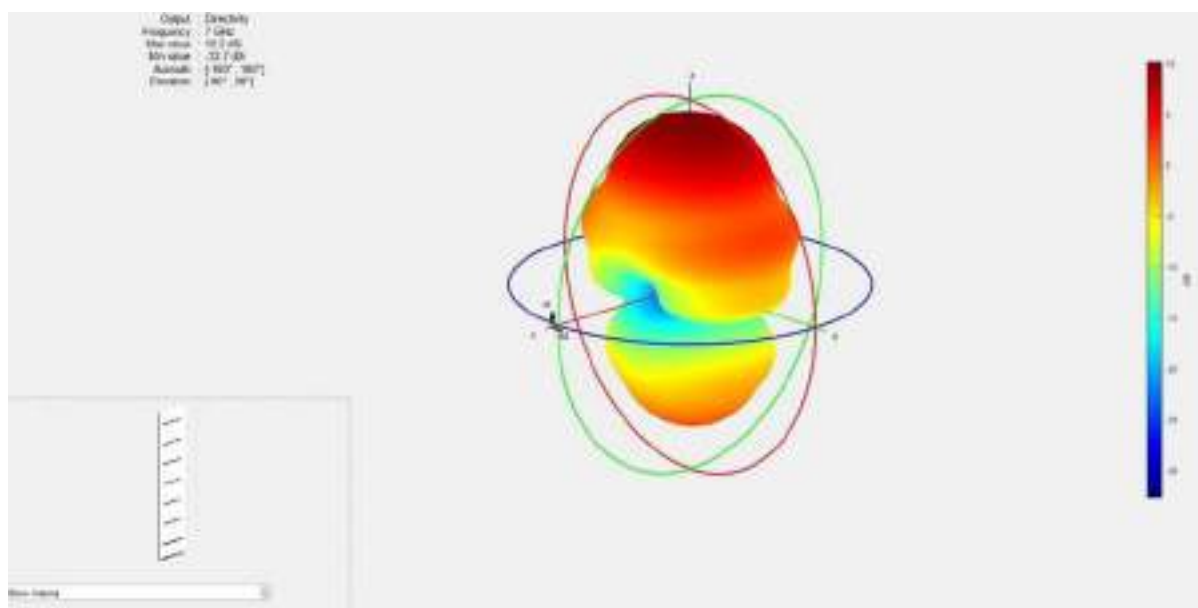
Зерттелетін антенналардың бағытталу диаграммалары 4-6-суреттерде көрсетілген.



Сурет 4. Монопольді антеннаның бағытталу диаграммасы



Сурет 5. Дипольді антеннаның бағытталу диаграммасы



Сурет 6. Яги–Уда антеннасының бағытталу диаграммасы

Талқылау

Жоғарыда аталып, қарастырылып өткен антенналар бір типі антенналар болып табылады. Олардың біраз параметрлері өзара ұқсас болып табылады. Алайда, әрбір антенна әртүрлі салада қолданыста болған. Монопольді антенна Wi-Fi роутерларында, дипольді антенна телевизорларға тікелей жалғанып, үйде қолданылатын антенна, Яги-Уда антеннасы дипольді антенна секілді қолданыста болды, алайда оны үйдін сыртында орналастыру қолайлы болып табылған. Қорыта келе қай антенна болмасын өзіндік қолданыс шеңберінде ғана қолданылады, оларда бар кемшіліктер басқа антенналарда болмайды, яғни антенналар әлі де даму үстінде.

Қорытынды

Ғылыми мақала MatLAB бағдарламасын қолдану арқылы, сызықты антенналар зерттеліп, олардың сипаттамалары алынды. Қарастырылған антенналардың құрылыстары әртүрлі болғандықтан олардың сипаттамаларында өзгерістер болды. Алайда бұл антенналар бір типе жататындықтан, қатты айырмашылықтар көзге байқалмайды.

Матлаб бағдарламасында жоғарыда аталған антенналардың құрылысымен танысып, сипаттамаларын алғаннан кейін зерттеу нәтижелері негізінде келесі ой толғау туындауы заңды. Ол ойталғау келесідей, қандай антенна болса да, қандай мақсатқа болса да, әрбі антеннаны оңтайлы баптауға, оңтайлы жасап шығаруға болады. Тек қана бір бірақ деген бар, бір антенна барлық жағынан универсалды бола алмайды, антенналар өзінің форм факторы бойынша көптеген артықшылықтарға ие болса, енді кейбір антенналардың потенциялын ашу үшін таратқыштың қуатын арттыру керек болып жатады, кейбір жағдайларда бұл іс-әрекет өзін ақтауы мүмкін, ал кей жағдайда басқа антеннаны алған жөн болады, мысалы спутниктік антеннаның орнына басқа антенналарды қолдану дұрыс шешім болмайды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] Poisel, Richard (2012). Antenna Systems and Electronic Warfare Applications. Artech House. p. 223. ISBN 9781608074846 – via Google Books.
- [2] Bevelacqua, Peter J. (2016). «The Monopole Antenna». Antenna Types. Antenna-Theory.com website. Retrieved 20 August 2020.
- [3] «Dipole Antenna/Aerial tutorial». Resources. Radio-Electronics.com. Adrio Communications, Ltd. 2011. Retrieved 29 April 2013.
- [4] «What Is a Yagi Antenna?». wiseGEEK website. Conjecture Corp. 2014. Retrieved 18 September 2014.
- [5] <https://matlab.mathworks.com/>

АНАЛИЗ МЕТОДА ФАЗОВРАЩАТЕЛЯ ДЛЯ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Кожахметова Багдат Абдурашидовна¹, Чежимбаева Катипа Сламбаевна², Самсоненко
Анатолий Иванович³

^{1,2} НАО «Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева»,
г. Алматы, Республика Казахстан

³ ДТОО «Институт космической техники и технологий», г. Алматы, Республика
Казахстан

[1kozahmetova.ba@gmail.com](mailto:kozahmetova.ba@gmail.com), [2katipa67@yandex.ru](mailto:katipa67@yandex.ru), [3anatolly.sam@yandex.ru](mailto:anatolly.sam@yandex.ru)

Аннотация. ЦЕЛЬ. В данной статье рассматриваются вопросы разработки конструкции фазовращателя фазированной антенной решетки (ФАР). Антенны ФАР наиболее перспективные и актуальные антенные системы. На сегодняшний день ФАР нашли применение в системах мобильной связи, на базовых станциях 5G, в системах спутниковой связи, в радиолокации. ФАР конструктивно состоит из решетки не одновременно излучающих антенн. С помощью группы фазовращателей ФАР формируется необходимый фазовый сдвиг, который в свою очередь вызывает наклон луча. Современные ФАР, которые работают в диапазоне сверх высоких частот (СВЧ) и высоких частот (ВЧ) пользуются большей популярностью, ввиду их способности управлять электромагнитной волной в пространстве без физического перемещения всех элементов антенны, так называемого электрического сканирования, что в свою очередь позволяет быстро перенаправлять сигнал и фронт его волны. Изменение направления достигается с помощью системой управления фазой сигнала в антенне. В современной радиоаппаратуре используются фазовращатели с электронным управлением выполненные на основе ферритовых материалов, микроэлектромеханических систем (МЭМС-переключатели), а также полупроводниковых компонентов, таких как PIN-диоды, полевые транзисторы, монолитные интегральные схемы. МЕТОДЫ. В работе используются методы математического и компьютерного моделирования при расчете фазовращателя, а также анализ фрактальных излучателей

РЕЗУЛЬТАТЫ. В данной работе для рассматривается разработка фазовращателя в виде коммутатора, в основе которого лежит PIN-диод. Тип используемого коммутатора НМС241АQS16. Рассматриваемая конструкция фазовращателя формирует 3 луча антенны. Фазовый сдвиг формируется с помощью коммутаторов и линии задержек. В работе приведены расчеты длины отрезков линий фазовращателя. С помощью программы трассировки печатных плат «LayOut», была

произведена трассировка верхнего и нижнего слоя платы модуля фазовращателя. Также в работе рассматриваются примеры использования фрактальных излучателей в антенных решетках, их преимущества использования по сравнению с другими антеннами.

Ключевые слова: антенная решетка, фазовращатель, фрактал, коммутатор, фазовый сдвиг, фрактал Коха, p - i - n диод

ANALYSIS OF THE PHASE SHIFTER METHOD FOR A PHASED ARRAY ANTENNA

Kozhakhmetova Bagdat Abdurashidovna¹, Chezhimbaeva Katipa Slambayevna², Samsonenko Anatolly Ivanovich³

^{1,2} Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Republic of Kazakhstan

³ Institute of Space Engineering and Technology, Almaty, Republic of Kazakhstan
kozahmetova.ba@gmail.com, katipa67@yandex.ru, anatolly.sam@yandex.ru

Abstract. *THE PURPOSE.* This article discusses the development of the design of the phased antenna array (PAA) phase shifter. PAA antennas are the most promising and relevant antenna systems. To date, the PAA have found application in mobile communication systems, at 5G base stations, in satellite communication systems, and in radiolocation. The PAA structurally consists of a grid of non-simultaneously emitting antennas. With the help of a group of phase shifters, the necessary phase shift is formed, which in turn causes the beam to tilt. Modern PAA that operate in the range of ultra-high frequencies (UHF) and high frequencies (HF) are more popular, due to their ability to control an electromagnetic wave in space without physically moving all elements of the antenna, the so-called electric scanning, which in turn allows you to quickly redirect the signal and its wave front. The change of direction is achieved by using the phase control system of the signal in the antenna. Modern radio equipment uses electronically controlled phase shifters made on the basis of ferrite materials, microelectromechanical systems (MEMS switches), as well as semiconductor components such as PIN diodes, field-effect transistors, monolithic integrated circuits. *METHODS.* The methods of mathematical and computer modeling are used in the calculation of the phase shifter, and as well as the analysis of fractal emitters

RESULT. In this paper, we consider the development of a phase shifter in the form of a switch based on a PIN diode. The type of switch used is HMC241AQS16. The considered design of the phase shifter forms 3 antenna beams. The phase shift is formed using switches and a delay line. The paper presents calculations of the length of the segments of the phase shifter lines. With the help of the PCB tracing program "LayOut", the upper and lower layers

of the phase shifter module board were traced. The paper also discusses examples of the use of fractal radiators in antenna arrays, their advantages in comparison with other antennas.

Keywords: *antenna array, phase shifter, fractal, commutator, phase shift, Koch fractal, p-i-n diode*

Введение.

Фазированные антенные решетки (ФАР) на сегодняшний день являются перспективными антенными системами в виду его улучшенных характеристик. В данной антенной системе имеется множество излучающих элементов, которые позволяют повысить энергетический потенциал антенны, а также получить узкую диаграмму направленности, по сравнению с единичным излучателем. Преимуществом АФАР является то, что к каждому излучателю антенной решетки подключается активный элемент в виде генератора, усилителя мощности или преобразователя частоты [1].

Основным элементом, который формирует необходимый фазовый сдвиг в ФАР, является фазовращатель. Бывают фазовращатели двух видов: аналоговые и дискретные, имеющие свои преимущества и недостатки. В данной статье для рассматривается разработка фазовращателя в виде коммутатора, который позволяет управлять лучом антенны с помощью операций включения и выключения излучателей. Коммутационный фазовращатель является одним из вариантов дискретного фазовращателя. Активным элементом коммутационного фазовращателя является полупроводниковый ключ, в основе которого лежит полупроводниковый p-i-n диод или транзистор [2].

Рассматриваемая антенна состоит из четырех излучателей. В цепи каждого излучателя содержится по 2 коммутатора, которые формируют необходимый фазовый сдвиг антенны. Коммутаторы переключаются на 3 направления, что в свою очередь позволяет сформировать 3 луча антенны. Блок управления подает команды каждому коммутатору для включения его в одно из трех состояний, и формируют требуемое распределение фаз на излучателях. Формирование фронта волны антенны представлена на рисунке 1.

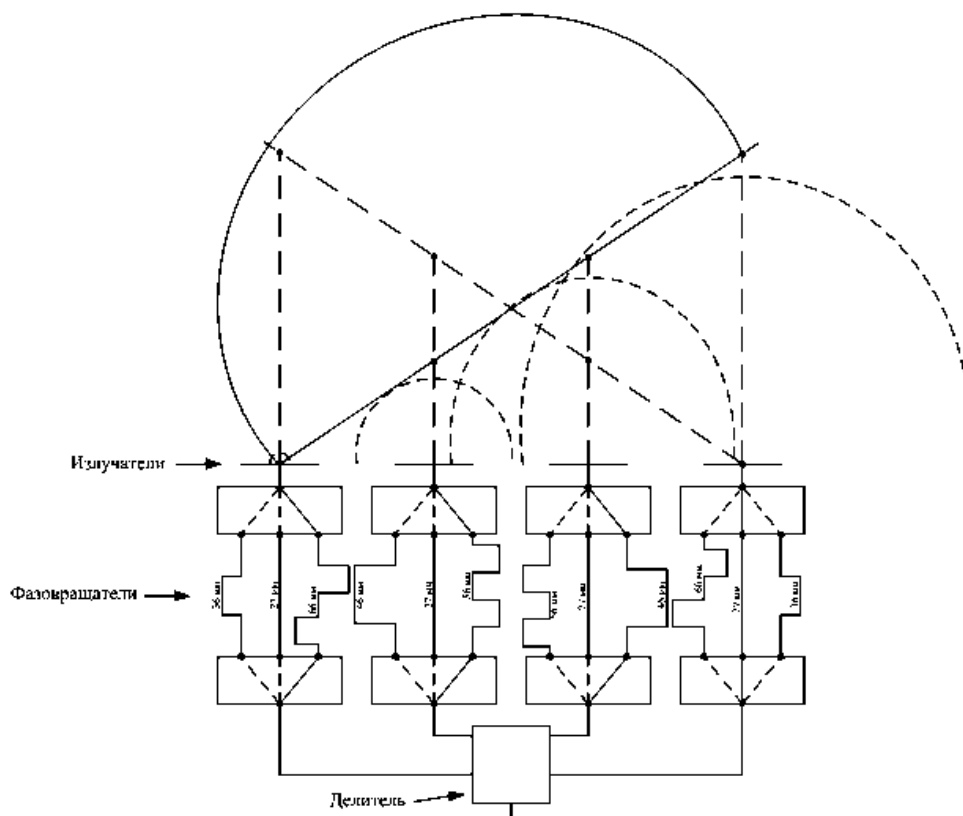


Рис. 1 – Схема формирования фронта волны АФАР

Выбор размеров антенной решетки выбирается согласно [1]:

$$\begin{cases} d_x \leq \frac{\lambda}{1 + \sin(\theta_{max}^x)}, \\ d_y \leq \frac{\lambda}{1 + \sin(\theta_{max}^y)}, \end{cases} \quad (1)$$

где d_x, d_y – расстояние между излучателями в азимутальной и угломестной плоскости;

λ – длина волны излучения;

θ – азимут.

Разработка конструкции модуля фазовращателя

Из-за своей простоты и низкой стоимости для антенны были выбран полупроводниковые фазовращатели. По принципу действия они могут быть разделены на три основные группы: с переключаемыми отрезками линий, отражательные с устройствами разделения падающей и отраженной волн и типа периодически нагруженной линии.

Наиболее простыми по принципу действия являются фазовращатели на переключаемых отрезках линий, где разница в электрической длине отрезков линий соответствует фазовому сдвигу $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$. К преимуществам фазовращателей этой

группы относятся практически одинаковые потери при обоих значениях фазовой задержки и удобство схемы для микрополоскового исполнения, а к недостаткам - относительно большое число диодов.

Для работы был выбран вид полупроводниковых фазовращателей. Длина отрезков линии рассчитываются по формуле:

$$L = l + \frac{\lambda_g}{n}$$

где l – длина центрального отрезка линии;

λ_g – длина волны в линии;

n – натуральные числа.

Длину волны в линии передачи рассчитывается по формуле:

$$\lambda_g = \frac{360}{\sqrt{4}} = 180 \text{ мм}$$

Далее определяется значения n чтобы задержки в фазе были равны 20, 40, 60, 80°. Тогда длина отрезков для первого фазовращателя будет равно:

$$L_1 = 26 + \frac{180}{18} = 36 \text{ мм};$$

$$L_2 = 26 \text{ мм};$$

$$L_3 = 26 + \frac{180}{4,5} = 66 \text{ мм};$$

Так значениями n будут числа 18, 9, 6, 4.5. В таблице 1 показаны расчетные длины отрезков линии остальных фазовращателей.

Таблица 1

Длины отрезков линии фазовращателей

Дорожка	Фазовращатель № 1	Фазовращатель № 2	Фазовращатель № 3	Фазовращатель № 4
№1	36 мм	46 мм	56 мм	66 мм
№2	26 мм	26 мм	26 мм	26 мм
№3	66 мм	56 мм	46 мм	36 мм

Линии задержки различной длины обеспечивают фазовые сдвиги 20, 40, 60, 80° при одновременном переключении на первую дорожку, и сдвиги 80, 60, 40, 20° при переключении на третью.

При этом угол Θ определяется выражением:

$$2\pi d \sin \Theta = \Delta \phi \lambda \quad (2)$$

где d – расстояние между элементами АР;

$\Delta \phi$ – разность фаз возбуждения соседних элементов;

λ – длина волны.

Подставляя значения под формулу (2) рассчитывается угол фронта относительно нормали:

$$\sin \Theta = \frac{\Delta \phi \lambda}{2\pi d} = \frac{\frac{\pi}{9} \times 360}{2\pi \times 80} = 0,25$$

$$\Theta = \arcsin(0,25) = 14^\circ$$

Схематическое представление фронта волны ФАР представлено на рисунке 2.

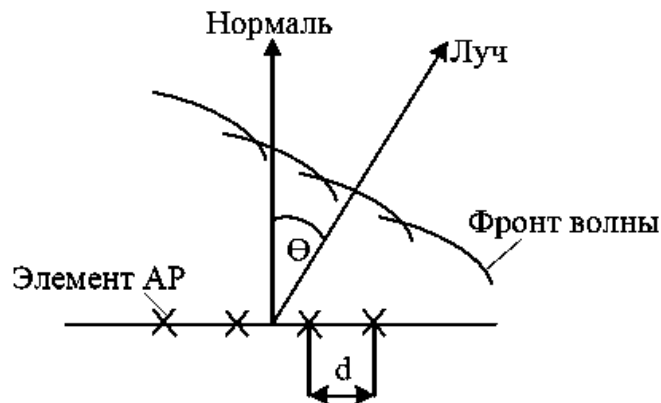


Рис. 2 – Схематическое представление фронта волны ФАР

Трассировка модуля печатной платы происходила в программе «LayOut» и проведена в двух слоях представленной на рисунке 3.

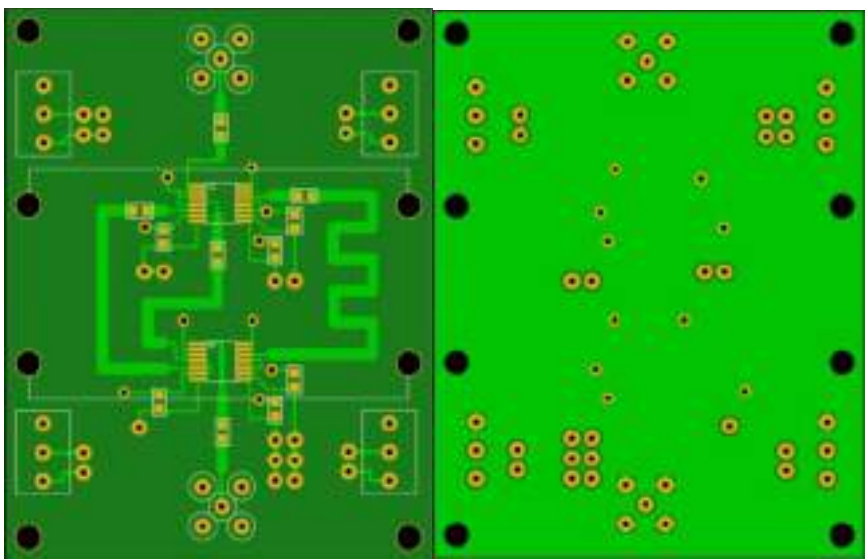


Рис. 3 - Топология верхнего и нижнего слоя платы

Коммутационный фазовращатель, выполненный на базе полупроводниковых PIN-диодов, маркировкой HMC241AQS16 SP4T представлен на рисунке 4.

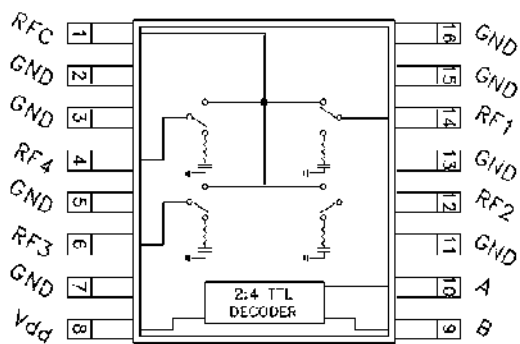


Рис. 4 - Схема коммутатора HMC241AQS16

В таблице 2 указана конфигурация выводов коммутатора HMC241AQS16

Таблица 2

Конфигурация выводов коммутатора

№ вывода	Наименование	Функция
1,4,6,12,14	RF4, RF3, RF2,RF1, RFC	ВЧ вх/вых
2,3,5,7,11,13,15,16	GND	Заземление
8	Vdd	Питание
9	B	Управляющий вход
10	A	Управляющий вход

После монтажа всех элементов фазовращателя, необходимо сделать защитный экран для предотвращения электромагнитных воздействии извне. Готовый фазовращатель представлен на рисунке 5.

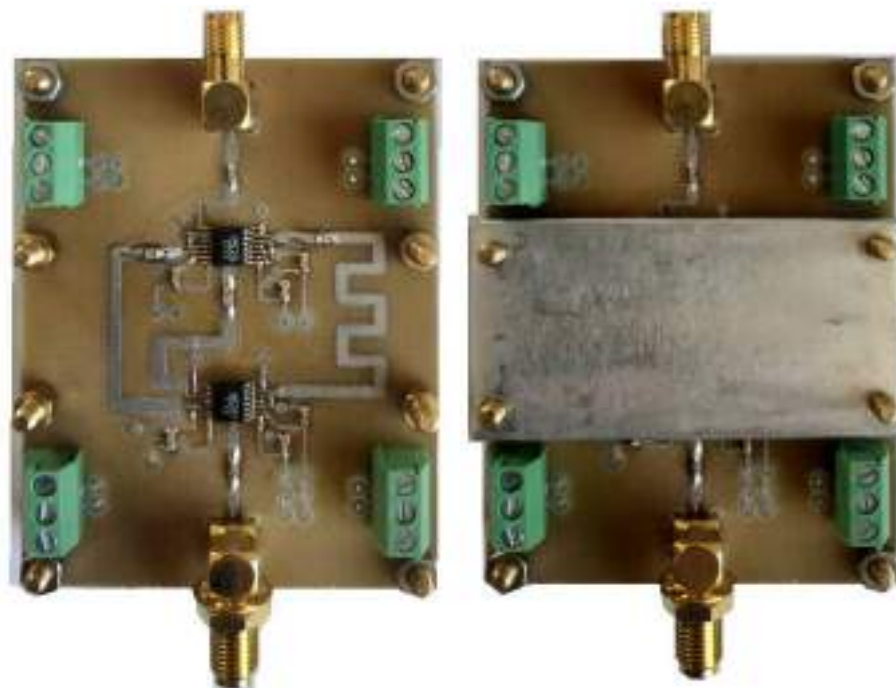


Рис. 5 – Готовый фазовращатель без и с защитным экраном

Таким образом, разработанная конструкция коммутационного фазовращателя позволяет сформировать 3 луча антенны, переключаясь на 3 направления. Данный тип фазовращателя является основным элементом макета фазированной антенной решетки предназначенный для учебных и научных целей.

Однако, на сегодняшний день также особый интерес вызывают антенны на базе фрактальных излучателей. Фрактальные антенны являются относительно новым направлением в антенной технике [3]. Особенностью фрактальных антенн является свойство самоподобия, предполагающей подобное деление кривой или подобных сегментов фигуры активной части антенны.

Фрактальная геометрия использовалась для моделирования сложных природных объектов, таких как облака, береговые линии и т.д. В последние годы наблюдается исследования направленные на реализации структуры фрактальной геометрии в области электромагнетизма, что привело к разработке новых инновационных конфигураций антенн, называемых «фрактальными антеннами», которые в первую очередь сосредоточены на фрактальных антенных элементах и фрактальных антенных решетках. В процессе исследований, было продемонстрировано, что, используя рекурсивную природу фракталов, в фрактальных антеннах можно наблюдать их преимущества [4].

Существуют различные количество фракталов, применяемых для конструкции антенн (треугольник Серпинского, кривая Минковского, кривая Коха, и др.). На рисунке 6 изображен фрактал Коха или также называемая, снежинка Коха - наиболее изученная конструкция фрактальных антенн

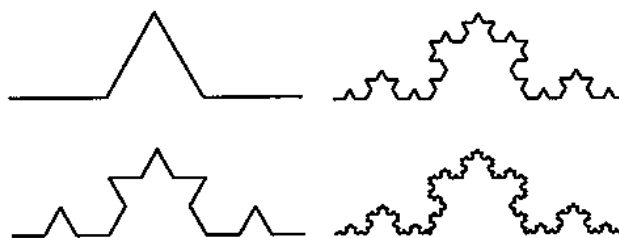


Рис. 6 – Фрактал кривая Коха

Существует достаточно большое количество работ, посвященных изучению фрактальных антенных решеток [4-8]. Так, например, в работе [4] представлена фрактальная антенная решетка для применения в нелицензируемом диапазоне частот ISM 60 ГГц. Рассматриваемая в данной работе антенная решетка выполнена с использованием фрактала Коха. Результаты моделирования фрактальной антенной решетки в программе моделирования антенн ANSYS показывают улучшение характеристик коэффициента усиления по сравнению с единичным фракталом. На рисунке 7 представлена структура антенны.

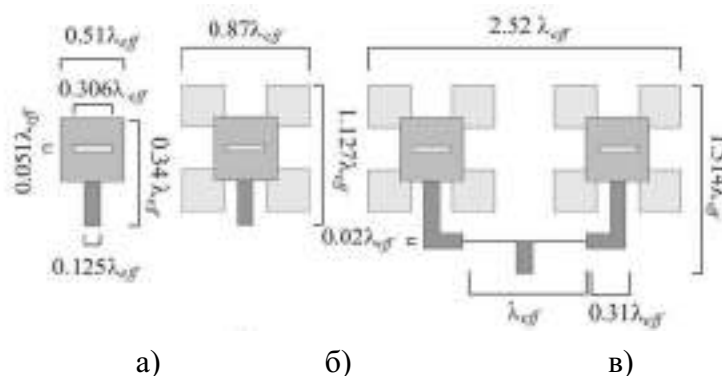


Рис. 7 – Структура антенны: а) фрактал Коха; б) фрактал Коха (итерация 1); в) антенная решетка с использованием фрактала Коха

Заключение

Таким образом, основным элементом ФАР является фазовращатель. В данной работе представлена конструкция коммутационного фазовращателя, позволяющая сформировать 3 луча антенны. Данная разработка фазовращателя позволит в учебных целях наглядно продемонстрировать принцип работы ФАР. Увеличение линий задержек

в цепи коммутатора позволит увеличить количество лучей антенны. Также дальнейшее изучение ФАР на базе фрактальных излучателей позволит выявить преимущества антенной системы.

Источники

[1] Д.И. Воскресенский // Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток: Учеб. пособие для вузов / Под редакцией Д.И. Воскресенского. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М: Радиотехника, 2012. – 744 с.

[2] В. Варадан, К. Виной, К. Джозе. // ВЧ МЭМС и их применение – М: Техносфера, 2004. – 528 с.

[3] Венская, Н. В. Перспективные конструкции фрактальных антенн для современных сетей беспроводной связи // Молодой ученый. - 2019. - № 48 (286). — С. 37-38. — URL: <https://moluch.ru/archive/286/64435/> (дата обращения: 19.09.2022).

[4] Karmakar A. Fractal antennas and arrays: a review and recent developments // International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 2020, pp.1–25. <https://doi.org/10.1017/S1759078720000963>

[5] Serres A. J. R. et al. On-Chip Koch Fractal Antenna Array for 60 GHz ISM Band Application // On-Chip Koch Fractal Antenna Array for 60 GHz ISM Band Application. – pp. 1-388–416.

[6] R. Wang, H. Sun, S. -z. Jing and Y. Fan, A Design of 5G antenna array based on fractal structure, // 2021 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP), 2021, pp. 28-29, <https://doi.org/10.1109/IMWS-AMP53428.2021.9643959>.

[7] Patanvariya D. G., Chatterjee A., Kola K. S. High-Gain and Circularly Polarized Fractal Antenna Array for Dedicated Short Range Communication Systems // Progress In Electromagnetics Research C., 2020, vol. 101, pp. 133-146.

[8] El-Khamy, S.E., EL-Sayed, H.F. & Eltrass, A.S. A New Adaptive Beamforming of Multiband Fractal Antenna Array in Strong-Jamming Environment. // Wireless Pers Commun, 2022, pp. 285–304. <https://doi.org/10.1007/s11277-022-09745-4>

БАСҚАРУ АРНАСЫНЫҢ АНТЕНАЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫНЫ ЖӘНЕ МҰЗ БАСҚАН ЖАҒДАЙЫНДА ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТЫНЫҢ ҚАБЫЛДАУ-БЕРУ МОДУЛІН ҮЙЛЕСТІРУ

Нұржауов Нұрсұлтан Ерланұлы¹, Ондырбаев Нұрболат Мырзагелдіұлы², Жұманов
Еламан Ержанұлы³, Бойкачев Павел Валерьевич⁴

^{1,2,3}Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті

⁴Учреждение образование «Военная академия Республики Беларусь» Республика
Беларусь

¹nursultan104@mail.ru, ²nurbolat01.kz@gmail.com, ³elaman.v1@gmail.com,
⁴pashapasha.boi@mail.ru

Аннотация. Басқару арнасының антенналық кедергісін, мұз қату жағдайында ұшқышсыз ұшатын аппаратты тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері берілген. Мұз қату жағдайында және онсыз ұшқышсыз ұшатын аппараттың басқару арнасының антеннасының математикалық моделі ұсынылған. Радиотехникалық жүйелерді олардың жұмыс істеуінің кең ауқымды табиғи жағдайларында әртүрлі жүктеме кедергісіне бейімдейтін кең жолақты сәйкестік құрылғыларын синтездеу әдісі көрсетілген. Мұз қату жағдайында ұшқышсыз ұшу аппаратының басқару арнасының антенналық құрылғысы үшін сәйкестік тізбегі жоқ антенна құрылғысына қатысты 25%-ға дейін ықтимал қол жеткізуге болатын радио желісі диапазонында күшейтуді қамтамасыз ететін кең жолақты сәйкестік схемасы синтезделді.

Түйін сөздер: ұшқышсыз ұшу аппараты (ҰҰК), антенналық құрылғы (АК), радио құрылғы (РҚ), тұрақты толқындар коэффициенті (ТТК), қуат беру коэффициенті (ҚБК), сәйкес құрылғы (СК), сәйкестік схемасы (СС).

COORDINATION OF THE ANTENNA DEVICE OF THE CONTROL CHANNEL AND THE RECEPTION-TRANSMISSION MODULE OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLE IN ICY CONDITIONS

Nurzauov Nursultan Erlanuly¹, Ondirbaev Nurbolat Myrzageldyuly², Zhumanov Elaman
Erzhanuly³, Boykachev Pavel Valerevich⁴

^{1,2,3}Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev

¹nursultan104@mail.ru, ²nurbolat01.kz@gmail.com, ³elaman.v1@gmail.com,
⁴pashapasha.boi@mail.ru

Abstract. The results of the experimental studies of the control channel antenna interference, the unmanned aerial vehicle in freezing conditions are presented. A mathematical model of the control channel antenna of a UAV with and without icing is presented. A method of synthesizing broadband matching devices that adapts radio engineering systems to various load impedances in a wide range of natural conditions of their operation is presented. A wideband matching scheme was synthesized for an unmanned aerial vehicle control channel antenna device in icing conditions that provides up to 25% gain in the potentially achievable radio network range relative to an antenna device without a matching circuit.

Key words: *unmanned aerial vehicle (UAV), antenna device (AD), radio device (RD), standing wave coefficient (SWC), power transfer coefficient (PTC), matching device (MD), matching circuit (MC).*

КІРІСПЕ

Қазіргі заманғы ұшқышсыз ұшатын аппараттар (ұшқышсыз ұшу аппараттары) шешілетін міндеттерге байланысты басқарудың ішкі жүйелерін, навигацияны, барлауды және т.б. кіретін күрделі жүйе болып табылады. Бұл ішкі жүйелер тұтынушылар немесе ақпарат көздері бола отырып, олардың құрамында антенналық құрылғылар (АҚ), ҰҰА басқаруын қамтамасыз ету, оператормен бейне деректермен алмасу және т.б.. Көптеген АҚ кедергісі (кіріс кешенінің кедергісі) алаңдататын әсерлерге қатты байланысты [1]. Түрлі түрдегі алаңдататын әсерлердің болуы әсіресе мобильді жүйелер үшін маңызды. Мұндай жүйелердің жарқын мысалы - ұшқышсыз ұшу аппараттары. Кедергінің өзгеруі жіберілетін немесе қабылданған сигналдың қуатын жоғалтуға әкеледі, бұл ҰҰА мен басқару нүктесі арасындағы байланыстың болмауының себебі болып табылады. ҰҰА жұмыс жағдайларын ескере отырып, ең ықтимал сыртқы әсерлердің бірі температураның күшті ауытқуы мен мұздану болып табылады.

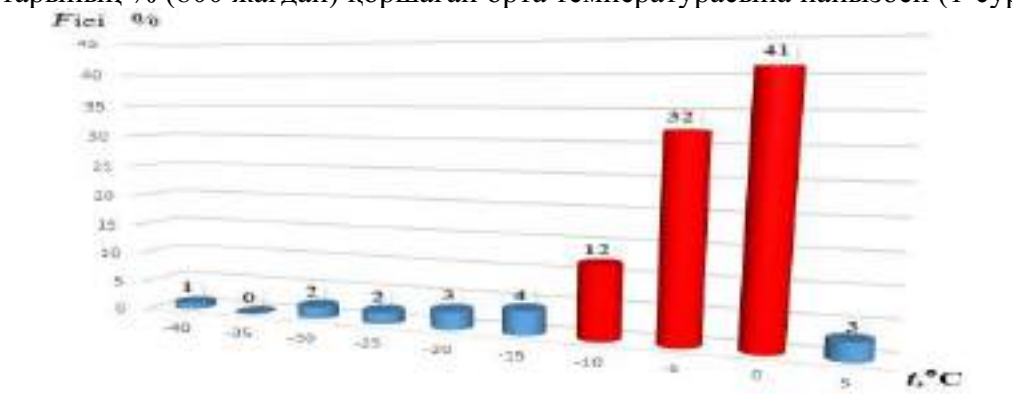
ЭКСПЕРИМЕНТ

Ауа элементі - бұл әртүрлі температуралық құбылыстармен сипатталатын өте агрессивті орта: төмен температура, жоғары ылғалдылық, су суспензиясы - мұның бәрі мұзданудың пайда болуына әкеледі. Жалпы, мұздану – ұшқышсыз ұшу аппаратының бетінде мұздың пайда болу процесі.

Өздеріңіз білетіндей, мұз заттың агрегаттық күйлерінің бірі болып табылады, бұл жағдайда су. Ол судың қатты күйге өтуі, яғни кристалдануы арқылы алынады. Судың қату температурасы 0 °С. Дегенмен, бұл дәл «сол температура» емес. Бұл тепе-теңдік кристалдану температурасы деп аталады (басқаша теориялық). Бұл температурада сұйық су мен қатты мұз тепе-теңдікте болады және қалағанша өмір сүре алады.

Мұзды кристалдану үшін белгілі бір кристалдану орталықтары қажет. Кристалдану орталықтарының пайда болуы және ақырында судың мұзға айналуы өздігінен немесе судағы қоспалардың қатысуымен болуы мүмкін. Кез келген ұсақ бөлшектер, шаңның бір бөлігі өте салқындатылған су молекулаларымен әрекеттесе отырып, кристалдану орталығына айналуы мүмкін. Белгілі бір температураға дейін салқындатылған су тұрақсыз және метатұрақты болуы мүмкін және оның кристалдануы белгілі бір әсерде басталуы мүмкін. Мұндай өте салқындатылған су бұлттың бір бөлігі болып табылады. Аса салқындатылған суспензия UAV агрегаттарымен жанаса отырып, тұнып, кристалдана бастайды, содан кейін бұл кішкентай мұз қабаттарының өзі кристалдану орталықтарына айналады және процесс көшкін тәрізді болады, осылайша жеделдейді.

[2] Мұздану жиілігін көрсететін статистиканы ұсынады F, әуе кемелерінің корпустарының % (800 жағдай) қоршаған орта температурасына пайызбен (1-сурет)



1-сурет. Әуе кемелерінің корпустарының мұздану жиілігі (800 жағдай) пайыздық қатынаста

1-суретте көрсетілген диаграмманы талдай отырып, мұздану 0°-ден - 15°С-қа дейінгі температурада болуы мүмкін деген қорытынды жасауға болады [2]. Дәл осы температура диапазоны ұшқышсыз ұшу аппаратын пайдалану кезінде қауіпті. Мұздың пайда болу қаупі бұл мұздың қай жерде және қандай мөлшерде пайда болуына байланысты. АҚ-ға мұздың шөгуі радиобайланысты нашарлатады [3] және ғарыштық бағдарлау және ұшқышсыз ұшу аппаратын басқару мүмкіндігін жоққа шығаруы мүмкін, бұл кейіннен апаттық қону траекториясынан ауытқуға, ал аса қауіпті жағдайларда жоғалтуға әкеледі. немесе ұшақтың құлауы.

Осылайша, алаңдататын әсерлердің (температуралық әсерлерге тоқталайық) ҰҰА бортында орнатылған АҚсипаттамаларына әсерін талдау қызықты.

Ұшқышсыз ұшу аппараттарының мұздануына әкелетін алаңдататын әсерлерді бағалау үшін эксперименталды зерттеулер жүргізу қажет, онда бірінші кезеңде біз қыста ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдаланудың табиғи жағдайында қоршаған орта температурасының мәндерін талдаймыз. Екінші кезеңде біз кедергі сипаттамаларын өлшеумен бірге климаттық камерадағы ҰҰА басқару арнасының (шікті антенна) АҚ-ге алаңдататын әсерлерін шығарамыз. Кедергі сипаттамаларының жиіліктен алынған мәндері қабылдау және жіберу модулі мен АҚ арасындағы энергияның берілу деңгейін бағалауға мүмкіндік береді [3].

Эксперименттік зерттеулер Supercam SX350 және Supercam S350 ҰҰА көмегімен жүргізілді. Supercam SX350 - бұл ұшақ пен тікұшақ түріндегі ұшқышсыз ұшу аппаратының конструктивтік ерекшеліктерін біріктіретін «Тілтротор» - алғашқы сериялық-өндірістік ұшқышсыз ұшу аппараты, ал Supercam S350 - максималды ұшу биіктігі 5000 м болатын ұшақ үлгісіндегі ҰҰА. . Supercam SX350 және Supercam S350 ҰҰА сыртқы түрі 2-суретте көрсетілген.

А)



В)



2-сурет. Supercam SX350 (А), Supercam S350 (В) ҰҰА сыртқы түрі.

Тәжірибені ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдаланудың кең таралған жағдайында жүргізген жөн. АҚШ Әуе күштері қабылдаған классификацияға сәйкес [4, б. 184], шағын ұшқышсыз ұшу аппараттары көбінесе 5000 м-ге дейінгі биіктікте қолданылады.

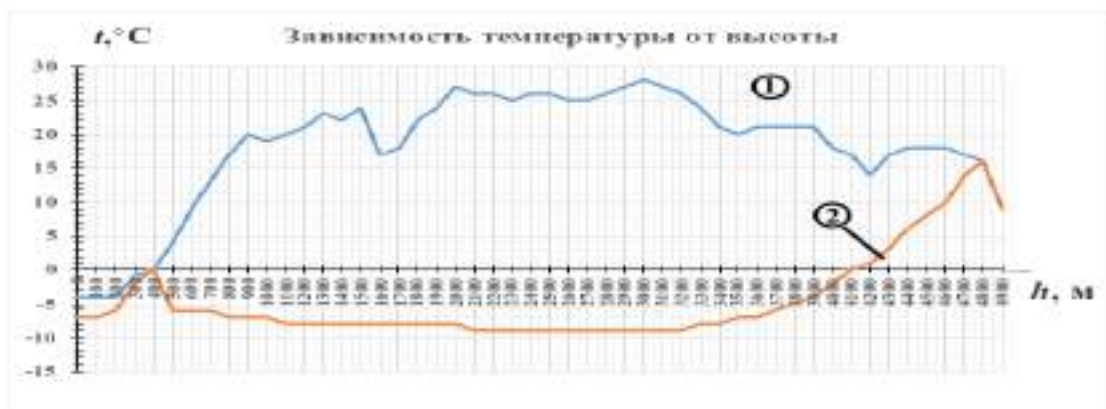
Осылайша, Supercam S350 көмегімен біз 5000 метрге дейін көтерілеміз және температура диапазонын бағалаймыз (біз Минск аймағында жер бетіне жақын ауа температурасы шамамен -5°C кезінде ұшамыз). Біз сондай-ақ Supercam SX350 және Supercam S350 ұшағын 400-600 метр биіктікте ұшамыз және ұшқышсыз ұшу аппараты жұмыс істейтін температуралық жағдайларды бағалаймыз (біз Минск маңында әр түрлі уақытта жер бетіне жақын ауа температурасында шамамен -2°C ұшамыз, -4°C , -8°C).

Әдебиеттерде келтірілген деректер бойынша [5, б. 39], орта есеппен әрбір 1000 м биіктікте ауа температурасы 6°C төмендейді. Сондай-ақ, тропосферада 90% су буы бар, бұл жоғары ықтималдықпен корпустың мұздануына және құрылғылардың мұздануына әкелуі мүмкін. ҰҰА. Тропосфераның салыстырмалы түрде төмен биіктігінде оған жер бетінде болып жатқан процестер (жердің жылу энергиясының қайтарылуы, жылы және суық ауа ағындарының қозғалысы, ылғал және т.б.) үлкен әсер ететінін ұмытпаңыз. атмосфераның осы қабатындағы температураның айтарлықтай өзгеруіне. Экспериментті қамтамасыз ету үшін ҰҰА бортында нақты уақыт режимінде температураны, ылғалдылықты, қысымды және координаттарды өлшеуге мүмкіндік беретін метеостанция әзірленді және орнатылды. Метеорологиялық станцияны пайдалану оның жұмысы кезінде ұшқышсыз ұшу аппаратының корпусындағы температура мен ылғалдылық өзгерістерінің қарқындылығын бағалауға мүмкіндік береді. Метеостанция алған мәліметтер ұшақтың корпусында орналасқан сенсорлардың көрсеткіштерімен салыстырылады. Бұл тек сыртқы АҚ орналасқан ҰҰА корпусында ғана емес, сонымен қатар кейбір АҚ және РҚ орналасқан ҰҰА корпусында да температура мен ылғалдылықты бағалау және салыстыру үшін қажет. Бұл аппарат корпуста да, оның ішінде де температура мен ылғалдылық өзгерістерінің қарқындылығын бағалауға мүмкіндік береді. ҰҰА бортында орнатылған метеостанция 3-суретте көрсетілген.

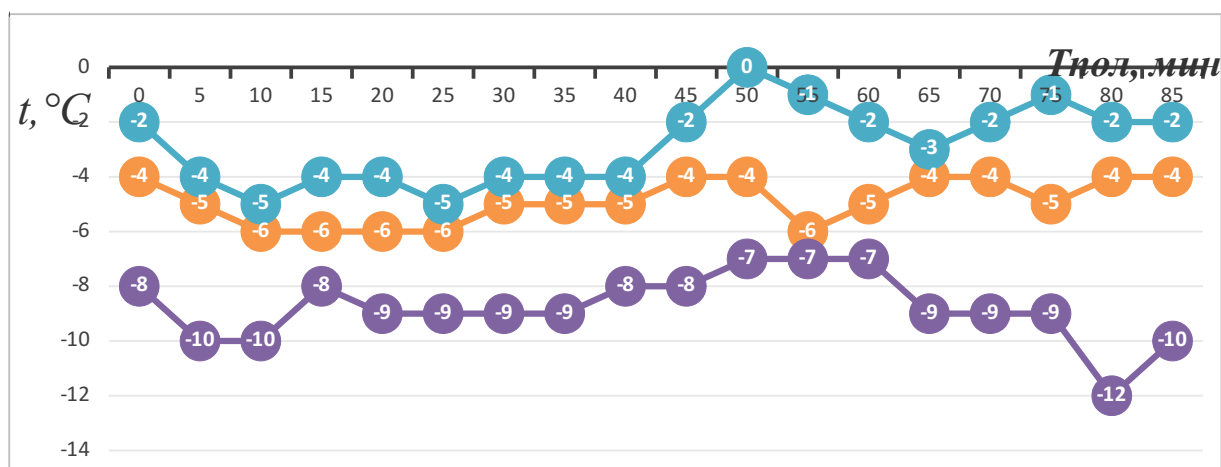


3-сурет. Supercam SX350 ҰҰА бортында орнатылған метеостанция.

Тәжірибе барысында ұшқышсыз ұшу аппаратының ұшуы кезінде борт үстіндегі ауа температурасы мен ылғалдылығы 40°C диапазонында өте тез өзгереді, ал ылғалдылық 98% жетуі мүмкін екендігі анықталды. Айта кету керек, шағын ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдаланудың ең ықтимал биіктіктеріндегі температура мен ылғалдылық өте динамикалық түрде өзгеруі мүмкін. Тәжірибелік мәліметтер (тәжірибе жұмысы кезінде температураның биіктікке және температураның уақытқа тәуелділігі (Т, мин)) 4-суретте көрсетілген.



а) Supercam S350 температурасының биіктікке (5000 метрге дейін көтерілу (1 қисық)), түсу және конуға (қисық 2) тәуелділігі.



б) Supercam S350 (қисық 1,2), Supercam SX350 (қисық 3) температураның ұшу уақытына тәуелділігі.

4-сурет. Температураның биіктікке (а) және ҰҰА жұмыс істеу уақытына тәуелділігі (б).

ҰҰА корпусындағы және ұшқышсыз ұшу аппаратының бетіндегі температура бірдей дерлік (электр қозғалтқыштарын қоспағанда). Мұны эксперимент кезінде алынған мәндер (4-сурет) және FLIR ThermoCAM E300 термобейнелеу камерасының ҰҰА қонғаннан кейін бірден түсірілген суреттері дәлелдейді.



5-сурет. Supercam SX350 UAV құрылғысының ThermoCAM E300 термобейнелеу камерасының қонғаннан кейінгі суреттері.

4-суреттегі қисықтарды және 5-суреттегі фотосуретті талдай отырып, оның жұмыс істеуінің табиғи жағдайында (жүргізілген зерттеулер шеңберінде) ҰҰА мұздану ықтималдығы жоғары деген қорытынды жасауға болады.

Тәжірибенің екінші кезеңінде біз ҰҰА -ның жұмыс жағдайындағы өзгерістердің (мұздану кезінде және әртүрлі температурада және онсыз) АҚ кедергі сипаттамаларына әсерін бағалау үшін зерттеу жүргіземіз және соның салдарынан , қуат беру коэффициенті және тұрақты толқын коэффициенті бойынша. Мұндай эксперименттік зерттеулердің әдістемесі [6]-да толық сипатталған.

Мысал ретінде, 433 МГц жиілігіне реттелетін түйреуіш антеннаны қарастырайық, ол ҰҰА бортында орнатылған, ұшақты басқару арнасының бөлігі ретінде жұмыс істейді.

ҰҰА басқару арнасының алаңдататын әсерлері Espec SU-261 ыстық-суық сынақ камерасында [7] ұсынылған әдістемеге сәйкес NANO VNA V2 векторлық анализаторының өлшеу кедергісінің сипаттамаларымен бірге қайта шығарылады. Эксперименттің суреттері 7-суретте көрсетілген.

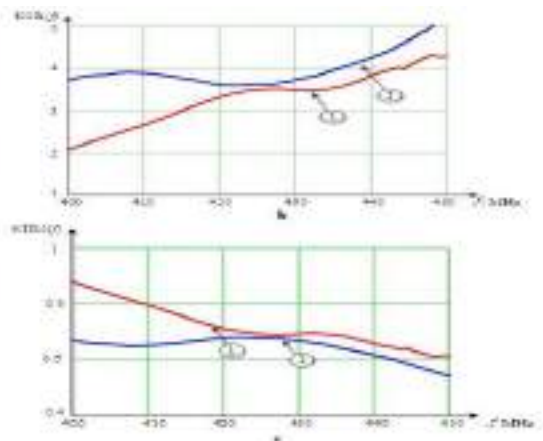


6-сурет. «Скайторез» жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің тік ұшып көтерілуінің «Талисман» ұшқышсыз ұшу жүйесі, оған басқару арнасының түйреуіш антеннасы орнатылған.



а) Spec SU-261 жылу-суық сынақ камерасының сыртқы түрі; б) кедергі сипаттамаларының өлшемдерінің фотосуреттері 7-сурет. Эксперименттің суреттері.

Тәжірибе барысында АҚкедергі сипаттамаларының жиілікке тәуелділіктері алынды, олар тұрақты толқындар (ТТҚ) коэффициенттеріне және қуат беру коэффициенттеріне (КБК) байланысты қайта есептелді (қайта есептеу әдістемесі [8]-да келтірілген) жиілігі бойынша. 8-суретте жұмыстың әртүрлі температуралық режимдерінде (мұздану жағдайында және онсыз) ҰҰҚ басқару арнасының АҚ осы сипаттамалары көрсетілген.



а) АҚпайда болуы; б) ТТҚ: 1 – мұзданусыз АҚ; 2 – ААҚ мұздану жағдайында; в) ҚБҚ: 1 – мұзданусыз; 2 – мұздану жағдайында.

8-сурет. ҰҰА басқару арнасының түйреуіш антеннасы және оның сипаттамалары. Алынған тәуелділіктерді талдағаннан кейін (8 б, в-сурет) қорытынды жасауға болады:

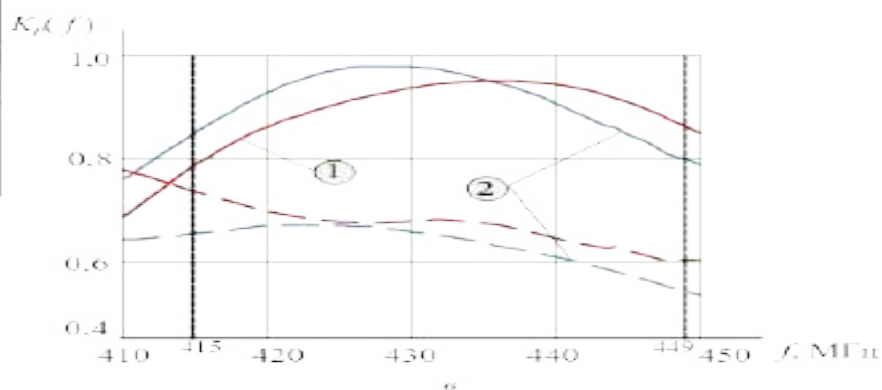
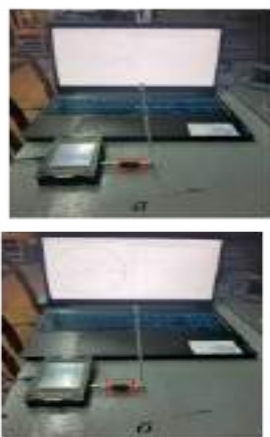
- АҚ мұздану жағдайында ТТҚ және ҚБҚ 5...15% нашарлауы байқалады;
- жұмыс жиілігінде электр қуатын беру деңгейі тәжірибенің қалыпты жағдайларында (мұзданусыз) қанағаттанарлық емес (сигнал қуатының жоғалуы шамамен 38%);
- аландататын әсерлер жағдайында кедергінің айтарлықтай ауытқуы және АҚ резонансының елеулі ығысуы болады;
- өнімділіктің мұндай нашарлауы радиобайланыс ауқымының 3 ... 8%-ға төмендеуіне әкеледі, бұл максималды $R_{max}=100\text{км}$ (Supercam S350 үшін) радиобайланыстың максималды диапазоны бар көру сызығы аймағында 3 ... 8 жоғалтуды құрайды және радиобайланыстың максималды диапазонында көру сызығында 1,5 ... 4 км тұрақты радиобайланыс $R_{max}=50\text{км}$ (Supercam SX 350 үшін). Осылайша, АҚ мұздануы барлық жұмыс жиілік диапазонында радиожол сипаттамаларының нашарлауына әкеледі, бұл АҚ мен қабылдау және жіберу модулі арасындағы үйлестірудің болмауына байланысты, бұл диапазонның төмендеуіне әкеледі.

АҚ резонансының орын ауыстыруы мен кедергінің өзгеруі жағдайында [3]-де көрсетілген кең жолақты сәйкестік теориясын қолдану өзекті болып табылады. Бұл теория кедергілердің өзгеру жағдайында сигнал көзі мен жүктеме арасында берілген жұмыс жиілік диапазонында максималды қуатты беруге мүмкіндік береді. Көптеген жағдайларда сәйкес құрылғыларды (СҚ) жобалау кезінде әзірлеушілер жұмыс жағдайларының өзгеруінен туындаған жүктеме кедергісінің тұрақсыздығын, әсіресе жылжымалы объектілерде ескермейді [9]. Бұл мәселені шешу үшін жүктеме кедергісінің тұрақсыздығын ескере отырып, кең жолақты сәйкестік теориясын қолдану ұсынылады. Осы теорияның СҚ синтезі үшін қолданылуын қарастырайық, ол ҰҰА басқару арнасының АҚ кедергісі 50 Ом болатын қабылдаушы-таратқыш модулімен кең жолақты сәйкестендіруді қамтамасыз етеді.

Нәтижелер және оларды талқылау

ҰҰА басқару радиоарнасының қабылдау және жіберу жолында СС пайдалану 14-суретте көрсетілген қуатты беру деңгейін қамтамасыз етеді, мұнда тұтас сызық синтезделген МК-мен, ал сызықша онсыз тәуелділіктерді көрсетеді.

14(в)-суретте келтірілген тәуелділіктерді талдағаннан кейін, СС пайдалану қалыпты жағдайда да сигнал көзінен жүктемеге дейін қуатты берудің жоғары деңгейін қамтамасыз етеді (шығындарды 38%-дан 13%-ға дейін төмендетеді) деген қорытындыға келуге болады. және тұрақты радиобайланыспен ҰҰА басқару арнасын қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін АҚ мұздану жағдайында.



1 – мұзданусыз АҚ; 2 – АҚ мұздану жағдайында; СС-мен (мұзданусыз, АҚ мұздану жағдайында)

14-сурет. Тәжірибе нәтижелері: а) мұздану жағдайында; б) мұзданусыз; в) ҚБҚ жиілікке тәуелділік түрінде.

ҚОРЫТЫНДЫ...

Тәжірибе нәтижелері оның жұмыс істеуінің табиғи жағдайында ұшқышсыз ұшу аппаратының мұздану ықтималдығы жоғары екенін көрсетті (қыс мезгілінде эксперименттік зерттеулердің бөлігі ретінде). Басқару арнасының АҚ-ына мұндай әсер ету барлық жұмыс жиілік диапазонында радиожол сипаттамаларының нашарлауына әкеледі, бұл АҚ және қабылдау және жіберу модулі арасындағы үйлестірудің болмауына байланысты және төмендеуіне әкеледі. радиобайланыс диапазонында. Бұл мәселені шешу үшін сәйкестік құрылғыларын синтездеудің жаңа әдісі ұсынылды, ол АҚ және ҰҰҚ басқару арнасының қабылдау және жіберу модулін үйлестіруге және ұшқышсыз ұшу аппараттары кезінде берілетін қуаттың ысыраптарын 25%-ға дейін азайтуды қамтамасыз етуге мүмкіндік берді. мұздану жағдайлары.

Әдебиеттер

- [1] Исаев, В.О. Влияние температурного режима на характеристики мобильных антенных устройств / В.О. Исаев, И.А. Дубовик // XIV Машеровские чтения: материалы междунар. науч.-практ. конф. Студентов, аспирантов и молодых ученых, Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2020. – С. 31-33. Казахстан, 2020. – С. 31-33.
- [2] Авиационные факторы риска, программа обучения и подготовки, етр - №20, ВМО – ТД - №1390, Секретариат Всемирной Метеорологической Организации Женева – Швейцария Июнь 2007.
- [3] Бойкачев, П.В., Метод синтеза широкополосных устройств с оптимальной характеристикой коэффициента преобразования мощности, согласующих изменяющийся во времени импеданс нагрузки / И. А. Дубовик, П. В. Бойкачев, В. О. Исаев // [Электронный ресурс] Журнал радиоэлектроники. – 2021. – №5. – Режим доступа: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.5.1>.
- [4] Асташкин, Д.Г. Концептуальные взгляды командования ВВС США на развитие беспилотной авиации/ Д.Г. Асташкин// II научно-практическая конференция «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами», Сборник докладов и статей по материалам конференции, Коломна, 2017– С. 183-196.
- [5] Атмосфера, Справочное издание, Редакторы: О.В.Лапина, О.Д.Рейнгеверц. Ленинград, Гидрометеиздат 1991. – 600 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАФИКА СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Лещинская Элеонора Мироновна¹, Туманбаева Кумысай Хасеновна²,

Ползик Елена Владимировна³

^{1,2,3} НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека

Даукеева», г. Алматы, Республика Казахстан

¹e.leshinskaya@aes.kz, ²k.tumanbayeva@aes.kz, ³e.polzyk@aes.kz

Аннотация: Наблюдаемая тенденция роста трафика в сетях мобильной связи обуславливает необходимость изучения его динамики и структуры. Исследование и анализ трафика необходимы для обеспечения устойчивой работы сети, повышения уровня качества обслуживания. В статье выполнен анализ IP-трафика кластера сети 4G/LTE оператора телекоммуникаций. С применением методов статистического анализа исследованы пропускная способность отдельных базовых станций, секторов антенн БС и сети в целом, рассчитаны прогнозные оценки сетевого трафика.

Ключевые слова: трафик, статистический анализ, прогнозирование, сеть мобильной связи.

STUDY OF DYNAMICS AND STATISTICAL PARAMETERS OF MOBILE COMMUNICATION NETWORK TRAFFIC

Lechshinskaya Eleonora Mironovna¹, Tumanbayeva Kumysay Khasenovna²,

Polzik Elena Vladimirovna³

^{1,2,3} Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Republic of Kazakhstan

¹e.leshinskaya@aes.kz, ²k.tumanbayeva@aes.kz, ³e.polzyk@aes.kz

Abstract: The observed trend of traffic growth in mobile communication networks necessitates the study of its dynamics and structure. Traffic research and analysis is necessary to ensure the stable operation of the network and improve the quality of service. In this paper, we analyzed the IP traffic of the 4G/LTE network of a telecommunications operator. With the use of statistical analysis methods, the throughput of individual base

stations, BS antenna sectors and the network as a whole was studied, predictive estimates of network traffic were calculated.

Keywords: *traffic, 4G, statistical analysis, modeling, forecasting, mobile communication network.*

Воздействие технологий связи на жизнь современного человека невозможно переоценить. Мобильную связь рассматривают как одну из основных потребностей общества, а ее технологии как в высшей степени востребованные и динамично развивающиеся.

Развитие технологий связи оказывает непосредственное влияние на объемы и структуру трафика. Проведенные исследования показали, что общий объем данных, которые передаются по глобальной сети, характеризуется экспоненциальным ростом и, по мнению экспертов, этот тренд в ближайшей перспективе сохранится [1,2].

Существенный рост IP-трафика в Казахстане вызван переходом многих сотрудников на удаленный формат работы, развитием дистанционной формы обучения, значительным ростом видеоконтента и другими факторами. Только за 2020 год трафик в сети Beeline вырос на 63%, в сети Kcell- на 40,6%, в сети Tele2 –на 34% [3].

Наряду с ростом трафика исследователи также отмечают нестабильность трафика во времени, возможность появления резких скачков нагрузки при передаче данных. Скачки нагрузки могут быть вызваны различными причинами, в том числе вирусным характером распространения популярной информации, современными методами коллективной коммуникации. Нестабильность нагрузки может привести к ухудшению качества предоставления услуг сетью связи.

В связи с этим повышается актуальность исследования сетевого трафика, позволяющего сделать выводы об эффективности работы оборудования крупных операторов связи. Актуальным является и построение математических моделей прогнозирования ожидаемых значений трафика.

В данной работе исследовался трафик передачи данных в сети 4G/LTE [4] оператора связи города Алматы. Услуги в стандарте 4G/LTE операторы связи в РК предоставляют с 2014 года.

Было проведено статистическое исследование суммарного трафика сети, анализировался трафик по отдельным базовым станциям в направлениях Uplink и Downlink («вверх» и «вниз»), сопоставлялся трафик по отдельным секторам антенн базовых станций, рассчитывался прогноз трафика в краткосрочном периоде [5].

Анализ данных о ежесуточном трафике на протяжении года позволил выявить особенности в работе сети связи.

Приведенные на рисунке 1 графики динамики трафика в направлении Downlink показывают неравномерность распределения трафика по отдельным базовым станциям. Среднее значение трафика, обслуживаемого базовой станцией №3 (DL3), почти в 2 раза превышает объемы трафика, обслуживаемого БС №1.

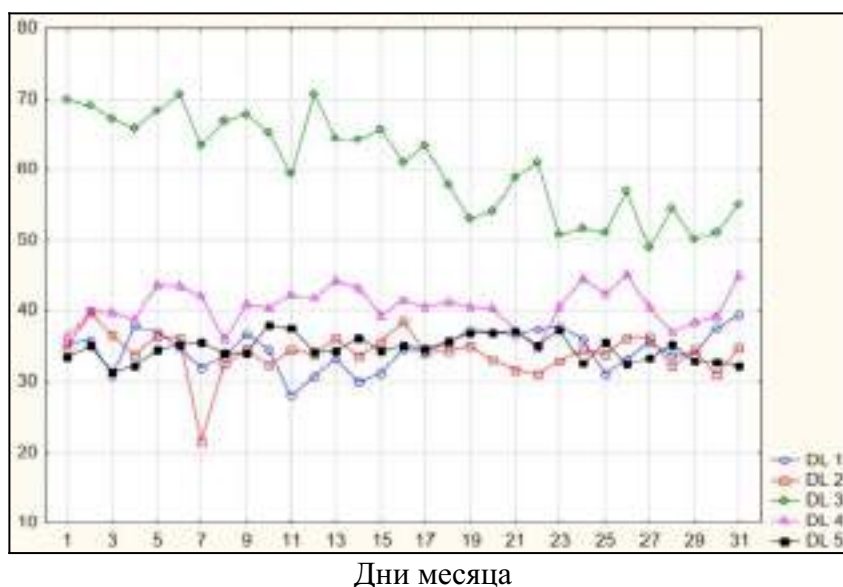
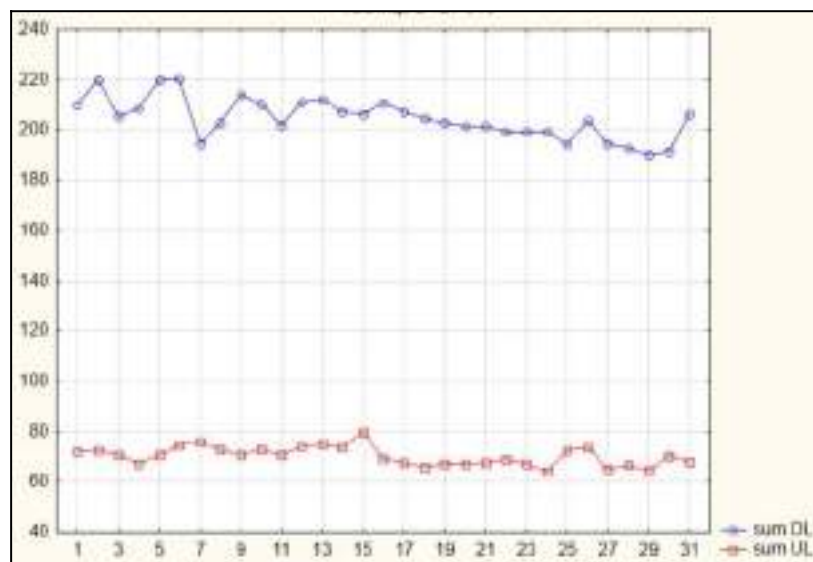


Рис. 1. Динамика трафика по базовым станциям в направлении Downlink

Трафик в направлении Downlink значительно превышает значения трафика по направлению Uplink, что свидетельствует о том, что скачиваемый трафик гораздо больше, чем отправляемый пользователями (см. рисунок 2).

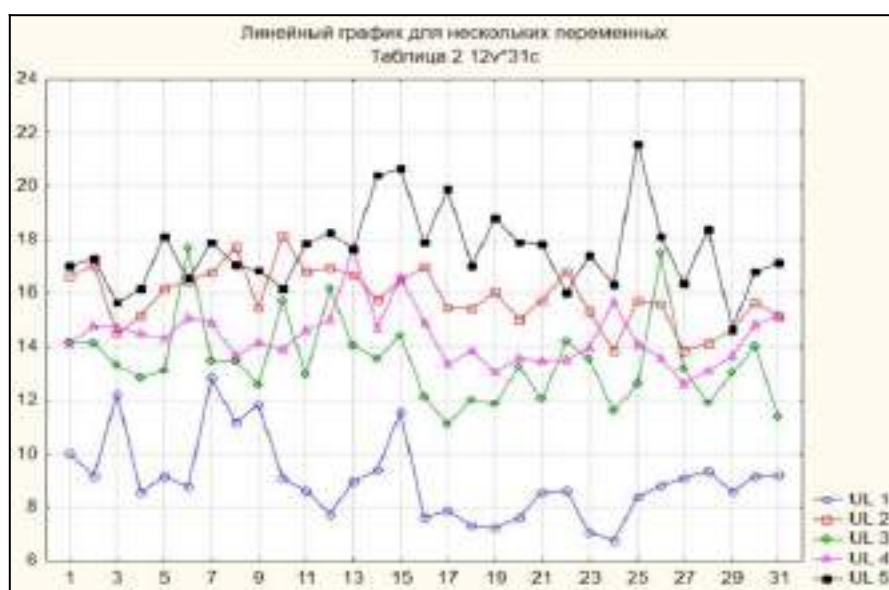
Изменение трафика в направлении Uplink, приведенное на рисунке 3, дает возможность отследить распределение нагрузки по базовым станциям в динамике. Максимальный объем трафика приходится на базовую станцию №5, тогда как БС №1 загружена в меньшей степени.

В подтверждение этих выводов приведена таблица статистических характеристик исследуемых временных рядов (см. рисунок 4) по каждой из пяти базовых станций.



Дни месяца

Рис. 2. Суммарный трафик в направлении Downlink и Uplink



Дни месяца

Рис. 3. Динамика трафика по базовым станциям в направлении Uplink

Variable	Descriptive Statistics (Spreadsheet2)					
	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Coef.Var.
UL1	31	9,04210	6,76830	12,83740	1,509293	16,69184
UL2	31	15,86731	13,84560	18,14870	1,072502	6,75919
UL3	31	13,44228	11,11480	17,68010	1,592736	11,84870
UL4	31	14,35245	12,59450	17,66570	1,039479	7,24252
UL5	31	17,60342	14,65780	21,57940	1,499245	8,51679

Рис. 4. Статистические характеристики трафика по базовым станциям в направлении Uplink

В таблице рассчитаны математическое ожидание (Mean), минимальное (Minimum) и максимальное (Maximum) значения уровней временного ряда трафика в течение месяца, среднее квадратическое отклонение (Std.dev) и коэффициент вариации (Coef.var).

Статистические данные о динамике трафика в течение года позволили рассчитать прогнозируемые значения на последующие дни работы. Для осуществления прогнозирования были построены математические модели временных рядов [5,6]. Инструментом исследования послужил пакет статистического анализа Statistica [7]. В зависимости от характера изменения уровней временных рядов, отражающих динамику трафика, при построении моделей прогнозирования использовались различные методы: экспоненциальное сглаживание, регрессионный анализ, модели ARIMA..

Так, при разработке краткосрочного прогноза для трафика в направлении Downlink по базовой станции №1 лучшие результаты были получены при использовании метода экспоненциального сглаживания. Рассматривались модели с различным значением постоянной сглаживания α . Наиболее точный прогноз был получен при $\alpha=0,7$. Относительная ошибка прогнозирования в этом случае не превысила 10%. Расчет прогноза с использованием пакета Statistica приведен на рисунке 5.

Экспон. сглаживание: S0=34,61 Без тр. нет сезон. Альфа= ,700 DL1			
Набл.	DL1	Сглажен. ряд	Остатки
25	31,00660	36,46994	-5,46334
26	33,22540	32,64560	0,57980
27	35,54090	33,05146	2,48944
28	33,83210	34,79407	-0,96197
29	33,90270	34,12069	-0,21799
30	37,56730	33,96810	3,59920
31	39,52750	36,48054	3,04696
32		38,61341	
33		38,61341	
34		38,61341	

Рис. 5. Расчет прогноза трафика по БС №1 в направлении Downlink

Анализ динамики месячного трафика по БС №3 в направлении Downlink позволил выявить тенденцию снижения нагрузки к концу месяца. Модель прогнозирования в этом случае представлена в виде линейного тренда следующего вида:

$$Y=71,43-0,67t,$$

где $\hat{Y}$ – уровень сглаженного временного ряда; t – момент времени.

Выбор наилучшего метода прогнозирования в каждом конкретном случае позволил достигнуть минимальной ошибки прогнозирования трафика.

Заключение

С использованием пакета статистического анализа Statistica выполнен анализ трафика передачи данных кластера сети 4G/LTE. Разработаны статистические модели краткосрочного прогнозирования трафика.

Выполнено исследование статистических параметров трафика, обслуживаемого отдельными базовыми станциями, и суммарного трафика сети в направлении Downlink и Uplink.

Полученные результаты могут быть полезны в деятельности операторов связи по повышению эффективности применяемых механизмов управления трафиком в современных условиях.

Источники

[1] Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепция, модели, приложения – М.: Горячая линия – Телеком, 2015.

[2] Яновский Г.Г. Современные проблемы науки в области телекоммуникаций (Эволюция и конвергенция). - СПб: СПбГУТ им. МА Бонч-Бруевича, 2008.

[3] В рейтинге по скорости мобильного интернета Казахстан на 105-месте [Электронный ресурс]. <https://kapital.kz/tehnology/94004/v-reytinge-po-skorosti-mobilnogo-interneta-kazakhstan-na-105-m-meste.html> (дата обращения 25.07.2022).

[4] Christopher Cox. An introduction to LTE : LTE, LTE-advanced, SAE and 4G mobile communications, 2012.

[5] Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов: Т. 1 / Т. Андерсон. - Мир, 1976.

[6] Кендалл, М. Многомерный статистический анализ и временные ряды: Пер. с англ. / М. Кендалл, А. Стьюарт, Э.Л. Прейсман, В.И. Ротарь, Ю.В. Прохоров, А.Н. Колмогоров. - Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1976.

[7] Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. - Москва: Финансы и статистика, 2001.

О ВЫБОРЕ ОБЪЕМА БУФЕРНОЙ ПАМЯТИ ДЛЯ СЕРВЕРА ПАКЕТНОЙ СЕТИ

Мухамеджанова Альмира Далелханкызы¹, Туманбаева Кумысай Хасеновна²

^{1,2}АУЭС имени Гумарбека Даукеева, г.Алматы, Республика Казахстан

¹a.mukhamejanova@aes.kz, ²k.tumanbayeva@aes.kz

Аннотация: В данной работе рассмотрены вопросы влияния интенсивности и степени самоподобия входящего потока на объем буферной памяти с помощью имитационного моделирования. Разработана модель сервера, как системы массового обслуживания с поступающим самоподобным трафиком в системе MATLAB, при этом моделирование входного трафика реализуется отдельной подсистемой, позволяющей изменять число источников.

Ключевые слова: качество обслуживания, сервер, СМО, имитационное моделирование; самоподобный трафик; Парето; буферная память

ABOUT CHOOSING THE BUFFER MEMORY SIZE FOR A PACKET NETWORK SERVER

A.D. Mukhamejanova, K.Kh. Tumanbayeva

^{1,2}AUPET named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Republic of Kazakhstan

¹a.mukhamejanova@aes.kz, ²k.tumanbayeva@aes.kz

Abstract: In this paper, the issues of the influence of the intensity and degree of self-similarity of the incoming stream on the volume of buffer memory using simulation modeling are considered. A server model has been developed as a queuing system with incoming self-similar traffic in the MATLAB system, while modeling the input traffic is implemented by a separate subsystem that allows changing the number of sources.

Keywords: quality of service, server, CFR, simulation modeling; self-similar traffic; Pareto; buffer memory

Введение

Буфер сервера пакетной сети предназначен для сглаживания перегрузки в канале передачи данных. При увеличении размера буфера или объема буферной памяти повышается эффективность использования сервера, что обеспечивает работу оборудования при высокой нагрузке с малым уровнем потери пакетов. Вероятность потери пакета является одним из важных показателей качества обслуживания (QoS –

Quality of Service) сети передачи данных. Но увеличение объема буферной памяти приводит к повышению стоимости оборудования и к увеличению времени ожидания обслуживания в буфере, что в свою очередь увеличивает длительность задержки пакета, второго важного показателя качества обслуживания сети передачи данных [1].

Определение объема буферной памяти сервера пакетной сети с учетом требований к показателям качества обслуживания является актуальной задачей.

Данная задача в настоящее время решается на основе моделей теории систем массового обслуживания (СМО). В частности, рассматривается модель вида $M/M/1/K$, в которой обслуживающим каналом является сервер, входящий поток пакетов является пуассоновским, а время обслуживания распределено по экспоненциальному закону [2,3]. Здесь K – предельная длина очереди или объем буферной памяти. С другой стороны, было установлено и доказано в многочисленных публикациях, что входной поток в узлах современных пакетных сетей обладает свойством самоподобия [4,5,6]. Следовательно, входной поток, поступающий на сервер, не является пуассоновским. В настоящее время самоподобный пакетный трафик моделируется распределением Парето [7]. При этом время обслуживания пакета в сервере определяется объемом пакета и моделируется экспоненциальным распределением, модель сервера рассматривается как СМО вида $P/M/1/K$. Следует отметить, что функциональные зависимости объема сервера от интенсивности и степени самоподобия входящего потока отсутствуют, поэтому влияние указанных характеристик можно установить с помощью имитационного моделирования.

Целью данной работы является исследование влияния интенсивности и степени самоподобия входящего потока на объем буферной памяти с помощью имитационного моделирования.

Нами разработана имитационная модель СМО типа $P/M/1/K$ в среде Simulink, проведены экспериментальные исследования. В качестве входных данных введены такие параметры самоподобного трафика, как: H – параметр Херста, λ – интенсивность входящего пакетного трафика, $BufSize$ – объем буферной памяти, $simTime$ – время моделирования.

В результате моделирования заполнены и сохранены следующие массивы:

- $Qlen$, длина очереди в каждый момент проведения эксперимента;
- $TotalUtil$, коэффициент загрузки всей системы из 100 источников в каждый момент эксперимента;
- $Ploss$, значение вероятности потери пакета, в каждый момент эксперимента.

Для того, чтобы достигнуть приемлемых значений вероятности потерь, нужно задаться объемом буферной памяти. Поэтому, сначала модель запускается с бесконечной памятью $BufSize=Inf$. Таким образом, оценивается средняя и максимальная длина очереди, которые соответственно являются средним и максимальным объемом буфера.

Однако, мы имеем дело с самоподобным трафиком, и у такого трафика степень самоподобия также может варьироваться (в пределах от $H = 0.6$ до $H = 0.9$ и даже $H = 0.95$). Именно этот параметр оказывает огромное влияние на нерегулярность заполнения буферной памяти.

К примеру, зададимся параметрами:

- параметр Херста $H = 0.9$;
- интенсивность трафика от одного устройства $\Lambda = 0.009$.

Таким образом, ожидается что интенсивность агрегированного трафика, поступающего от 100 устройств, должна быть порядка 0.9. При интенсивности обслуживания $\mu = 1$, имеем $\rho = 0.9$, что является достаточно большой величиной, и на практике уже означает, что сервер перегружен. В таком случае, независимо от степени самоподобия, ожидается создание длинной очереди. Однако, самоподобие приводит к тому, что трафик распределяется неравномерно – бывают «пачки» запросов, после которых следуют «паузы» затишья.

В результате моделирования можно построить график изменения значений длины очереди Q_{len} (см. рисунок 1).

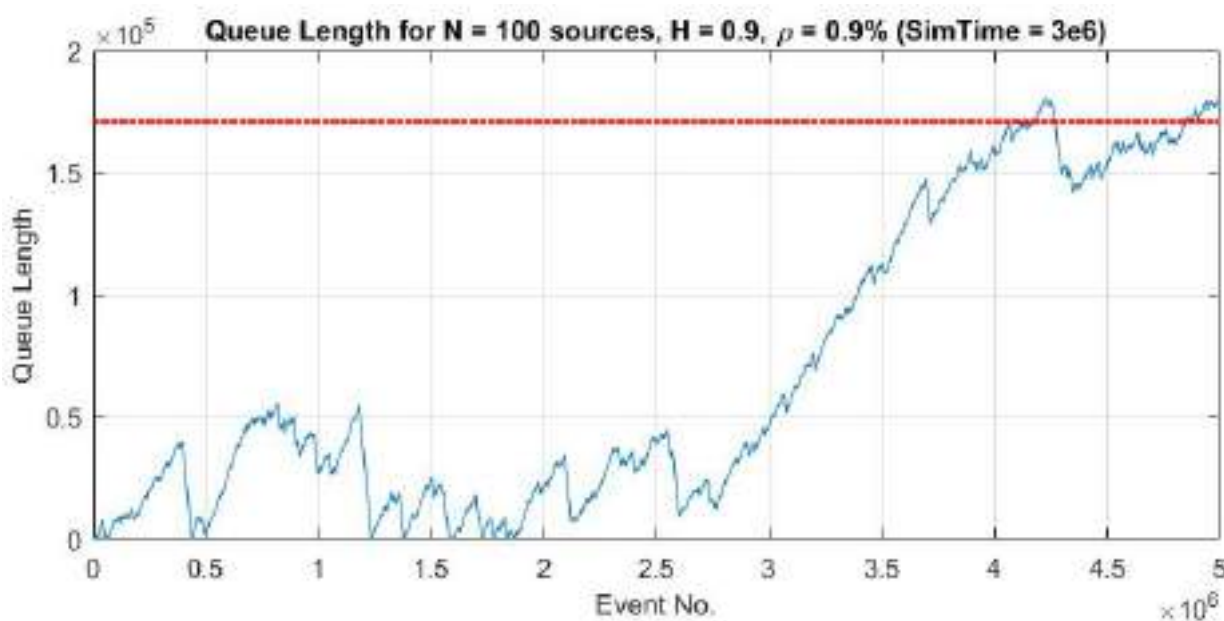


Рис. 1 График изменения значений длины очереди

Видно, что очередь, в целом растет. Красной линией отмечен 95% значений, составляющий величину 171 000 запросов. Данные результаты были получены для относительного времени симуляции $3 \cdot 10^6$ (единиц времени Simulink). Однако, нет никаких гарантий, что при более длительной симуляции рост длины очереди бы продолжился. При этом, заметим, что средняя длина очереди составляет всего $mean(Q_{len}) = 69\,000$ запросов, что почти в 3 раза меньше установленной нами величины

95%. Поэтому, если выбирать объем буферной памяти исходя только из средней длины очереди, прогноз будет слишком оптимистичным и вероятность потерь будет расти.

Используем указанный 95% длины очереди как ограничение объема буферной памяти, т.е. $\text{BufSize} = 171\,000$ и установим значительно более долгое время симуляции $\text{simTime} = 1e8$. После запуска симуляции (которая занимает уже ощутимое время), построим графики следующих величин:

- мгновенных значений объема буферной памяти;
- мгновенных значений вероятности потерь.

Заполнение буферной памяти – здесь отчетливо видно, что, при достижении выставленной нами границы, дальнейший рост объема буферной памяти был невозможен (см. рисунок 2).

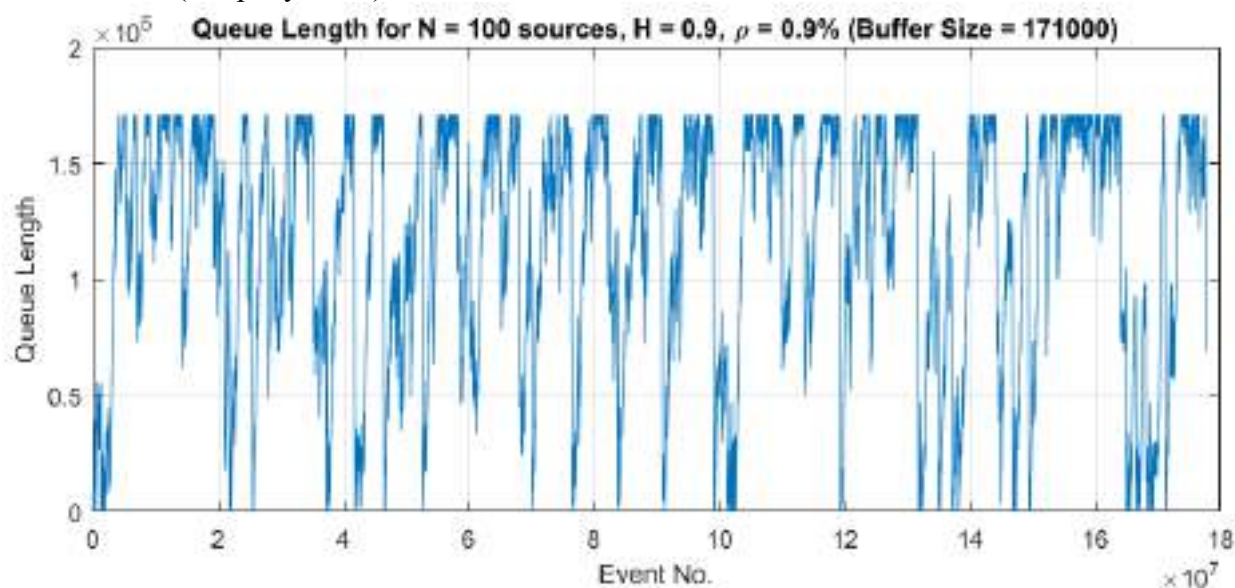


Рис. 2 График изменения мгновенных значений длины очереди

Соответственно, запросы, не попавшие в буфер, были отброшены сервером и потеряны.

На графике (см. рисунок 3) вероятности потерь отчетливо видно, что максимум несколько выше устоявшегося значения около 5.5%.

Повторим запуск последнего эксперимента, но в этот раз не станем ограничивать максимальный объем буферной памяти, чтобы посмотреть – будет ли рост постоянным, и до каких значений этот рост может продолжаться при заданных параметрах трафика и системы.

Для этого устанавливаем $\text{BufSize} = \text{Inf}$ (бесконечный объем памяти) и время $\text{simTime} = 1e8$ оставляем неизменным. В результате моделирования построим график изменения мгновенной длины очереди (см. рисунок 4).

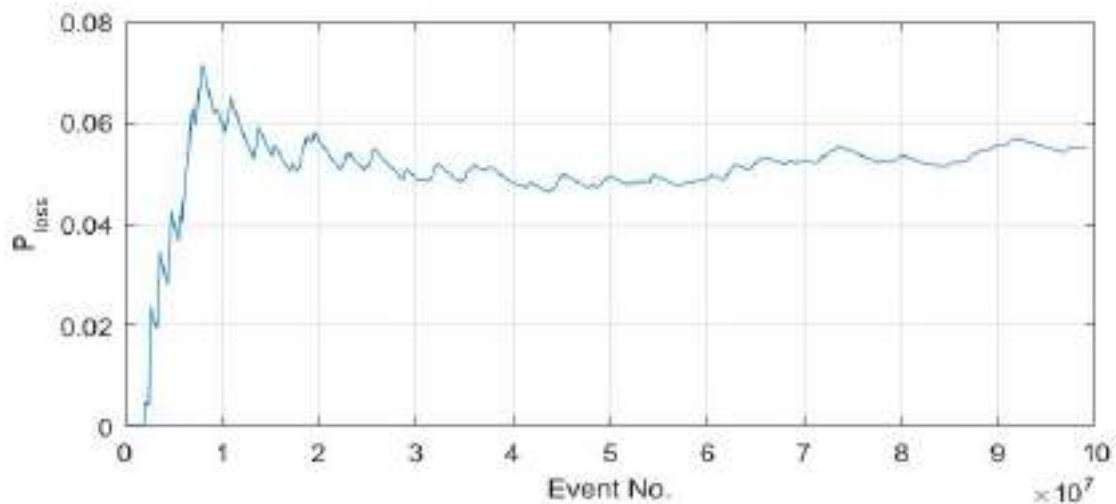


Рис. 3 График изменения вероятности потерь

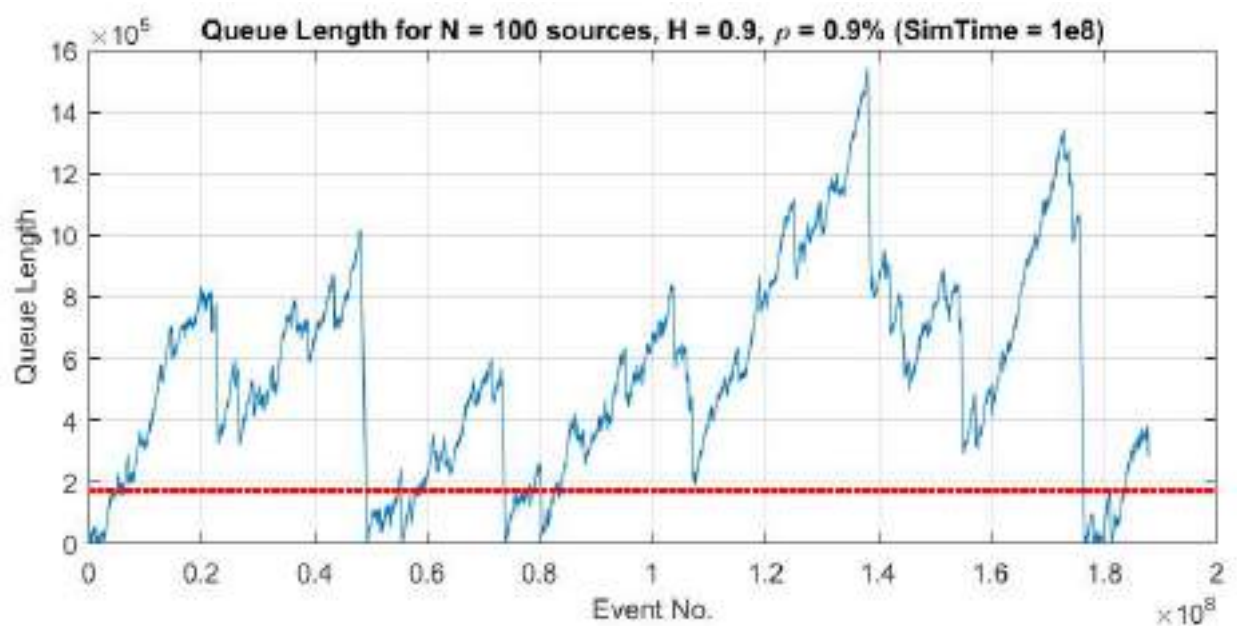


Рис. 4 График изменения мгновенных значений длины очереди

Красной линией отмечен все тот же уровень 95%, который был получен для предыдущего времени симуляции Зеб. Для оценки объема буферной памяти крайне важно провести достаточно длительную симуляцию. В данном случае, видно, что характер заполнения буферной памяти, по существу, является самоподобным процессом, к тому же видно, что в определенные моменты времени буферная память была пустой – при увеличении графиков в Матлабе видно, что длина очереди действительно опускается до 0. Разумеется, статистически (распределение Парето)

существует вероятность ещё большей длины очереди при достаточно долгой симуляции.

Заключение.

В данной работе показаны исследование влияния интенсивности и степени самоподобия входящего потока на объем буферной памяти с помощью имитационного моделирования. В качестве объекта моделирования рассматривается трафик, поступающий на сервер, являющийся самоподобным. В среде Simulink разработаны подсистемы, генерирующие самоподобные трафики с заданным параметром Херста. Модель сервера представлена в Simulink как СМО типа Р/М/1/К.

Источники

[1] Афонцев Э.В., Гребенкин М.К., Поршнева С.В. О выборе размера буфера маршрутизатора компьютерной сети, нагруженного интенсивным трафиком реального времени//Известия Томского политехнического университета, 2008, Т.313, №5, с.106-109.

[2] Одоевский С. М., Бусыгин А. В. Аналитическая модель обслуживания мультимедийного трафика с распределением Парето на основе аппроксимации результатов имитационного моделирования // Системы управления, связи и безопасности №1. 2020,

[3] Кутузов О. И., Татарникова Т. М. К оцениванию и сопоставлению очередей классических и фрактальных систем массового обслуживания // Информационно-управляющие системы. 2016. № 2. с. 48-55. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2016.2.48.

[4] Ушанев К. В. Имитационные модели системы массового обслуживания типа Ра/М/1, Н2/М/1 и исследование на их основе качества обслуживания// Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. с. 217-251.

[5] Шелухин О. И., Осин А. В., Смольский С. М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. — М.: Физматлит, 2008. — 368 с.

[6] Костромицкий А. И., Володка В. С. Подходы к моделированию самоподобного трафика // Восточно Европейский журнал передовых технологий. 2010. № 46. с. 46–49.

[7] Ушанев К. В., Макаренко С. И. Показатели своевременности обслуживания трафика в системе массового обслуживания Ра/М/1 на основе аппроксимации результатов имитационного моделирования // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 1. С. 42-65.

A REVIEW OF THE MULTILAYERED MICROSTRIP ANTENNAS FOR IOT APPLICATIONS

Gulsaya Nurzhaubayeva¹, Katipa Chezhibayeva², Norshakila Haris³

^{1,2}Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G.Daukeyev, Almaty, Kazakhstan

³Universiti Kuala Lumpur Malaysian Institute of Marine Engineering Technology, Kuala-Lumpur, Malaysia

gul.nurzhaubayeva@aes.kz¹, katipa.chezhibayeva@aes.kz², norshakila@unikl.edu.my³

Abstract. *The new generation of wireless telecommunication and broad application of sensor networks for IoT application require to develop a qualitative communication system, which arises new technology challenges. The paper reviewed the microstrip antennas for IoT application that can be fabricated with high gain, small size, cost cheaper and enable to reach efficient performance by applying the multilayer technology. The design of multilayer Yagi-Uda microstrip antenna reveals an improvement of the antenna's main characteristics. The paper reviewed the huge potential of the multilayered structure of microstrip antenna for IoT applications, as an alternative to convenient planar implementation.*

Keywords: *IoT application, microstrip antenna, Yagi-Uda antenna, multilayer technology.*

ОБЗОР МНОГОСЛОЙНЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В IOT

Гульсая Нуржаубаева¹, Катипа Чежимбаева², Норшакила Харис³

^{1,2}Алматинский университет энергетики и связи имени Г.Даукеева, Алматы, Казахстан

³Университет Куала Лумпур Малайзийский Институт Морских инженерных технологий, Куала Лумпур, Малайзия

gul.nurzhaubayeva@aes.kz¹, katipa.chezhibayeva@aes.kz², norshakila@unikl.edu.my³

Аннотация. *Новое поколение беспроводной связи и широкое применение сенсорных сетей для приложений IoT требуют разработки качественной системы связи, которые ставят новые технологические задачи. В статье рассмотрены микрополосковые антенны для приложений IoT, которые могут быть изготовлены с высоким коэффициентом усиления, малыми размерами, более дешевой стоимостью и позволяют достичь эффективных характеристик за счет применения многослойной технологии. В конструкции многослойной микрополосковой антенны Яги-Уда выявлено улучшение основных характеристик антенны. В документе рассмотрен огромный потенциал многослойной структуры микрополосковой антенны для приложений IoT в качестве альтернативы полосковых антенн.*

Ключевые слова: *применение в IoT, микрополосковая антенна, антенна Яги-Уда, многослойная технология.*

Introduction

Internet of Things (IoT) applications operate by applying the major advancements of telecommunication systems. The modern technology of telecommunication allows to control physical sensing and actuating devices over the Internet.

Nowadays, the main target for scientists is to design affordable in price, small in shape, light in weight devices and systems which generate high-power and consume low power by functioning at high frequencies. Except the sophisticated network protocols, the antenna system will be the main component for all node end smart device. Choosing the right antenna for IoT applications and fabricate the most appropriate design of it for integration with monolithic microwave integrated circuits (MMIC) become an increasing challenge at wireless communication area. Various scenario of smart gadgets functioning efficiently with IoT applications are due to the small antennas embedded in that gadgets. [1,2].

The latest wireless communication technologies widely apply the microstrip planar antennas due to its simplicity and compatibility with printed circuit design. Microstrip geometries which radiate electromagnetic waves were examined in the 1950s. The main function of the microstrip antenna is to radiate and receive electromagnetic energy in microwave frequency range. Even though [3] proposed the first concept of the microstrip antenna, there were no development of printed circuit boards with controlled dielectric constant till 1970s, when it was proposed by Robert E. Munson [4,5]. After many years of scrutinizing the better theoretical modelling and attractive thermal and mechanical properties, it can be argued that performance and operation of a microstrip antenna depends on the geometry of the printed patch [6] and the material characteristics of the substrate onto which the antenna is printed.

Nowadays, a tremendous growth of wireless communication links can be noted. Most wireless networks apply omni-directional antennas [7]. However, many areas such as industrial, medical, radar, wireless communications need the application of directional antennas such as Log Periodic and Yagi-Uda [8-11]. The microstrip Yagi-Uda array is fabricated as driven microstrip antenna with several parasitic antennas on the same substrate surface allows to enhance the characteristics [12]. The four-patch design of Yagi-Uda microstrip structured antenna was proposed by Huang in 1989 [13]. In his proposal, the antenna consisted of four patches which were coupled electromagnetically. The maximum achieved gain was 8dBi and low F/B ratio.

It is evident that the microstrip is more advantageous in terms of fabrication ease, affordable cost, and less-lossy circuit design. Even though many methods have been applied to improve the properties of the microstrip antennas, the main properties such as gain, bandwidth and size are conflict among each other. The improvement of one characteristic accompanies the decline in performance of another characteristics. Low gain and narrow bandwidth remain the major limitation of this antenna type.

Multilayer technique is usually applied to interconnect terminals so that the parameters of each layer correspond to each other. The idea is to design the microstrip antenna by integrating the circuits vertically and reduce in size. The limitations of silicon technologies such as low substrate resistivity, minimum layout feature size and minimum metal density requirements can be solved by multilayer technology. This work provides the former and subsequent research achievements of the Yagi-Uda antenna in a multilayer configuration with consideration of important properties such as small size, low-profile, high gain, impedance bandwidth and linear or circular polarization.

The main purpose of the paper is to discuss the recent research achievements of microstrip antennas for IoT application, review the challenges and limitations in designing

and integration of Yagi-Uda microstrip antennas and emphasize the importance of applying the multilayer technology.

The paper contains the revision of development of the Yagi-Uda microstrip antenna in the first part. Second part highlights the multilayer technology as the designing method of the microstrip antenna with better performance.

I. Yagi-Uda microstrip antenna and its characterization

The basic structure of the microstrip antenna consists of Patch (radiating element), substrate and ground plane. It usually can be fed by contacting or non-contacting methods [14,15].

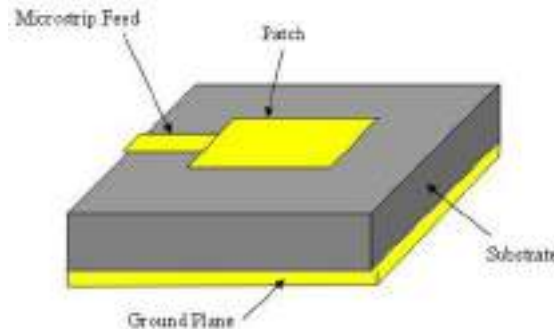


Fig. 1. The basic structure of microstrip antenna [16]

In Fig.1, microstrip line feed technique is demonstrated where the feed is connected to the patch directly. It is the contacting method. Here, the conducting strip functioning as a feed is smaller in width in comparison of the patch, this kind of fabrication on the same substrate allows to provide a planar structure. The feeding technique considers the inset cut in the patch, which enables the impedance matching of the feed line. This feeding scheme is simple in fabrication and modelling as well as matching the impedances.

There are three main parameters of the microstrip antenna: dielectric constant of the substrate, height of the substrate and resonant frequency. By choosing proper parameter of them, S.Kumar et.al[16] proposed a microstrip square-patch antenna with enhanced bandwidth and directive gain by emphasizing the contacting method of feeding technique. The simulated result was significantly improved in terms of its characteristics.

Elijah and Mokayef [17] simulated the conventional and optimized U-shaped microstrip antennas. According to the results, bandwidth was improved from 134.1MHz to 167.6 MHz, gain from 1.83dB to 2.54 dB. Moreover, operating frequency of 5.75 GHz was achieved, which is suitable for IoT application.

The limitations of this technique are surface waves and fake feed radiation which occurred due to the thick dielectric substrate. It enables to the interference and unpleased cross polarized radiation.

Many models of antenna with improved method and materials were proposed, however there were limitations. For better achievement in operation of the antenna, the further step is recognized, which is the upgrade of the fabrication by using arrays. The very first planar Yagi-Uda antenna with arrays was proposed by Qian et.al. [18] in 1998, where the antenna fed by a microstrip-to-coplanar strip transition and reached 6.5 dB gain at 10 GHz. There are several reasons of applying the arrays to antenna: they strengthen the signal; high directivity can be obtained which reduces a power wastage; high signal-to-noise ratio can be achieved; high gain can be obtained.

A novel microstrip Yagi-Uda antenna was introduced at 5.2GHz with the highest for that time gain of 10.7 dBi [19]. A Yagi-Uda antenna consist of two parts: single driven element and additional parasitic element [20]. Yagi-Uda is the array antenna which have parallel dipoles. The output characteristics of the Yagi-Uda such as gain, bandwidth, reflection coefficient is depending on the geometric parameters, which makes the optimization of antenna challenging. There are many scrutinized works have been done among the antenna optimization [21], even the Artificial Intelligence techniques are applied [22-24].

II. Review of the multilayer technology application

Hung et.al [25] introduced the novel Yagi-Uda antenna designed by using multilayer technology, in which the driver and director are located on different layers of printed circuit board.

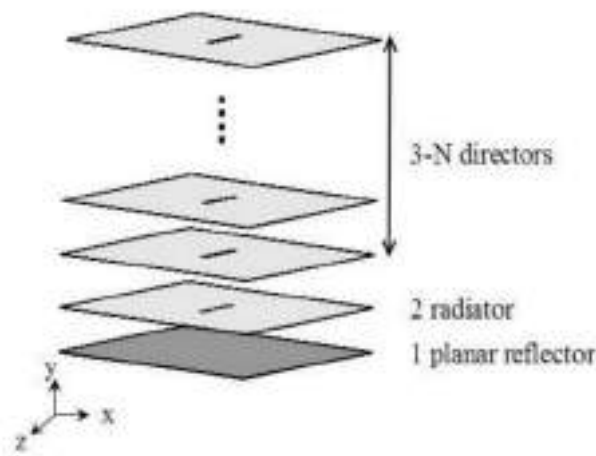


Fig. 2. The model of multilayer Yagi-Uda antenna and the antenna where directors are on the same layer [25]

Figure-2 shows the model of multilayer Yagi-Uda antenna. The layers fabricated by printed circuit board. Here are several layers, where layer 2 represents a driven element, its half-wavelength dipole agreed with resonance. Directors are allocated from layers 3 to N. To achieve better performance, more directors are added to the array. Layer 1 represents the planar reflector. The smaller in number the reflector, better the performance of a Yagi-Uda antenna. This novel proposal of the antenna maintains original advantage of Yagi-Uda antenna. Furthermore, it is pointed out that the multilayer structure allows to reach more variation to enhance the antenna characteristics.

Optimized and modified configurations of the multilayered Yagi-Uda concept [26-28], allow to enhance the gain characteristics and occur appropriate to improve the antenna efficiency. Prajapati et.al. [29] proposed an asymmetric “+” shaped circularly polarized Yagi-Uda microstrip antenna by using the multilayer technology. Application of a novel technique for the antenna, without changing in a size, provided a result of a gain 4.25 dB with the bandwidth of 13.20 MHz. The paper explains the low gain property as the presence of defected ground structure in design. The unique technique proposed by authors is the application of the fractal slots to create circular polarization radiation, which allows to minimize the size of the microstrip antenna.

A vertically designed multilayer Yagi-Uda antenna structure was experimented by Liu et.al [30], in which patches of driving and parasitic elements slit with shaped slots. As a result, a relative bandwidth of about 27% and 12dB gain were achieved. The vertical design with simple feeding mechanism makes the antenna compact and easy to fabricate, which allows broad application for integration.

Ramos et.al [31] proposed two microstrip antennas in 2018, where the one of them designed by applying multilayer technique. The bandwidth of the first proposed planar Yagi-Uda antenna achieved 4.5GHz with the gain of 8.9dBi. In comparison, the second antenna designed in multilayer technology provided more than 25% bandwidth (6.9 GHz), 11dBi gain covering the entire 5G allocated band in Europe allowing its usage for IoT applications [31].

Ho et.al [32] designed the Yagi-Uda array antenna which is in organic package to save efficiency, directivity, and bandwidth, and increase the size of the array elements to reach the maximum gain. Authors experimented with single element and four-element of Yagi-Uda antenna, where the gain was increased from 8 dBi to 14.5 dBi respectively. Four-element antenna array designed in a such way, that all the antennas fed in phase with the same amplitude. It can be noted that the parameters of the driver, director, reflector of the designed antenna such as length, width, element spacing need proper optimization to reach broadband and efficient operational characteristics.

Table 1

Comparison table of the characteristics of microstrip Yagi-Uda antenna according to its applied technology.

Configuration	Technique applied	Bandwidth (GHz)	Gain (dBi)	Ref.
Microstrip square-patch antenna	Contacting feeding technique	0.135	5.7	[16]
U-shaped microstrip antenna	Optimization	0.167	2.54	[17]
The novel quasi-Yagi printed antenna	Arrays fed by microstrip-to-coplanar strip	11.6	6.5	[18]
Four patch Yagi-Uda microstrip antenna	coupled electromagnetically	Low	8	[13]
Microstrip Yagi-Uda antenna	Application of the arrays	5.2	10.7	[19]
Driver and director are located on different layers of PCB	Multilayer technique	NA	NA	[25]
Asymmetric “+” shaped antenna used fractal slots	Multilayer technique	0.86	4.25	[29]
Driving and parasitic elements slit with shaped slots	Multilayer technique	4.2	12.2	[30]
Compact stacked Yagi-Uda antenna	Multilayer technique	6.9	11	[31]
High-directivity microstrip-fed Yagi-Uda in an organic package	Multilayer technique	NA	14.5	[32]

According to the table above, it can be noted that the multilayered implementation seems to be a promising chance for achieving better performance of the Yagi-Uda antenna for IoT application.

Conclusion

The rapid growth of the wireless communication system requires the fast reaction in terms of technology improvement. The focus of the paper is the small and smart sensor networks for IoT applications.

The paper represents a review on microstrip patch antenna applicable in IoT technologies. The characteristic and parameters of antenna, the latest research papers were reviewed. Even though lots of work have been done on microstrip array antennas, there are many applicable methods that makes possible to improve its characteristics. IoT technologies require miniaturized systems of millimeter and micrometer wave technologies. The Yagi-Uda is one of the most practical and commonly used antennas. It features high gain, low weight, and profile, which is inexpensive to manufacture. The comparison table was provided for better illustration of the characteristic's improvement.

The paper provides the challenges and limitations in designing and integration of Yagi-Uda microstrip antennas and emphasize the importance of applying the multilayer technology for achieving better characteristics.

REFERENCES

- [1] Pozar, D. M., and Schaubert, D.H., *Microstrip Antennas: The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays*, IEEE Press, New York, 1995.
- [2] D. Acharjya and M. K. Geetha, "Internet of Things: Novel Advances and Envisioned Applications," in *Internet of Things: Novel Advances and Envisioned Applications*, Springer, 2017.
- [3] Deschamps, G. A., *Microstrip Microwave Antennas*, Third Symposium on the USAF Antenna Research and Development Program, University of Illinois, Monticello, Illinois, October 1957.
- [4] Munson, R. E., *Microstrip Phased Array Antenna*, 22 Annual USAF Antenna Symposium, 1972.
- [5] Munson, R. E., *Single Slot Cavity Antennas Assembly*, U.S. Patent No. 3713162, 1973.
- [6] Pozar, D. M., and Schaubert, D.H., *Microstrip Antennas: The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays*, IEEE Press, New York, 1995.
- [7] Wu, Y.-J., B.-H. Sun, J.-F. Li, and Q.-Z. Liu, "Tripl-band omni-directional antenna for WLAN application," *Progress In Electromagnetics Research*, PIER 76, 477–484, 2007.
- [8] Misra, I. S., R. S. Chakrabarty, and B. B. Mangaraj, "Design, analysis and optimization of V -dipole and its three-element Yagi- Uda array," *Progress In Electromagnetics Research*, PIER 66, 137– 156, 2006.
- [9] Tran, A. and M. C. E. Yagoub, "Intertwined two-section dual- polarized log periodic dipole antenna," *PIERS Proceedings*, 30–33, Prague, Czech Republic, Aug. 27–30, 2007.
- [10] Densmore, A. and J. Huang, "Microstrip Yagi antenna for mobile satellite service," *IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp.*, Vol. 2, 616–619pp, Jun. 1991.
- [11] Zhang, X. C., J. G. Liang, and J. W. Xie, "The Quasi-Yagi antenna subarrat fed by an orthogonal T junction," *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol. 4, 109– 112pp., 2008.
- [12] Chen, C. A. and D. K. Cheng, "Optimum element lengths for Yagi- Uda arrays," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 23, Jan. 1975

- [13] Huang, J., "Planar microstrip Yagi array antenna," IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp., Vol. 2, 894–897, Jun. 1989.
- [14] Constantine A. Balanis; Antenna Theory, Analysis and Design, John Wiley & Sons Inc. 2nd edition. 1997.
- [15] Garg, R and Ittipiboon, A; "Microstrip Antenna Design Handbook", Artech House, 2001.
- [16] Kumar, S., Tripathi, S.K., Kumar, N., & Aggarwal, R. "Design of microstrip square-patch antenna for improved bandwidth and directive gain". International Journal of Engineering Research and Application, vol.2, issue 2, 2012.
- [17] Elijah, A.A., & Mokayef, M., Miniature microstrip antenna for IoT application. *Materials Today: Proceedings*, 29, 43–47 pp, 2020.
- [18] Y. Qian, W. Deal, N. Kaneda, and T. Itoh, "Microstrip-fed quasi-Yagi antenna with broadband characteristics", *Electron. Lett.*, vol. 34, pp.194–2196, 1998.
- [19] DeJean, G. R. and M. M. Tentzeris , "A new high-gain microstrip Yagi array antenna with a high front-to-back (F/B) ratio for WLAN and millimeter-wave applications," IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 55, Feb. 2007
- [20] S. Uda and Y. Mushiake, *Yagi-Uda Antenna*. Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 1954.
- [21] J. Y. Li, "Optimizing design of antenna using differential evolution," in *2007 Asia-Pacific Microwave Conference*, Dec 2007, pp. 1–4.
- [22] D. G. Reid, "The gain of an idealized yagi array," *Electrical Engineers - Part IIIA: Radiolocation, Journal of the Institution of*, vol. 93, no. 3, pp. 564–566, 1946.
- [23] D. K. Cheng, "Gain optimization for yagi-uda arrays," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 33, no. 3, pp. 42–46, June 1991
- [24] E.A.Jonesand, W.T.Joines, "Design of yagi-uda antennas using genetic algorithms," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 45, no. 9, pp. 1386–1392, Sep 1997.
- [25] K.L.Hung, H.T.Chou, KJ Lee, "Novel Multilayer Structure Yagi-Uda Antenna" International Symposium on Antennas and Propagation, 2008.
- [26] Kramer, O.; Djerafi, T.; Wu, K.: Vertically multilayer stacked Yagi antenna with single and dual polarizations. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 58 (4), 2010.
- [27] Alhalabi, R.A.; Rebeiz, G.M.: Differentially-fed millimeter-wave Yagi–Uda antennas with folded dipole feed. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 58 (3), 2010.
- [28] Choe, H.; Lim, S.: Directivity and diversity dual-mode stacked antenna array using directors of Yagi–Uda antenna as monopole antennas. *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*,13, 2014.
- [29] Prajapati, P., Patnail, A., Kartikeyan, M., "Design and characterization of an efficient multilayered circularly polarized microstrip antenna", *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 8(9), 2016.
- [30] Y. Liu, H. Liu, M. Wei and S. Gong, "A Novel Slot Yagi-Like Multilayered Antenna With High Gain and Large Bandwidth," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 790–793, 2014
- [31] Ramos, A.,Varum, T., Matos, J.N. "Compact Multilayer Yagi-Uda Based Antenna for IoT/5G Sensors. *Sensors*", 2018._

[32] Ho, C., Jhong, M., Pan, P., Wang, C., Ting, C., Ken-Huang, Hsueh, L.E., Liu, S., & Chang, H. "Antenna array integrated on multilayer organic package for millimeter-wave applications.", *IEEE 18th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)*, 644-647, 2016.

АНТЕННАЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫНЫҢ МҰЗДАНУЫ ЖАҒДАЙЫНДА ҰҰА РАДИОБАСҚАРУ АРНАСЫНЫҢ ҚАБЫЛДАУ- БЕРУ ЖОЛЫНДА СӘЙКЕСТЕНДІРУШІ ТІЗБЕКТЕРДІ ПАЙДАЛАҢУ ӘДІСТЕМЕСІ

Ондырбаев Нурболат Мырзагелдыұлы¹, Нұржауов Нурсұлтан Ерланұлы², Жұманов
Еламан Ержанұлы³, Бойкачев Павел Валерьевич⁴

^{1,2,3}Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті

⁴Учреждение образование «Военная академия Республики Беларусь» Республика
Беларусь

¹nurbolat01.kz@gmail.com, ²nursultan104@mail.ru, ³elaman.v1@gmail.com,
⁴pashapasha.boi@mail.ru

Аннотация. Мұздану жағдайында басқару каналы антеннасының, ұшқышсыз ұшу аппаратының импедансын эксперименттік зерттеу нәтижелері ұсынылған. Мұздану жағдайында және оларсыз ұшқышсыз ұшу аппаратының басқару арнасының антеннасының математикалық моделі ұсынылған. Радиотехникалық жүйелерді оларды пайдаланудың табиғи жағдайларының кең спектрінде жүктеменің өзгеретін кедергісіне бейімдейтін кең жолақты үйлестіру құрылғыларын синтездеу әдісі көрсетілген. Мұздану жағдайында ұшқышсыз ұшу аппаратының басқару арнасының антенналық құрылғысы үшін кең жолақты келісу тізбегі синтезделді, бұл радиотехникалық ықтимал қол жетімді диапазонында сәйкес тізбексіз антенна құрылғысына қатысты 25% - ға дейін ұтысты қамтамасыз етеді.

Түйінді сөздер: ұшқышсыз ұшу аппараты, мұздану, кең жолақты келісу, инвариант, сезімталдық, импеданс, математикалық модельдеу, синтез әдістемесі.

METHODOLOGY FOR USING IDENTIFICATION CIRCUITS IN THE RECEPTION AND TRANSMISSION PATH OF THE UAV RADIO CONTROL CHANNEL IN CONDITIONS OF ICING OF THE ANTENNA DEVICE

Ondyrbayev Nurbolat Myrzageldyuly¹, Nurzhauov Nursultan Erlanuly², Zhumanov Elaman
Erzhanuly³, Boykachev Pavel Valerevich⁴

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
named after Gumarbek Daukeev

¹nurbolat01.kz@gmail.com, ²nursultan104@mail.ru, ³elaman.v1@gmail.com ,
⁴pashapasha.boi@mail.ru

Annotation. The results of an experimental study of the impedance of a control channel antenna, an UAV under icing conditions are presented. A mathematical model of the control channel antenna of an UAV under icing conditions and without them is presented. The method of synthesizing broadband coordination devices that adapt radio engineering systems

to changing load resistance in a wide range of natural conditions of their operation is shown. In the case of icing, a broadband coordination circuit was synthesized for the antenna device of the control channel of the UAV, which provides a gain of up to 25% in relation to the antenna device without the corresponding circuit in the potentially available range of radiolines.

Key words: *unmanned aerial vehicle, icing, broadband coordination, invariance, sensitivity, impedance, mathematical modeling, synthesis methodology.*

Кең жолақты сәйкестендірудің заманауи әдістері жоғары техникалық сипаттамалары бар әртүрлі мақсаттағы радиотехникалық құрылғыларды (РТҚ) дамытудың айтарлықтай мүмкіндіктерімен сипатталады [1]. Қолданылатын әдістерге қарамастан, сәйкес тізбектерді синтездеудің бірінші кезеңі сәйкес келетін жүктеменің бастапқы қасиеттерін зерттеу және анықтау болып табылады. Әдетте, сәйкес келетін жүктеменің кіріс сипаттамалары қарастырылып отырған күрделі кедергі параметрін сипаттайтын функцияның нақты және қиял компоненттерінің дискретті нүктелері түрінде ұсынылған – [2]. Мұндай ұсыну әрдайым жеткілікті ақпараттық бола бермейді және эквивалентті тізбектерді немесе сәйкес келетін жүктемелердің аналитикалық көріністерін қажет ететін кең жолақты және жиілікті-селективті құрылғыларды синтездеудің көптеген заманауи әдістерінде қолдануға болмайды [3].

РТЖ құрамына кіретін РТҚ сипаттамаларын (күшейткіштер, жиілік сүзгілері, АҚ және т.б.) ұсынудың бір тәсілі эксперименттік деректердің нәтижелерін жуықтау негізінде құрылған аналитикалық математикалық модельдеу болып табылады [4, 5]. Мұндай математикалық модель жүйенің мінез-құлқын жан-жақты талдауға және бұрын жүргізілген статистикалық зерттеулердің нәтижелерін кеңінен қолдануға негізделген.

Әдетте, келісілетін жүктемелердің импеданс сипаттамалары екі шаманың сандық қатарларымен ұсынылған: тәуелсіз (y_i) және тәуелді (x_i), олардың әрқайсысы жалпы жағдайда белгілі бір тұрақты (детерминистік) компоненттен басқа, әр түрлі табиғаттың кездейсоқ компоненттерін қамтуы мүмкін. Бұл зерттелетін процестердің статистикалық сипатына, сондай-ақ өлшеу және деректерді түрлендіру процестерінің көптеген сыртқы факторларына (шу, кедергі, тұрақсыздандыратын факторлар және өлшеу қателері) байланысты. Біздің жағдайда бұл температураның әсері және мұздану. Сонымен қатар, Орталық шекті теоремаға сәйкес тәуелді айнымалының кездейсоқ компонентінің мәндері (меншікті және "жиынтық") қалыпты ықтималдық Заңы бойынша бөлінеді деп болжанады [6].

Осыған сүйене отырып, [7] сенімділік (сенімділік ықтималдығымен сипатталады) және дәлдік (салыстырмалы қателік мәнімен сипатталады) көрсеткіштерінің берілген мәндерімен белгілі бір сипаттаманың математикалық күтуін анықтауды қамтамасыз ететін N (жүргізілген заттай, жартылай заттай немесе модельдік эксперименттердің саны) іріктеменің қажетті көлемін анықтау әдістемесі ұсынылған.

1-кестеде бірлікке тең вариация коэффициенті кезінде қалыпты бөлінген сипаттаманың математикалық күтуін бағалау үшін қажетті іріктеу көлемі көрсетілген.

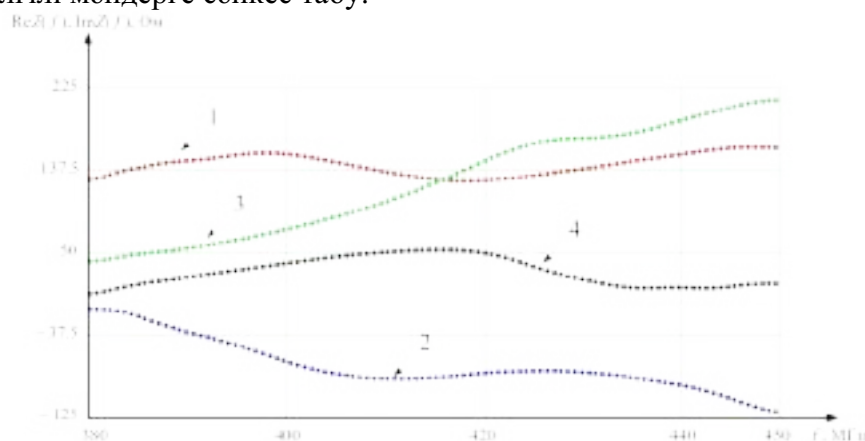
РТҚ сипаттайтын мәліметтер жиынтығы өңделеді, яғни алынған мәліметтер одан әрі мазмұнды талдау, түсіндіру және ғылыми тұжырымдар мен практикалық ұсыныстар үшін негіз болатын белгілі бір және теңдестірілген жүйеге келтіріледі. Нәтижесінде біз кіріс факторының (X_m) әр мәні Шығыс факторының (Y_m) мәніне сәйкес келетін, яғни қарастырылатын аут сипаттамасының тәжірибелік зерттеулерінің деректерін аламыз (кесте немесе график түрінде). бағаланатын сипаттаманың математикалық күтуін $\hat{M}_\theta$ нүктелік бағалауға сәйкес келетін жұп сандар (x_{mi}, y_{mi}) белгілі θ – эксперименттік деректердің тұрақты компоненті. Мысал ретінде 1-суретте мұзсыз

және мұздану нәтижесінде ҰҰА басқару арнасының істік антеннасының кедергісін өлшеудің өңделген нәтижелері көрсетілген.

Кесте 1. Вариация коэффициенті бірлікке тең болған кезде математикалық күтуді бағалау үшін қажетті іріктеу көлемі.

Сенімділік ықтималдығының мәні	Салыстырмалы қатенің мәні, %						
	30	25	20	15	10	5	1
0,5	5	7	11	20	46	182	4556
0,6	8	12	18	31	71	282	7056
0,7	12	17	27	48	108	433	10820
0,8	18	26	41	73	164	657	16440
0,9	30	43	68	120	272	1080	26990
0,95	43	62	96	171	384	1537	38420
0,99	73	106	166	295	664	2654	66360

Іс жүзінде, инженерлік мәселелерді шешу үшін функцияның мәндері кестеде көрсетілгеннен басқа басқа нүктелерде қажет. Бұл жағдайда біз интерполяцияға (немесе интерполяцияға) жүгінуіміз керек – функциялардың белгісіз мәндерін берілген нүктелердегі белгілі мәндерге сәйкес табу.



1, 3 – мұз қатпай АҚ импедансының нақты бөлігі (мұздану жағдайында); 2, 4 мұз қатпай АҚ импедансының жалған бөлігі (мұздану жағдайында)

Сурет 1. ҰҰА басқару арнасының істікшелі антеннасының кедергісін өлшеудің өңделген нәтижелерін графикалық бейнелеу.

Осылайша, эксперименттік деректерді өңдеу нәтижесі эксперименттік зерттеулер барысында алынған нәтижелерді неғұрлым дәл сипаттайтын және функционалдық тәуелділікті сипаттайтын қисықтар мен беттерге қойылатын талаптар мен шектеулерді қанағаттандыратын интерполяциялық (эксперименттерді бірнеше рет жүргізген кезде) немесе тегістейтін (экспериментті бір рет жүргізген кезде) текше сплайн түрінде ұсынылған зерттеу объектісінің эталондық математикалық моделі болып табылады эксперименттік зерттеулер. Алайда, мұндай анықтамалық математикалық модельді әртүрлі инженерлік есептерді шешу үшін қолдануға болмайтындығына ерекше назар аудару керек, өйткені ол келесі шектеулерге ие модельденген процестің физикалық сипатына сәйкес келмейді [8].

Физикалық іске асырылу жағдайларына сүйене отырып [9] импеданс сипаттамалары түрдің бөлшек-рационалды функциялары болып табылады:

$$f(s) = \frac{a_0 + a_1 s + a_2 (s)^2 + \dots + a_k (s)^k}{b_0 + b_1 s + b_2 (s)^2 + \dots + b_q (s)^q}, \quad (1)$$

$s = i\omega$ - күрделі айнымалы;

$m_1 = a_0 + a_2 s^2 + \dots + a_{2k} s^{2k}$ - функция алымының жұп бөлігі $f(s)$;

$m_2 = b_0 + b_2 s^2 + \dots + b_{2q} s^{2q}$ - функция бөлімінің жұп бөлігі $f(s)$;

$n_1 = a_1 s + \dots + a_{(2k-1)} s^{(2k-1)}$ - функция алымының тақ бөлігі $f(s)$;

$n_2 = b_1 s + \dots + b_{(2q-1)} s^{(2q-1)}$ - функция бөлімінің тақ бөлігі $f(s)$.

S-дегі барлық коэффициенттер нақты және теріс емес болуы керек, ал нумератордың (k) және деноминатордың (q) көпмүшелік дәрежелері, олардың төменгі дәрежелері сияқты, 1-ден аспауы керек; бұл функцияның нөлдері мен полюстері s жазықтығының қиял осінде ауысуы керек [10].

2. 2n полюстері үшін $f(s)$ функциясы Осы екі полюстің $Z(s)$ кіріс кедергісінің қасиеттеріне ие болуы керек. Мұндай төрт полюстердің кіріс функциялары келесі қосымша шартты қанағаттандыратын оң нақты функциялар класына жатады: $\operatorname{Re}[f(s)] \geq 0$ немесе $\operatorname{Re}[Y(s)] \geq 0$ кезінде $s \geq 0$.

3. Сондай-ақ, оң нақты функциялар әрқашан Гурвицтің екі көпмүшесінің қатынасы екенін ескеру қажет, яғни нөлдер мен осындай функциялардың полюстері сол жақ жарты жазықтықта орналасқан. Сонымен қатар, егер PVF-де қиял осінде полюстер немесе нөлдер болса ($s = 0$ және $s = \infty$ қоса), онда бұл полюстер мен нөлдер нақты және оң болады.

Жоғарыда келтірілген шектеулерге сүйене отырып, күрделі жүктемелердің импеданс сипаттамаларын жуықтау мәселесін шешу үшін ұсынылады: жуықтау функциясы ретінде түрдің бөлшек-рационалды функциясын қолдану (1) [4]. Математикалық түрлендіруді қолдана отырып, (1) өрнекті $f(s)$ -тің жұп $Ev f(s)$ және тақ $Od f(s)$ бөліктер түрінде ұсынамыз:

$$Ev f(s) = \frac{m_1 m_2 - n_1 n_2}{m_2^2 - n_2^2}; \quad (2)$$

$$Od f(s) = \frac{n_1 m_2 - m_1 n_2}{m_2^2 - n_2^2}. \quad (3)$$

$s = i\omega$ кезінде:

$$Ev f(s)|_{s=i\omega} = \operatorname{Re} f(i\omega);$$

$$Od f(s)|_{s=i\omega} = i \operatorname{Im} f(i\omega).$$

(2) және (3) өрнектерді жуықтау функциялары $\operatorname{Re} f(s)$ және $\operatorname{Im} f(s)$ зерттеу объектісінің кіріс және беру сипаттамаларын құраушылар ретінде пайдалану ұсынылады. Жуықтау функцияларының ең оңтайлы коэффициенттерін табу үшін компьютерлерді қолдана отырып, сызықты емес оңтайландырылған процедуралардың

әдістерін қолдану қажет (мысалы, Левенберг-Марквардтты онтайландыру әдісі [11], [12]). Ол адекваттылықтың жоғары дәрежесімен (сенімді ықтималдықпен 0,9 кем емес және салыстырмалы қателікпен 10% артық емес) ауыздың кіріс және беру сипаттамаларының аналитикалық математикалық моделін (АММ) қалыптастыруға мүмкіндік береді [7, с.9].

Әдістеменің мәні келесідей:

1) іске асырылатын математикалық модельге талаптар мен шектеулер қойылады. Қойылатын талаптарға сәйкес 1-кестеге сәйкес аут сипаттамасына жүргізілетін өлшеулердің қажетті саны анықталады;

2) өлшеулердің талап етілетін санын жүргізгеннен кейін эксперименттік деректерді өңдеу және зерттеу объектісінің эталондық моделін қалыптастыру (стохастикалық деректерден детерминирленген деректерге көшу) жүзеге асырылады, бұл жуықтаудың сапасын бағалауға мүмкіндік береді;

3) осыдан кейін ауыздың импеданс сипаттамаларын сипаттайтын функцияға қойылатын шектеулерді ескере отырып, жуықтау функциясы қалыптасады, оның барабарлығы қалыптасқан эталонға қатысты абсолюттік кінәрат есебімен бағаланады. Айта кету керек, қатені табу әр түрлі болуы мүмкін.

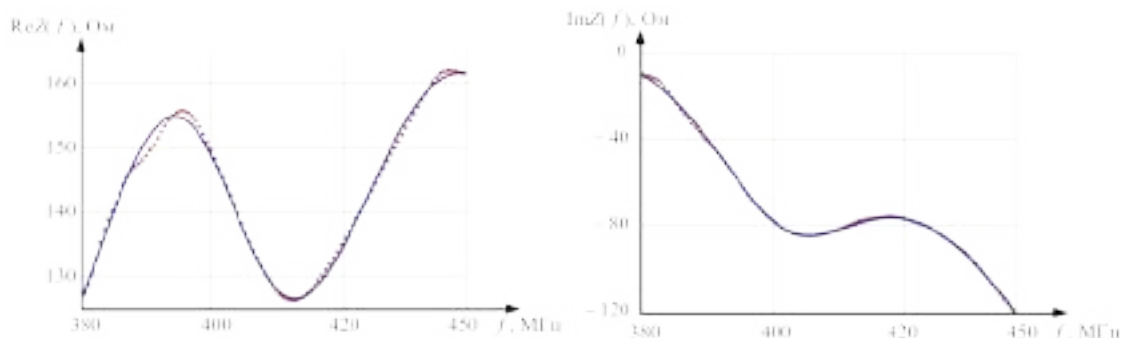
Кесте 2. Мұзсыз АҚ-ның импеданс сипаттамаларын жақындататын бөлшек-рационалды функцияның коэффициенттері

Коэффициент	Мәні	Коэффициент	Мәні	Коэффициент	Мәні
a_0	94.617	a_4	219.477	b_2	0.279
a_1	37.184	a_5	0.916	b_3	3.282
a_2	302.596	b_0	0.359	b_4	0.168
a_3	52.215	b_1	1.382	b_5	1.187

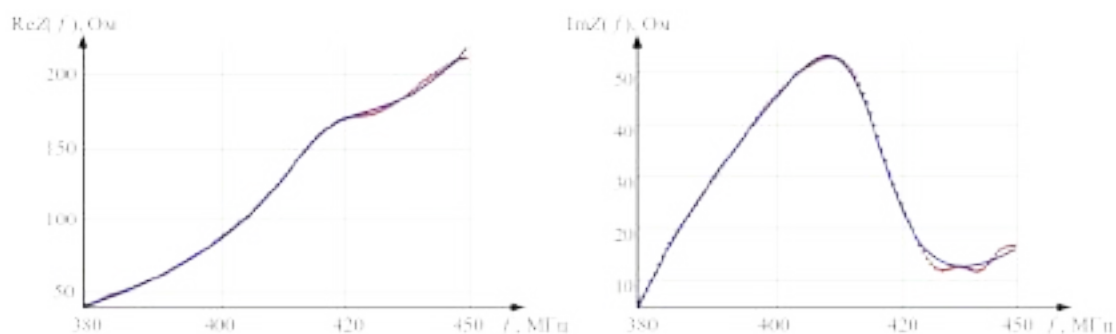
Кесте 3. Мұздану жағдайында АҚ-ның импеданс сипаттамаларын жақындататын бөлшек-рационалды функцияның коэффициенттері

Коэффициент	Мәні	Коэффициент	Мәні	Коэффициент	Мәні
a_0	93.299	a_5	0.407	b_3	0.932
a_1	11.938	a_6	45.561	b_4	6.612
a_2	267.507	b_0	1.707	b_5	0.461
a_3	15.725	b_1	0.455	b_6	2.398
a_4	222.84	b_2	5.907		

АҚ кіріс кедергісінің жуықтау функциясының жиілік сипаттамалары 2-суретте көрсетілген.



а)



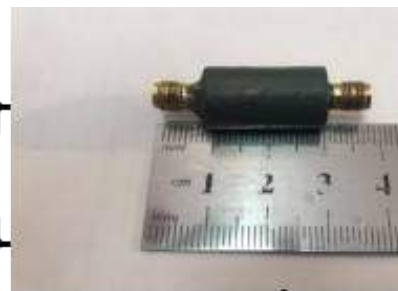
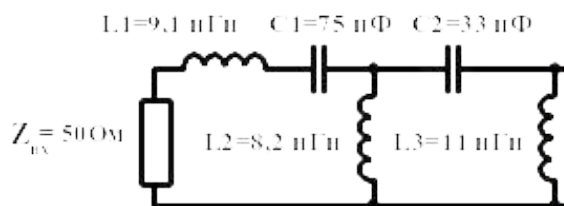
б)

Сурет 2. Мұзсыз (А) және мұздану (Б) (нүктелер) жағдайларында АҚ кіріс кедергісінің функциялары және жиіліктің жұмыс жолағындағы оның есептелген АМ (тұтас сызықтар).

2-суретте АҚ кіріс кедергісінің есептелген АММ кіріс кедергісінің сипаттамаларына жуықтаудың қажетті абсолютті қателігін қамтамасыз ететіндігі және 10% - дан аз екендігі айқын көрінеді.

Бұл тәсіл жұмыс жағдайларына байланысты жүктеме кедергісіндегі кез-келген өзгерістерді талдауға ғана емес, сонымен қатар келісілген құрылғының жұмыс жағдайлары өзгерген кезде қуаттың максималды берілуін қамтамасыз ететін кең жолақты сәйкестендірудің әртүрлі әдістері мен әдістерін қолдануға мүмкіндік береді.

[4] синтезі әдістемесі және әдістеме бойынша мұздану жағдайында және онсыз АҚ мен қабылдап-беруші модуль арасында қуатты берудің ең жоғары деңгейін қамтамасыз ету үшін 415-тен бастап 12-ге дейінгі диапазонда жұмыс істейтін сатылы құрылымның СТ (сәйкестендіру тізбегі) (3-сурет) әзірленді. 449 МГц E24 номиналдарының элементтерімен. Жиілік диапазонының кеңеюі мұздану кезінде АҚ резонансының ығысуына байланысты.

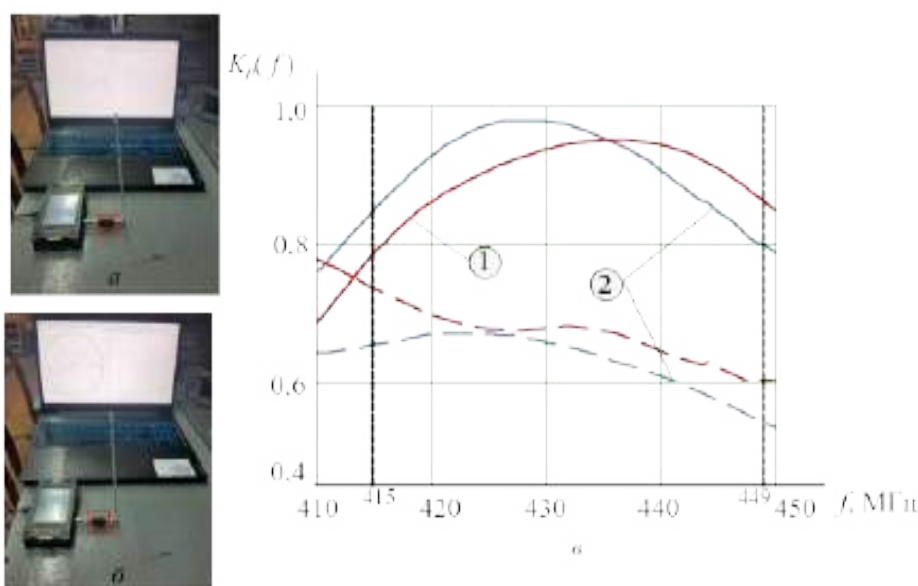


а-принципті схема; б - СТ сыртқы түрі
 Сурет. 3. Бес элементтен тұратын СТ баспалдақты құрылымы

Айта кету керек, принципті схеманы (3 а-сурет) қорғаныс корпусында (3 б-сурет) жүзеге асырудың шамалы мөлшері бар және салмағы 8 грамм, бұл ҰҰА басқару каналының жолында қолдануға рұқсат етіледі.

Сәйкестендіруші тізбекті ҰҰА басқару радиоарнасының қабылдау-беру трактісінде қолдану 4-суретте көрсетілген қуат беру деңгейін қамтамасыз етеді, онда үздіксіз сызық синтезделген со-ға тәуелділікті көрсетеді, ал штрихсыз.

4 (в) суретте көрсетілген тәуелділіктерге талдау жасай отырып, со қолдану штаттағы жағдайларда да, АУ мұздану жағдайларында да сигнал көзінен жүктемеге (шығынды 38% - дан 13% - ға дейін азайту) қуатты берудің жоғары деңгейін қамтамасыз етеді, бұл ҰҰА басқару арнасын тұрақты радиобайланыспен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді деп қорытынды жасауға болады.



1-АҚ мұзданусыз; 2-АҚ мұздану жағдайында; СТ-пен (мұзданусыз, АҚ мұздану жағдайында)

Сурет. 4. Эксперимент жүргізу нәтижелері: а) мұздану жағдайында; б) мұзсыз; в) ҚБК жиілікке тәуелділігі түрінде.

Қорытынды

Эксперимент нәтижелері оны пайдаланудың табиғи жағдайларында (қысқы кезеңде эксперименттік зерттеулер жүргізу шеңберінде) ҰҰА мұздану ықтималдығы жоғары екенін көрсетті. Басқару арнасының АҚ-ға мұндай әсері барлық жұмыс жиіліктерінің диапазонындағы радиотехникалық трактінің сипаттамаларының нашарлауына әкеледі, бұл АҚ мен қабылдағыш-таратқыш модуль арасындағы үйлесімділіктің болмауына байланысты және радиобайланыс қашықтығының төмендеуіне әкеледі. Бұл мәселені шешу үшін үйлестіру құрылғыларын синтездеудің жаңа әдісі ұсынылды, бұл ау және ҰҰА басқару арнасының қабылдағыш модулін үйлестіруге және ҰҰА мұздану жағдайында берілетін қуаттың жоғалуын 25% дейін азайтуға мүмкіндік берді.

Әдебиеттер

- [1]. Филиппович, Г.А. Широкополосное согласование сопротивлений // Г.А. Филиппович: моногр. / Г. А. Филиппович. – Минск: ВА РБ, 2004. – 175 с.
- [2]. Каганов, В.И. Системы автоматического регулирования в радиопередатчиках / В.И. Каганов- М.: Связь, 1969. - 256 с.
- [3]. Свириденко, А.А. Методика широкополосного согласования нагрузок с сосредоточенными параметрами на основе обобщенной матрицы рассеяния / А.А. Свириденко, М.А. Янцевич // Информационные технологии в образовании, науке и производстве: VI Международная научно-техническая интернет-конференция, 17-18 ноября 2018 г.[Электронный ресурс]
- [4]. Исаев В. О., Бойкачев П. В. – Способ нахождения адекватных математических моделей радиотехнических устройств с нестабильным импедансом // «Метрология и приборостроение» №1(92) 2021. – С.9–16.
- [5]. Исаев В. О., Бойкачев П. В. – Аналитическое математическое моделирование входных характеристик радиотехнических систем // «Проблемы физики, математики и техники» №3(48) 2021. – С.88–95
- [6]. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей: изд. 10 / Е. С. Вентцель. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 576 с.
- [7]. Косачев, И. М. Методики расчета показателей достоверности и точности оцениваемых тактико-технических характеристик вооружения, военной и специальной техники / И. М Косачев, Д. С. Нефедов // Вестник Военной академии Республики Беларусь. – Минск, 2015. – №1(46). – С. 107–135.
- [8]. Исаев, В. О., Дубовик, И. А., Бойкачев, П. В., Сутько, А. А. Математическая модель радиотехнических устройств / В. О. Исаев, И. А. Дубовик, П. В. Бойкачев, А. А. Сутько // II Международная Научно-Практическая Конференция «Endless Light in Science», г. Нур-Султан, 6-8 мая 2020, Казахстан, 2020. – С.27-33.
- [9]. Карни, Ш., Теория цепей. Анализ и синтез. – М. «Связь», 1973. – 269с.
- [10]. Ланнэ, А.А. Оптимальный синтез линейных электрических цепей / А. А. Ланнэ. – М.: Связь, 1969. – 294 с.
- [11]. Levenberg K. A method for the solution of certain problems in least squares // Quart. Appl. Math., 1944. № 2. P. 164-168.
- [12]. Marquardt D. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters // SIAM J. Appl. Math., 1963. № 11. P. 431-441.
- [13]. Бойкачев, П.В., Метод синтеза широкополосных устройств с оптимальной характеристикой коэффициента преобразования мощности, согласующих изменяющийся во времени импеданс нагрузки / И. А. Дубовик, П. В. Бойкачев, В. О. Исаев // [Электронный ресурс] Журнал радиоэлектроники. – 2021. – №5. – Режим доступа: (<https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.5.1>).

РАСЧЕТ ДАЛЬНОСТИ СЧИТЫВАНИЯ RFID СИСТЕМЫ

Павлова Татьяна Александровна¹, Сафин Рафаиль Тлегенович², Гармашова Юлия Михайловна³

^{1,3}«Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева»,

²«Казахский университет путей сообщения», г. Алматы, Казахстан

¹t.pavlova@aes.kz, ²raf.safin@mail.ru, ³j.garmashova@aes.kz

Аннотация: В настоящее время наиболее актуальным вопросом для разработчиков систем радиочастотной идентификации остаётся вопрос выбора типа меток для заданной дальности связи до считывателя. В данной статье приведен расчет радиусов антенн считывателя и метки с учетом электромагнитных показателей для увеличения дальности работы RFID устройств. Исследования проводились на основании зависимости магнитной индукции от радиуса антенны для трех значений дальности считывания и зависимости магнитной индукции от расстояния до метки. В том числе произведен расчет дальности по заданным электрическим и конструкторским параметрам антенн метки и считывателя для точного определения дальности действия системы радиочастотной идентификации. А также даются рекомендации о выборе типа меток для данной технологии.

Ключевые слова: RFID технология, считыватель, транспондер, антенна, метка.

CALCULATION OF THE RFID SYSTEM READING RANGE

Pavlova Tatiana Alexandrovna¹, Safin Rafail Tlegenovich², Garmashova Yulia Mikhailovna³

^{1,3}«Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev»,

²«Kazakh University of Communications», Almaty, Kazakhstan

¹t.pavlova@aes.kz, ²raf.safin@mail.ru, ³j.garmashova@aes.kz

Abstract: Currently, the most pressing issue for developers of radio frequency identification systems is the question of choosing the type of tags for a given communication distance to the reader. This article provides a calculation of the radii of the reader antennas and tags, taking into account electromagnetic indicators to increase the range of RFID devices. The studies were carried out on the basis of the dependence of magnetic induction on the antenna radius for three values of the reading range and the dependence of magnetic induction on the distance to the tag. In particular, the range was calculated according to the specified electrical and design parameters of the tag and reader antennas to accurately

determine the range of the radio frequency identification system. Recommendations are also given on the choice of the tag type for this technology.

Keywords: *RFID technology, reader, transponder, antenna, tag.*

Введение

На предприятиях, в организациях разного профиля деятельности, а также в дошкольных и школьных организациях применяют системы по определению местоположения подвижных объектов для следующих целей: осуществление контроля доступа в целях безопасности людей; контроль трудовой дисциплины и отметка прибытия и убытия сотрудников предприятия (особенно если время прибытия сотрудников на рабочее место не одинаково). В настоящее время существуют различные виды систем, позволяющие контролировать доступ сотрудников в помещения и определить положение объектов внутри здания. Системы, использующие RFID метки позволяют осуществлять все эти операции, поэтому они стали наиболее популярны.

RFID система состоит из следующих элементов: считыватель, метка, антенны метки и считывателя, а так же радиоканал связи между меткой и считывателем. Для того, чтобы система правильно функционировала нужно правильно подобрать дальность, на которой считыватель может идентифицировать метку. Поэтому прежде всего производят расчет дальности для заданных параметров системы.

Основная часть. Расчет дальности для различных значений радиуса антенн считывателя и метки

В системах RFID дальность считывания вычисляется как максимальное расстояние, при котором обмен сообщениями между считывателем и транспондером осуществляется с допустимым качеством. Прежде чем с транспондера можно будет считать информацию, к нему должна прийти энергия от считывателя. При этом считыватель должен посылать сигнал большой мощности, чтобы модулированный сигнал от метки мог быть принят считывателем. Главным недостатком этих схем для увеличения дальности считывания является физические ограничения магнитной индукции, накладываемые на электромагнитные волны при передаче энергии метке.

Аналоговый интерфейс считывателя и транспондера показан на рисунке 1.

Считыватель и транспондер имеют свою резонансную цепь, настроенную на общую для них частоту 2.45 ГГц. Антенна считывателя излучает электромагнитное поле с напряженностью $H_R(x)$ [1]:

$$H(r) = \frac{INr^2}{2(r^2 + x^2)^{3/2}}, \quad (1)$$

где I – ток, N – количество витков антенны, r – радиус антенны.

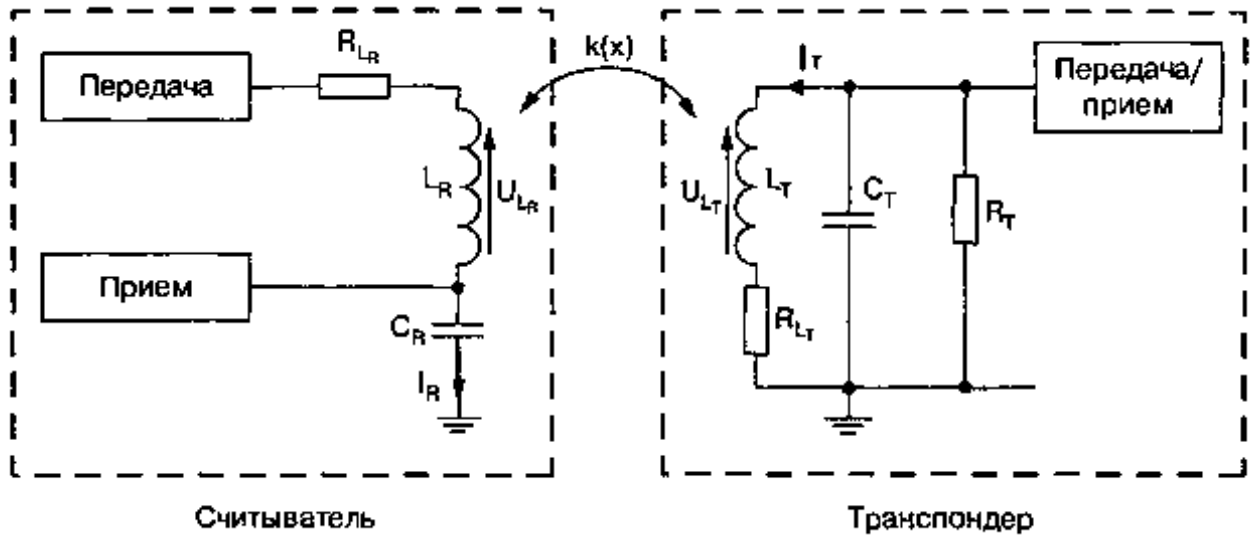


Рис. 1 Аналоговый интерфейс считывателя и транспондера

Магнитная индукция находится по формуле [1]:

$$B(r) = \mu_o H_R(x) = \frac{\mu_o I N r^2}{2(r^2 + x^2)^{3/2}}, \quad (2)$$

где μ_o – магнитная проницаемость среды, $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.

Предполагая, что $I = 0.5 \text{ А}$, $N = 1$, расстояние $x = \{0.1, 0.2, 0.5\}$, в системе автоматизированного проектирования *Mathcad* построим график зависимости магнитной индукции от радиуса антенны при трех значениях x (см. рисунок 2).

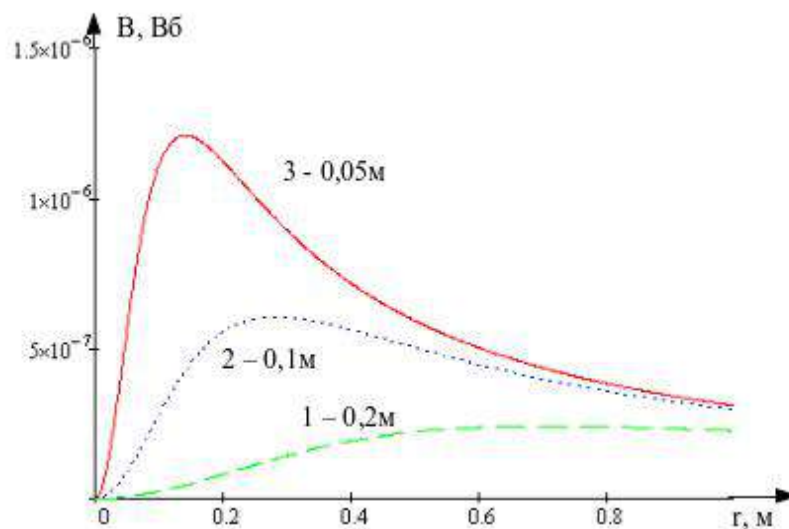


Рис. 2 Зависимость магнитной индукции от радиуса антенны для трех значений дальности считывания

На графике зависимостей кривые обозначены номерами: 1 – расстояние 0,1 м; 2 – 0,2 м; 3 – 0,5 м. Из графика видно, что у антенны с наибольшим радиусом катушки индуктивности магнитная индукция максимальна

При проектировании антенны считывателя необходимо обеспечить требуемый минимум напряженности магнитного поля H_{min} для метки.

Зависимость магнитной индукции от расстояния определим в соответствии с формулой (2). На рисунке 3 показана зависимость магнитной индукции от расстояния до метки при различных радиусах антенны считывателя с параметрами $I=0.1$ А, $N=1000$, $r=\{0.2, 0.1, 0.05\}$.

На графике зависимостей (см. рисунок 3) кривые обозначены цифрами: 1 – радиус антенны 0,2 м; 2 – 0,1 м; 3 – 0,05 м. анализируя рисунок 3, можно прийти к выводу, что при увеличении расстояния до метки величина магнитной индукции уменьшается в обратной пропорциональности от радиуса антенны. Чем больше радиус антенны, тем медленнее происходит уменьшение магнитной индукции B .

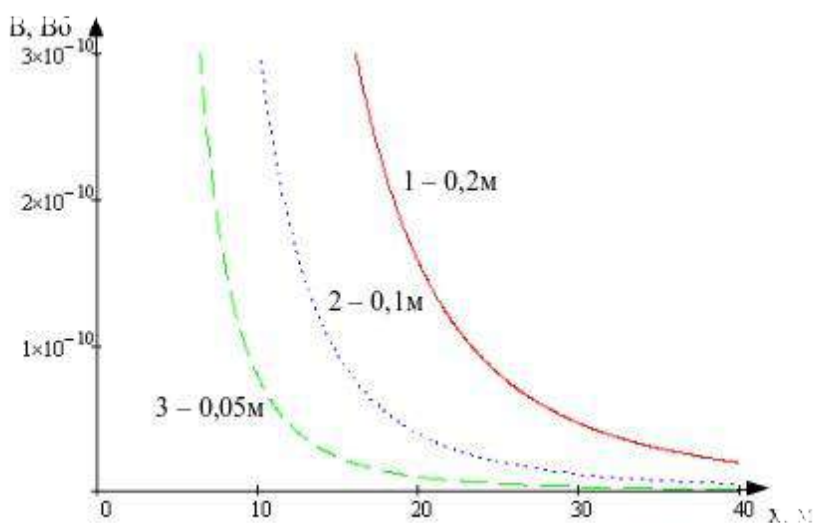


Рис. 3 Зависимость магнитной индукции от расстояния до метки

Системы RFID, действующие на более высоких частотах, имеют более высокую дальность считывания, чем системы, работающие на более низких частотах. Это обусловлено тем фактом, что величина напряжения U_T , индуцируемого в метке, прямо зависит от частоты электромагнитного поля, проходящего через антенну метки [1]:

$$U_T = 2 \pi f N S Q B_r \sin \theta \quad , \quad (3)$$

где f - частота поступившего сигнала; N - число витков обмотки в рамке антенны метки; S - площадь рамки антенны метки; Q – добротность антенны метки; B_0 - плотность поступившего магнитного потока; θ - угол между вектором поля и плоскостью транспондера.

Произведем расчеты при напряжении включения, равным $0,3 \text{ В}$ и параметрах антенны метки: радиус обмотки равен 5 см ; число витков равно 10 .

Найдем минимальную магнитную индукцию [1]:

$$B_{r\min} = \frac{U_T}{2\pi^2 f N a^2 Q \sin \theta} = 3,597 \cdot 10^{-11} \quad \text{Вб.} \quad (4)$$

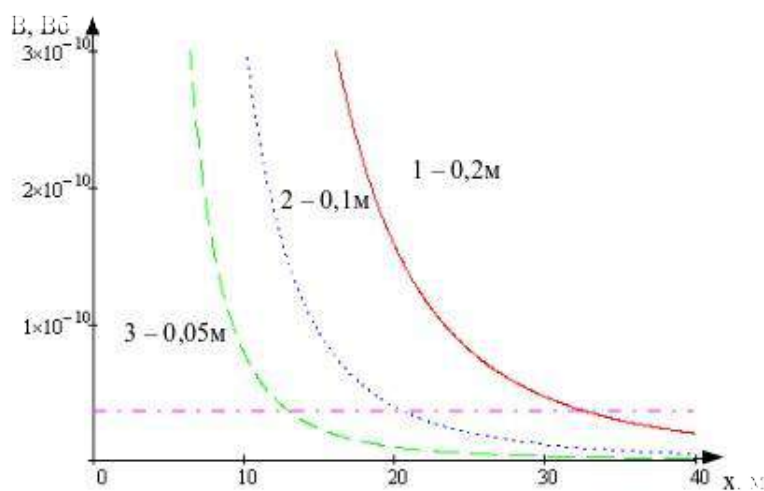


Рис. 4 Определение радиуса действия для минимального значения магнитной индукции антенны метки

На рисунке 4 видно, что если радиус антенны равен 20 см , то дальность считывания составит 34 м , при радиусе 5 см – 13 м , а при радиусе 10 см – 20 м . Учитывая полученные данные, можно прийти к заключению, что при минимальной магнитной индукции с увеличением радиуса антенны в 2 раза дальность действия увеличивается на $38,24\%$ (в 1,7 раза). А при тех же условиях с увеличением радиуса антенны в 4 раза дальность действия увеличивается на $58,82\%$ (в 2,6 раза).

Расчет дальности по заданным параметрам

Как уже было доказано, для точного определения дальности действия системы радиочастотной идентификации, необходимо знать минимальную напряженность магнитного поля считывателя. Схема двух индуктивных витков считывателя и метки с магнитной связью представлена на рисунке 5, где L_1 -индуктивность передающей антенны считывающего устройства; L_2 - индуктивность антенны метки; R_2 -эффективное

сопротивление антенны метки; R_L -дополнительное сопротивление нагрузки, с помощью которого определяется ток потребления микросхемы метки, в которой сохраняются данные.

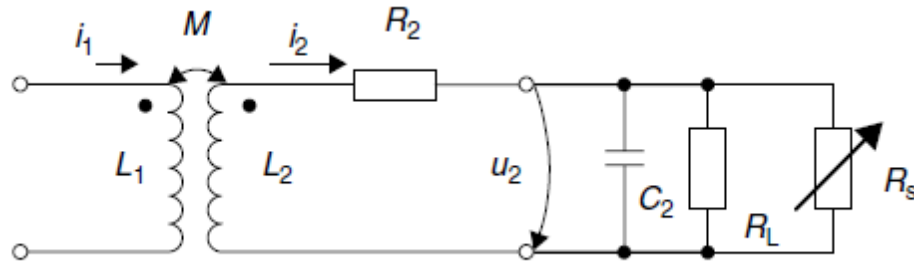


Рис. 5 Схема двух индуктивных витков считывателя и метки с магнитной связью

Максимально допустимое расстояние между считывающим устройством и меткой рассчитывается из условия, что создаваемое напряжение U_2 должно обеспечивать правильное функционирование носителя данных.

Напряжение U_2 можно найти по формуле [2]:

$$U_2 = \frac{\omega \cdot k \cdot \sqrt{L_1 L_2} \cdot i_1}{\sqrt{\left(\frac{\omega L_2}{R_L} + \omega R_2 C_2\right)^2 + \left(1 - \omega^2 L_2 C_2 + \frac{R_2^2}{R_L}\right)^2}} \quad (5)$$

Индуктивность антенны определяется материалом и геометрией антенны [1]. Произведем расчеты для кольцеобразной обмотки антенны считывателя, представленной на рисунке 6.

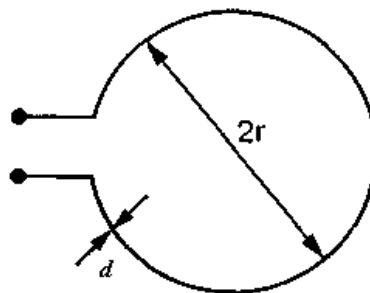


Рис. 6 Кольцеобразная обмотка антенны считывателя

Индуктивность такой антенны находится по экспериментальной формуле [2]:

$$L = \mu_o N^2 r \ln\left(\frac{2r}{d}\right) \quad (6)$$

Емкость конденсатора находится по формуле [2]:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} \quad (7)$$

Минимально допустимая напряженность для включения метки находится по формуле [2]:

$$H_{\min} = \frac{U_2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\omega L_2}{R_L} + \omega R_2 C_2\right)^2 + \left(1 - \omega^2 L_2 C_2 + \frac{R_2}{R_L}\right)^2}}{\omega \cdot \mu_o \cdot A \cdot N_2} \quad (8)$$

Выражение для максимального расстояния считывания [2]:

$$x = \sqrt[3]{\sqrt[3]{\left(\frac{I \cdot N_1 \cdot R^2}{2 \cdot H_{\min}}\right)^2}} \quad (9)$$

Для расчета максимального расстояния оборудования стандартной конфигурации зададим следующие значения: ток в антенне считывателя $i_I = 0,5A$; количество витков антенны считывателя $N_I = 100$; количество витков антенны метки $N_2 = 10$; диаметр провода $d_I = d_2 = 0,5mm$; радиус антенны считывателя $r_I = 0,06m$; радиус антенны транспондера $r_2 = 0,03m$; частота взаимодействия $f = 2,45 ГГц$.

Площадь антенны метки определим по формуле [2]:

$$A = \pi \cdot r_2^2 = 84 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (10)$$

Определим индуктивности антенн считывателя и транспондера по формулам 11 и 12 соответственно [2]:

$$L_1 = \mu_o N_1^2 r_1 \ln\left(\frac{2r_1}{d}\right) = 2,396 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}, \quad (11)$$

$$L_2 = \mu_o N_2^2 r_2 \ln\left(\frac{2r_2}{d}\right) = 9,368 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}. \quad (12)$$

Емкости необходимых конденсаторов C_1 и C_2 из схемы, представленной на рисунке 5, находим по формулам [2]:

$$C_1 = \frac{1}{4\pi^2 f \cdot L_1} = 1,218 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}, \quad (13)$$

$$C_2 = \frac{1}{4\pi^2 f \cdot L_2} = 3,115 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}. \quad (14)$$

Примем $R_L = 20 \text{ Ом}$, $R_2 = 1 \text{ Ом}$. На практике системы с использованием меток с индуктивной связью имеют коэффициент связи не более 0,1%.

Рассчитаем напряжение U_2 [2]:

$$U_2 = \frac{\omega \cdot k \cdot \sqrt{L_1 L_2} \cdot i_1}{\sqrt{\left(\frac{\omega L_2}{R_L} + \omega R_2 C_2\right)^2 + \left(1 - \omega^2 L_2 C_2 + \frac{R_2}{R_L}\right)^2}} = 4,7 \cdot 10^{-8} \quad \text{В.} \quad (15)$$

Рассчитаем минимальную напряженность для получения напряжения, равного $4,7 \cdot 10^{-8} \text{ В}$ [2]:

$$H_{\min} = \frac{U_2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\omega L_2}{R_L} + \omega R_2 C_2\right)^2 + \left(1 - \omega^2 L_2 C_2 + \frac{R_2}{R_L}\right)^2}}{\omega \cdot \mu_o \cdot A \cdot N} = 0,211 \quad \text{А/м.} \quad (16)$$

Рассчитаем максимальную дальность работы RFID системы [2]:

$$x = \sqrt[3]{\left(\frac{I \cdot N_1 \cdot R_2^2}{2 \cdot H_{\min}}\right)^2} = 0,75 \quad \text{м.} \quad (17)$$

Обсуждение

В настоящее время все большее распространение получают различные технологии, призванные упростить или оптимизировать повседневные дела и трудовые будни. Метки RFID просты в использовании и изготовлении? Имеют невысокую стоимость, в связи с этим их легко подделывать. Так как данная технология является довольно свежей, в ней постоянно появляются какие-то новые аспекты, ледовательно, технология является весьма уязвимой. Из-за распространенности меток ISO-14443 они постоянно подвергаются атакам злоумышленников с различными целями. Для того, чтобы предупредить действия злоумышленников, необходимо знать какими именно методами и способами скимминга они располагают. Поэтому основной задачей недоброжелателей стала разработка RFID-скиммера с увеличением радиуса действия. Увеличение дальности считывания RFID-транспондера стандарта ISO-14443 будет весьма полезно в интеллектуальных транспортных системах. Единственным возможным методом усиления сигнала от транспондера является преобразование пассивной метки в активную [3].

В последнее время широкое распространение в контрольно-измерительных системах получают технологии регистрации информации с радиочастотной идентификацией (RFID). Анализ характеристик RFID-систем даёт возможность

определить важные числовые характеристики всех рассматриваемых элементов, что может помочь в оптимизации получения информации об электропотреблении [4].

Штрих-код считывается на значительно меньшем расстоянии, чем RFID-метка, в зависимости от модели метки и считывателя радиус считывания составляет до нескольких десятков метров. Единственное условие для автоматического считывания штрихового кода с товарной и транспортной упаковки — нахождение метки в зоне действия RFID-считывателя [5, 6, 7].

Заключение

Из приведенного расчета взаимодействия антенн считывателя и метки RFID системы можно заключить, что считыватель с заданными параметрами радиус действия не должен превышать 13 м, а для пассивной метки радиус приблизительно равен 75 см. На основании данного исследования можно прийти к заключению, что поскольку энергии отражения недостаточно для осуществления передачи информации к считывателю, невозможно использование пассивной метки в RFID системе. Для существенного увеличения дальности работы данной системы можно рекомендовать использование активных меток.

Источники

- [1] Клаус Финкенцеллер. RFID технологии: справочное пособие. М.: Додека-21, 2010.
- [2] Сандип Лахири. RFID Руководство по внедрению - М.: Кудиц-пресс, 2007.
- [3] Аржаков А.В., Морозова Т.В., Сильнов Д.С. Анализ существующих решений для увеличения дальности считывания RFID-транспондеров стандарта iso-14443 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. Т. 18. №1. С.85-89.
- [4] Григорьев П.В., Кривошеин А.И., Прудюс А.А. Применение радиочастотной сенсорной сети для управления автономным энергообеспечением с учетом требований предиктивного ремонта // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2018. Т. 2. С. 133-138.
- [5] Григорьев П.В., Власов А.И. Оценка потенциального объема рынка систем на базе радиочастотной идентификации и его динамика // В сборнике: Энергосбережение и эффективность в технических системах Материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбовский государственный технический университет, 2017. С. 389-390.
- [6] Власов А.И., Григорьев П.В., Жалнин В.П. Применение методов и средств радиочастотной идентификации в корпоративных информационных производственных системах // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2017. Т.1. С.272-277.
- [7] Salmina M.A., Shakhnov V.A., Usov K.A., Vlasov A.I., Yudin A.V. Design methods of teaching the development of internet of things components with considering predictive

maintenance on the basis of mechatronic devices // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. T. 12. № 20. C. 9390-9396.

ИНТЕРФЕЙСТЕР АРАСЫНДАҒЫ АҚПАРАТТЫ УЛЬТРА КЕҢ ЖОЛАҚТЫ КӨП АНТЕННАЛЫҚ СЫМСЫЗ ТАСЫМАЛДАУДЫ ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ҚҰРУ

Қасым Руслан Тоқтасынұлы¹, Сериков Таңсауле Ғабдыманапұлы¹, Тұрдыбек Балғынбек²,
Толегенова Арай Сарсенғалиевна¹, Нұрланбек Айгерім Ділдәбекқызы³, Калбаев Бексултан
Назарович⁴, Алмуратова Нургуль Канаевна⁵.

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті¹

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Логистика және көлік академиясы³

Алматы мемлекеттік энергетика және электронды технологиялар колледжі⁴

Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева⁵

nur0577@mail.ru

Аннотация: Бұл мақалада қазіргі уақытта кеңінен қолданылатын көп ядролы процессорлар мәліметтер алмасу үшін пакеттік коммутациясы бар интеграцияланған жүйеге сүйенеді. Бұл ішкі кристалды желілердің өнімділігін анықтайтын, процессордың жұмысының негізгі факторы болып табылады және масштабталу мәселелеріне байланысты ядролардың көп болуы әлсіз жеріне айналады. Бұл мәселені шешу үшін mm-wave сымсыз қосылыстарын ішкі байланыс үшін пайдалану ұсынылады, бұл төмен коэффициенті бар таратылымының арқасында олардың жүйелік деңгейдегі кідіріс пен бейімделуін қолдайды. Бұл жаңа парадигма қазіргі заманғы көп ядролы архитектуралардың масштабталу мәселесін шеше алады. Мұндай конфигурация 10 Гбит/с-тан жоғары жылдамдықты және сымсыз ішкі арнаны дұрыс түсінбеушілігінсіз 1рJ/bit-ке жақын тиімділікті қамтамасыз етеді деп болжай аламыз. Бұл жоба мұндай болжамдар экономикалық тұрғыда тиімді екенін көрсетеді. Осыған байланысты біз каналды жобалау үшін жүйенің қалыпты сипатын қолданамыз, яғни интерфейс корпусының өлшемдерін мұқият таңдау арқылы оның жиілік сипаттамасын оңтайландыру керек. Сонымен, біз физикалық деңгейдегі қарапайым параметрлер арқылы тиімділік пен жылдамдық шектеулерін кеңейте отырып, оған бейімделу үшін арнаның өткізу қабілеттілігін қолданамыз. Біздің модельдеу әдістеріміз коммерциялық чиптегі жол шығынын және кідірістердің таралуын сәйкесінше 47 дБ және 7,3 есе азайтады деп күтілуде, бұл чиптің ішінде 11 Гбит/с-тан жоғары және шашыраңқы корпусан 3,2 дБ-ға сымсыз байланыс береді.

Кілт сөздер: Дисперсиялық арналар, миллиметрлік толқындардың таралуы, көп сәулелі кедергілер, көп процессорлы байланыс, чиптен чипке технологиялары, MIMO.

RESEARCH AND CREATION OF ULTRA-WIDEBAND MULTI- ANTENNA WIRELESS TRANSMISSION OF INFORMATION BETWEEN INTERFACES

Abstract: Multi-core processors, widely used nowadays, rely on an integrated packet-switched system for data exchange. This determines the performance of internal crystal networks, is a key factor in processor performance, and a large number of cores becomes a weak point due to scalability problems. To solve this problem, it is recommended to use mm-wave wireless connections for internal communication, which supports their delay and adaptation at the system level due to low-gain broadcast transmission. This new paradigm can solve the scalability problem of modern multicore architectures. We can assume that such a configuration

provides speeds above 10 Gbit/s and efficiency close to 1pj/bit, without misunderstanding the wireless internal channel. This project shows that such forecasts are economically profitable. In this regard, for the design of the channel, we use the normal characteristic of the system, i.e. it is necessary to optimize its frequency response by carefully selecting the dimensions of the chip housing. Thus, we use the bandwidth of the channel to adapt to it, expanding the efficiency and speed limits with simple parameters at the physical level. It is expected that our simulation methods will reduce the travel consumption and delay distribution on a commercial chip by 47 dB and 7.3 times, respectively, providing wireless communication above 11 Gbit/s inside the chip and 3.2 dB from the scattered case.

Keywords: dispersion channels, millimeter wave distribution, multipath interference, multiprocessor communications, transceivers.

Kipicne

Біздің тарапымыздан ұсынылып отырған жоба бойынша мақаламыз БҰҰ-ның «2030 тұрақты даму стратегиясының 17 мақсатқа жету үшін іргелі ғылымдардың рөлі бұрынғыдан да маңызды» деген ұстанымға сәйкес үлкен перспективалы ғылым бағыты болып табылады. Үкімет аталған мәселені ғылыми зерттеулердің деңгейін көтері және оларды тәжірибеде қолдану тұрғысынан қарастырғаны жөн деп президентіміз Қасым Жомарт Тоқаев жолдауында біздің жобаларымызға қолдау беріп өтті. Бұл жобамыз байланыс саласында экономикалық қымбатшылық және кризистік кезеңінде өте қымбат тұратын шина, кабельдерден бастартып сымсыз байланыс саласын оның стандарттарын ілгері дамыта түспек. Біздің зерттеуімізбен ұсынатын моделіміз коммерциализациялауға дейін жетіп өз алдына заманауи технологиялық болашақтың кәсіп орыны болатыны анық. Жобамыз БҰҰ-ның тұрақты даму бағдарламаларына да сәйкес келеді.

Интерфейстегі желі әдетте 2 өлшемді торлы топологияны жүзеге асырады, онда әр маршрутизатор ядроға және оның төрт көршісіне қосылады (1-сурет). Бұл таңдау топологияның тұрақтылығына және жолдың қысқа ұзындығына байланысты, бұл маршрутизаторлар мен байланыс арналарын жеңілдетеді. Ұзақ байланыстарды қажет ететін топологиялар қажет емес, өйткені талап етілетін энергия мен командалардың кешігуі жолдың ұзындығына және қолданылатын технологияға байланысты экспоненциалды түрде артады. Қысқа байланыстарға $K \times K$ торында 2 ($k - 1$) ретінде масштабталатын желінің диаметріне байланысты қол жеткізіледі. Осылайша, сатылатын 64 ядролы чиптер 14 түйіспелі желінің диаметріне ие, олар бүкіл чипте бірнеше ондаған наносекундты бәсекелестіксіз кешіктіреді. Бұл кідіріс жойылған ядролардың берілуіне немесе одан да жаманы, торды толтырған кезде бәсекелестікті арттыратын таратылымдарға байланысты болар еді. Сонымен қатар, дамыған WNoC желісі деректердің орналасқан жеріне және адресаттардың санына қарамастан, бұл кідірісті бірнеше наносекундқа дейін азайта алады. Өнімділіктің бұл айырмашылығы өте маңызды, өйткені байланыс көбінесе бағдарламаның маңызды жолында болады және кез-келген қосымша кідіріс орындауды баяулатуы мүмкін.

WNoC кристалындағы сымсыз желі, әдетте, сымды ұйқы режимінің үстіне сымсыз ішкі кристалды қосылыстарды енгізуді білдіреді. Сымсыз интерфейске кіретін хаттар жиынтығы, 1 суретте көрсетілгендей, антенналар арқылы топтастырылған, модуляцияланған және шығарылған радио толқындар белгіленген бағыттарға жеткенше жарық жылдамдығымен ақпараттар жиынтығы арқылы беріледі, сонымен қатар олар демодуляцияланған және топталмаған сол хаттар жиынтығында орналасады. Маршрутизатордың аралық өтулері алынып тасталғандықтан, WNoC деректерді алыс қашықтыққа және хабар тарату байланысына беру кезінде кідірісті азайтады. Екінші жағынан, сымсыз желінің өткізу қабілеті шектеулі және оны өзектер арасында тарату керектігі туындайды.

таралған және өлшеу мен модельдеу арасындағы ақылға қонымды сәйкестікті көрсетті. Осы жұмыстардың бірнешеуінде қарастырудың екі аспектісі сипатталған. Біріншіден, транзистордың жұмысын жеңілдету үшін қолданылатын төмен кедергісі бар кремний айтарлықтай шығындарға әкеледі, сондықтан оны болдырмау керек [14]. Екіншіден, алюминий нитриді (AlN) сияқты жылу таратқыш ретінде пайдаланылатын материалдар төмен электр шығынын қамтамасыз етеді және осылайша таралуды жақсартады [3]. Бұл өндіруші үшін қызықты перспективаларды ашады, ол қазір сымсыз ішкі байланыс потенциалына негізделген микросхемаларды жобалау туралы шешім қабылдай алады.

Металл қаптамамен қапталған кезде электромагниттік сәулеленудің таралуы қаптаманың шектерімен шектеледі. Бұл өрісті шектеу қауіпсіздікке оң әсер етеді, өйткені тыңдау немесе кедергі физикалық түрде алынып тасталады, бірақ сонымен бірге көп сөйлеудің күшті әсеріне әкеледі. Мұны матолак және т.б. микро-реверберация теориясы арқылы тұжырымдады [4], бірақ пакеттің құрылымын егжей-тегжейлі айтпастан. Шын мәнінде, өте аз зерттеулер микросхемалар пакетін олардың модельдеуіне немесе өлшеулеріне қосады, ал олар төмен жиіліктермен шектеледі немесе антеннаның түрі мен орналасуының тиісті негіздемесі жоқ. Басқалары жай изолятор қабатының үстіндегі бос орынды ұсынады.

Ұқсас нәтижелерді табу үшін біз деректер орталығы шкафының масштабындағы немесе құрылымдық ұқсастығы бар жұмыс үстеліндегі немесе ноутбуктердегі аналық платаның масштабындағы жұмыстарға жүгінуіміз керек. Алайда, нәтижелер антеннаның өлшемдері, материалдары мен шектеулеріндегі айтарлықтай айырмашылықтарға байланысты чиптің масштабына тікелей қолданылмайды.

Естеріңізге сала кетейік, пакеттегі сымсыз арнаны дұрыс түсінбестен, сымсыз микросхеманың парадигмасының әсерін нақты бағалау мүмкін емес.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Біздің әдіснамамыз жүйенің статикалық және монолитті сипатын қолдана отырып, микросхемалар мен трансиверлерді жүйелі түрде бірлесіп жобалау әдісін ұсынады. Осылайша, әдістеме СНИ тұжырымдамасын растайды, қол жетімді деректерді беру жылдамдығын арттырады және трансивер схемасында тұтынылатын энергияны азайтады. Мұнда біз алдымен ұсынысымызды қарастырамыз, содан кейін оның дизайнын егжей-тегжейлі қарастырамыз.

Сымсыз ішкі арна көбінесе белгісіз және сәулетшілерге WNoC-тың шынайы әлеуетін бағалауға кедергі келтіреді. 2-суретте қысқаша ұсынылған әдістеме мәселені үш кезеңде шешеді.



Сурет 2 - Ұсынылған әдістеме: пакетті сипаттаңыз, арнаны жобалаңыз және оған бейімделіңіз.

Біріншіден, микросхемалар пакетіндегі сымсыз арнаның жан-жақты сипаттамасы орындалады. Толық толқындық есептерді модельдеу және шешу арқылы біз 4×4 тордағы таратушы және қабылдайтын антенналардың орналасуына, сондай-ақ микросхемалар өндірушілері даму кезінде өзгерте алатын екі параметрге байланысты сымсыз арнаның жауабын аламыз: жиілік диапазоны және орау өлшемдері.

Әдіснаманың келесі қадамы арналарды жобалау деп аталады және осы монолитті жүйеге ерекше сәйкес келеді. Оның негізгі мақсаты-пакеттің өлшемдері мен жиілік диапазонының үйлесімін табу, ол жол бойындағы шығындар мен дисперсияны азайтады. Ол үшін біз өндірушілерге жүйеде қуат пен өнімділіктің маңыздылығын модельдеуге мүмкіндік бере отырып, реттелетін салмақтардың екі аспектісін де ескеретін тиімділік индикаторын анықтаймыз. Бұл несие көрсеткіші оптимизаторды басқарады, ол алдыңғы сипаттамаларды анықтау процесінде алынған мәліметтердің арқасында пакетті әзірлеу процесінде тиімді басшылыққа алады. Зерттеу бірнеше қымбат сынақ аппараттарын жасау қажеттілігін болдырмайтын толық толқындық электромагниттік модельдеуді қолдану арқылы мүмкін болады.

Біздің мақсаттарымыз үшін ең жақсы пакет пен жиілік диапазонын тапқаннан кейін, біз каналдың статикалық сипатын қолдана отырып, трансиверді оңтайландырамыз. Қарапайым, бірақ тиімді модификациялар байланыстың екі жағында да орындалады: таратқыш ISI деңгейін төмендету үшін нөлге қайтаруды (RZ) қолданады, ал қабылдағыш алдыңғы биттерге негізделген ағымдағы таңбаны декодтау туралы шешім қабылдау үшін шағын және бекітілген шекті мәндер жиынтығын пайдаланады. Екі модификация да статикалық болып табылады және ISI белгілеген әдеттегі шектеулерден тыс деректерді беру жылдамдығын арттыруға мүмкіндік береді (яғни. когеренттіліктің Өткізу жолағы) [2].

Модельдеу параметрлері. 1 суретте көрсетілген құрылым CST Microwave Studio-да толық толқындық шешуші болып табылады. Кремний матрицасы $\text{Si} = 11.9$ кезінде $10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ кедергіге ие, ал $\text{AlN} = 9$ және шамалы шығындармен AlN жылу таратқышы бар. Есептеу жүктемесін азайту үшін интерконнект қабаттары мен микросхемалар массиві қатты металл элемент ретінде жақындастырылады. Бұл болжам алдыңғы модельдеу жұмыстарында расталды және қозу толқынының ұзындығымен ($\approx 1 \text{ мм}$) салыстырғанда байланыстырушы қабаттардың ($< 10 \text{ мкм}$) және бедерлі тордың ($< 0,1 \text{ мм}$) шағын қадамымен негізделген. Модельдеу үшін қолданылатын Антенна-кең жолақты бағытты диафрагма, ол зерттеуді арна әсеріне бағыттауға мүмкіндік береді. Егер басқаша

көрсетілмесе, біз 4×4 антенналарының 20×20 мм² чипі мен 60 ГГц орталық жиілігінің біркелкі таралуын қарастырамыз. 60 ГГц жиіліктегі антенналар арасындағы ең аз қашықтық - $3,57 \lambda$, мұндағы λ -кремний ішіндегі толқын ұзындығы. Бұл қашықтық және кремнийдің жоғары шығыны көрші антенналар арасындағы жақын өрісте байланыстың болмауын қамтамасыз етеді.

Жиілік аймағында талдау. Толық толқындық шешуші өрістің таралуын, антеннаны күшейтуді және жиілік аймағындағы антенналар арасындағы байланысты алу үшін соңғы элемент әдісін (FEM) қолданады. Содан кейін $h_{ij}(f)$ арнасының жиілік сипаттамасы әр жұп антенна үшін бағаланады.

$$G_i G_j |H_{ij}(f)|^2 = \frac{|S_{ij}(f)|^2}{(1 - |S_{ii}(f)|^2) \cdot (1 - |S_{jj}(f)|^2)} \quad (1)$$

мұндағы G_i және G_j - таратқыш пен қабылдағыш антеннасының пайда коэффициенттері, S_{ji} - i таратқыш пен j қабылдағыш арасындағы байланыс, ал S_{ii} және S_{jj} - екі ұшындағы шағылысу коэффициенттері. N жиілік сипаттамаларының бүкіл матрицасы алынғаннан кейін, D -ге дейінгі қашықтықта тозуды түзету арқылы жолдағы шығындарды талдауға болады.

$$L = 10n \cdot \log_{10}(d / d_0) + L_0 \quad (2)$$

мұндағы L_0 - D_0 тірек қашықтығындағы жолдағы шығындар, ал n -жолдағы шығындар көрсеткіші [18]. Жолдағы шығындар көрсеткіші бос кеңістікте шамамен 2, басқарылатын немесе жабық құрылымдарда 2-ден төмен және жоғалған ортада 2-ден жоғары [4]. Арнадағы шығындар трансивердің тұтынылатын қуатын анықтау үшін өте маңызды болғандықтан, біз $L_{\max}$ тұрғысынан ең нашар жағдайда, L_{avg} орташа мәні және N жолындағы шығындар туралы есеп береміз. уақыт аймағын талдау. Уақытша аймақта i таратқышы антеннаның кірісіндегі $x_i(t)$ кіріс қозуын анықтаймыз. Содан кейін CST j қабылдағыш антеннасындағы $y_j(t)$ шығыс сигналын есептеу үшін уақыт аймағындағы ақырлы айырмашылық әдісін (FDTD) қолданады, сондықтан i таратқыш пен j қабылдағышы арасындағы $h_{ij}(t)$ импульстік сипаттамасын классикалық тұжырымның көмегімен алуға болады

$$y_j(t) = x_i(t) * h_{ij}(t) \quad (3)$$

мұнда $*$ жинақтау операторын білдіреді. Есептеуден кейін i таратқыш пен j қабылдағышы арасындағы арнадағы қуаттың кідіріс профилін (PDP) бағалау оңай

$$P_{ij}^2(\tau) = |h_{ij}(t, \tau)|^2 \quad (4)$$

сондықтан біз чиптің ішіндегі барлық таратқыштар мен қабылдағыштар үшін PDP функциясының матрицасын аламыз. Арнаның көп сәулелі қанықтылығын сипаттау үшін біз әр арнаның PDP-ні арнаның қанықтылығы ретінде қолдана отырып, кідіріс шашырауы бар τ_{rms} аламыз, әр арнаның PDP-ді қолдана отырып, кідіріс шашырауы бар τ_{rms} аламыз

$$\tau_{\text{rms}}^{(i,j)} = \sqrt{\frac{\int (\tau - \tau_0)^2 P_{ij}(\tau) d\tau}{\int P_{ij}(\tau) d\tau}} \quad (5)$$

$$\bar{\tau}_0 = \sqrt{\frac{\int \tau^2 P_0(\tau) d\tau}{\int P_0(\tau) d\tau}}$$

Мұндағы - арнаның орташа кідірісі. Бұл жұмыста біз барлық сымсыз арналар таратылым болып табылады, сондықтан олар барлық түйіндерде дұрыс декодтауды қамтамасыз ете отырып, ең төменгі жылдамдықта жұмыс істеуі керек. Нәтижесінде біз таратқыш-қабылдағыштардың барлық жұптарында (яғни барлық қашықтықта) ең нашар кідірістерді шекті жағдай ретінде аламыз және оны B_c когеренттілігінің өткізу қабілетін бағалау үшін келесідей қолданамыз

$$\tau_{\max} = \max_{i,j \in \mathcal{N}} \tau(i,j) \Rightarrow B_c \propto \frac{1}{\tau_{\max}} \quad (6)$$

$$B_c = \frac{1}{T_{\max}}$$

Қарапайымдылық үшін біз мыналарды аламыз

Біздің әдіснамамыз жолдағы шығындар мен кідірістердің таралуын оңтайландыруға болатын екі көрсеткіш ретінде ескереді. Екі аспект көптеген кірістерге байланысты болғандықтан, арнаны жобалау формальды түрде көп мақсатты оңтайландыру (МОО) міндеті ретінде қарастырылуы мүмкін. Бұл мәселелерді эволюциялық Алгоритмдер сияқты МОР алгоритмдері арқылы шешуге болады. Арналарды жобалау мәселесін шешудің тағы бір тәсілі - оны таразыны қолдана отырып, бір мақсатқа жеткізу. Атап айтқанда, біздің әдіснамамыз максималды түрде арттыруға тырысатын f_w -дің бір пайдаланушылық құндылығын анықтайды. Мақсат жолдағы шығындарды азайту және кідірістердің таралуын азайту болғандықтан, еңбек көрсеткіші келесідей болады

$$\phi_w = \frac{1}{PL^{w} DS^{(1-w)}} \quad (7)$$

мұндағы PL-жолдағы шығындар көрсеткіші, DS-кідірістердің таралу көрсеткіші, ал $w \in [0, 1]$ әртүрлі конструкциялардағы қуат немесе жылдамдықтың маңыздылығын модельдейді. Басқаша айтқанда, w -ны сәулетші бекітеді: шағын мәндер жоғары өнімді құрылғыларда қолданылады, мұнда жылдамдықты қуат оңтайландырылған болуы керек, ал Үлкен мәндер төмен қуатты жүйелерге бағытталған Жолдағы шығындарды азайтуды білдіреді. Бұл жобада біздің көрсеткіштеріміз $PL = L_{avg}$ және $DS = \tau_{rms}$ -ке тең, ал L_{avg} теңдеуде (6) анықталғандай барлық қашықтықтарда және τ_{rms} -те жолдың орташа жоғалуы ретінде анықталады. Сонымен қатар, біз екі метриканы 0-ден 1-ге дейін бірдей динамикалық диапазонға ие болатындай етіп қалыпқа келтіреміз. Осы жұмыста анықталған қаптаманы жобалау процесі дизайн кезінде өзгертуге болатын үш айнымалыны ескереді: T_s кремнийінің қалыңдығы, T_h жылу таратқышының қалыңдығы және f_c тасымалдаушы жиілігі. Содан кейін Мақсат-несие мөлшерін барынша арттыру

$$\max_{T_s, T_h, f_c} \phi_w \quad (8)$$

бұл берілген w үшін пайдалылық көрсеткішін арттыратын T_s , T_h және f_c мәндерін табу үшін және өндіруші немесе сәулетші 1 [8] белгілеген шектерде жасалады. Біз консервативті түрде $T_s = [0.1, 0.7]$ мм және $T_h = [0.8]$ мм деп болжаймыз, олар 3D чиптеріне арналған кремнийді тазарту және ораудың заманауи әдістерімен оңай қол жетімді диапазондар.

Оңтайландыру мәселесін шешу үшін алдымен $\{T_s, T_h, f_c\}$ әр комбинациясы үшін f_w алу үшін қажет толық толқындық модельдеу өте үлкен есептеу шығындарын талап етеді, әсіресе f_c жоғарылаған сайын, бұл толық іздеуді іс жүзінде мүмкін емес етеді. Сонымен қатар, жолдағы шығындар мен дисперсия $\{T_s, T_h, f_c\}$ монотонды емес тәсілдермен байланысты және көбінесе қарама-қарсы тенденцияларды көрсетеді. Бұл f_w

функциясында жергілікті шыңдарды жасайды, осылайша жергілікті максимумдарда тұрып қалуға бейім градиент негізіндегі төбеден көтерілу сияқты әдістерді жоққа шығарады [7].

Оңтайландырудың көптеген әдістерінің ішінде осы мәселені шешуге жарамды бір балама жергілікті шыңдарды болдырмауға және біртіндеп жаһандық оптимумға жақындауға мүмкіндік беретін ықтималды әдісті қолданатын жасанды тазарту (SA) болуы мүмкін. Дегенмен СА

МООs-ті шешу үшін өзгертуге болады, біз өз проблемамызды бір мақсатты оңтайландыру ретінде қарастырамыз және әдеттегі SA нұсқаларын қолданамыз. SA басқа электромагниттік мәселелерде қолданылғандықтан және кеңінен танымал болғандықтан, біз оны қысқа мерзімде жүзеге асыруды егжей-тегжейлі сипаттамаймыз. Осы жұмыста сипатталған арна сипаттамасының нәтижелері са-ны жаһандық оптимумдарға тез жақындату үшін тиісті эвристиканы (мысалы, үміткерлерді құру, салқындату кестесі) алуға көмектесетінін атап өтеміз.

Арна жолдағы шығындар мен кідірістердің таралуын азайтуға мүмкіндік беретін етіп жасалынғаннан кейін, біз радиожиілікті серверде қарапайым, бірақ тиімді оңтайландыруды орындау үшін арнаның статикалық сипатын қолданамыз. Идея-күрделілікті азайту үшін арнаның белгілі детерминистік реакциясына жүгіну арқылы таңбалардың берілу жылдамдығын арттыру [5].

3-суретте чиптер арасындағы әдеттегі сымсыз байланыс арнасының құрылымдық диаграммасы көрсетілген. Әдетте қарастырылады oок модуляциясы бит энергиясын ескере отырып $E_b = P_{rx} / r_b$, мұндағы P_{tx} -қабылданған қуат, ал RB-таңбалардың берілу жылдамдығы, BER OOC төмен, шектеулі

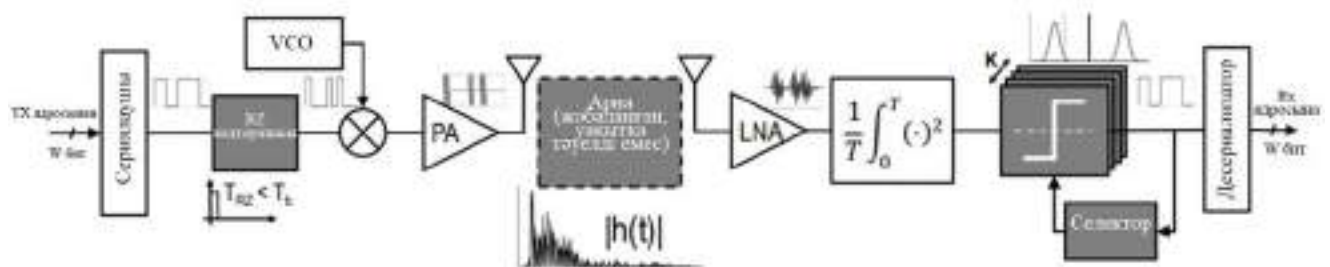
$$BER_{OOK} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{4N_0}} \right) \quad (9)$$

мұнда erfc -катенің қосымша функциясы, ал E_b/N_0 - сигнал/шу қатынасы. Бұл шекара оңтайлы шекті есептеумен және ISI болмауымен когерентті анықтауды қамтиды. Біздің жағдайда, бұл Nyquist жылдамдығынан жоғары болған кезде көрінеді. Оның әсерін азайту үшін біз екі әдісті ұсынамыз: шекті бейімделу және RZ модуляциясы [10].

Шекті бейімдеу: кәдімгі сымсыз ортадағы басты мәселе-көп сәуленің әсері кеңістік пен уақытқа байланысты. Демек, оның OOK символдары арасындағы Евклид қашықтығына және оңтайлы шешім шегіне әсерін болжау мүмкін емес. Нашар жағдайда, ISI қосылған шу ретінде модельденеді, Шу қорын азайтады және шамамен мәнге әкеледі

$$BER_{OOK}^{(i)} \approx \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{4(N_0 + I)}} \right) > BER_{OOK} \quad (10)$$

мұндағы I-интерференция энергиясы



Сурет 3 - Сымсыз ішкі байланыс желісіндегі физикалық деңгей қосылыммен және сәйкес емес анықтау мен көлеңкеленген блоктар осы жұмыста ұсынылған жақсартулар

WNoC-та арна уақытқа тәуелді емес және Біз кез-келген уақытта әр таңбаның нақты орнын есептей аламыз. Бұл дегеніміз, біз Евклидтің таңбалар арасындағы қашықтықты және ISI болған кезде де алдыңғы таңбалардың кез-келген комбинациясы үшін оңтайлы шешім шегін таба аламыз. Бұл ақпаратты k параллель шешуші құрылғылардан тұратын қабылдағышты жобалау үшін пайдалануға болады, олардың әрқайсысының өзіндік шегі және тиісті сегментті таңдайтын Регистр бар. К шешуші элементтердің көмегімен біз барлық ISI эффектілерін ескереміз деп болжай отырып, BAR-ны келесідей жақындата аламыз

$$BER_{\text{OOK}}^{\text{approx}} \approx \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{\alpha_k E_b}{4 N_0}} \right) \quad (11)$$

мұндағы α_k өткен таңбалардың осы комбинациясының ағымдағы таңбалар арасындағы Евклид қашықтығына әсерін модельдейді. Қажетті шешуші элементтердің саны $k \text{ TR trms} / T_b$ ретінде масштабталады, мұндағы $T_b = 1/r_b$ - екілік модуляцияны қамтитын таңба кезеңі. Қалай болғанда да, осыған байланысты үстеме шығындар RF интерфейсінің құнымен салыстырғанда аз. Нөлге оралу: ISI - ді жұмсартудың классикалық әдісі-циклдік жұмыс режиміне байланысты таңбаның ұзындығын азайтатын RZ әдістерін қолдану. Бір жағынан, бұл алушы көретін ағымдағы таңбаның ұзындығын қысқартады, бұл келесі таңбаларға аз ағып кетуді білдіреді. Екінші жағынан, төменгі ISI тұтынылатын энергияны азайту арқылы қол жеткізіледі, егер RZ дұрыс жобаланбаған болса, ISI төмендеуінің пайдасын өтей алады [11]. Алайда, арна уақытқа тәуелді емес болғандықтан, біз сигнал/кедергі қатынасын барынша арттыратын және кез-келген таңбалар комбинациясы үшін BER-ді азайтатын жұмыс циклын анықтай аламыз. (11) теңдеуде бұл барлық k үшін α_k ұлғаюына тең болар еді.

Қорытынды

Бұл жобада ғылыми әдебиеттер және патенттер сараптамасы жасау нәтижесіндегі DFG ультра кең жолақты байланыс технологиясы басым бағдарламасы аясында қол жеткізілген нәтижелер келтірілген. Негізгі назар интерфейстер арасындағы ақпаратты ультра кең жолақты көп антенналық сымсыз тасымалдау мәселелерін қарастырылған, соның ішінде көп антенналық қосылыстарды талдауға және оңтайландыруға арналған. Физикалық оңтайландырудың, кодтаудың және сигналдарды өңдеудің арнайы әдістері интерконнект өнімділігін едәуір жақсарты алатындығын көрсете алсақ, көп сымды интерконнект сымсыз ультра кең жолақты көп антенналармен алмастырылған кезде чиптен чипке деректерді беру кезінде одан да жоғары өнімділікке қол жеткізуге болады. Осылайша, сигнал импульстары міндетті түрде көп таралмайды, өйткені олар интерконнектің қабылдау ұшында орындалады, яғни интерконнектің қабылдау ұшында өтеді.

Сымсыз қосылымның таралу сипаты оны чиптер арасындағы байланыс үшін әлдеқайда тартымды арнаға айналдыруы мүмкін. Негізгі мақсат чиптер арасындағы байланыс үшін ультра кең жолақты көп антенналық сымсыз қосылыстарды қолдану үшін теориялық және эмпирикалық негіздерді жасау болды. Интеграцияланған ультра кең жолақты антенналар үшін қолайлы құрылымдар жасалды, олардың қасиеттері теориялық тұрғыдан талданады және жасалған прототиптерде жасалған өлшеулер негізінде тексеріледі. Қол жетімді ресурстарды тиімді пайдалануға бағытталған сигналдарды кодтау мен өңдеудің білікті әдістері чиптің өткізу қабілеттілігі, қуаты және ауданы ұсынылды. Сонымен қатар, LDPC кодтары үшін итеративті декодтау құрылымын жүзеге асыруға назар аударылды. Сигнал ағындарының диаграммаларына және арнайы функционалды блоктардың VLSI-ге негізделген шығындардың егжей-тегжейлі модельдері. өткізу

қабілеті, чиптің қажетті ауданы мен энергияны тұтыну арасындағы қарапайым саудасаттыққа ақпараттық талдау жүргізуге мүмкіндік беретін дизайн жасалды. Бұл жұмысты неміс зерттеу қоры (DFG) Ukolos (SPP1202) бағдарламасының басым бөлігі ретінде қолдады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

- [1] Russer P (1998) Si and SiGe millimeter-wave integrated circuits, Si and SiGe based monolithic integrated antennas for electromagnetic sensors and for wireless communications. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 1998: 590-603.
- [2] Johannes A. R, Kuznetsov Y, Russer P, Russer J.A, Kuznetsov K, Russer P (2010) Discrete-time network and state equation methods applied to computational electro magnetics. Mikrotalasma revija: 2-14.
- [3] Johannes A.R, Baev A, Kuznetsov Y, Mukhtar F, Yordanov H, Russer P (2011) Combined lumped element network and transmission line model for wireless transmission links. German Microwave Conference (GeMIC): 1-4.
- [4] Felsen L.B, Mongiardo M, Russer P (2009) Electromagnetic Field Computation by Network Methods. Heidelberg: Springer-Verlag.
- [5] Russer P (2006) Electromagnetics, Microwave Circuit and Antenna Design for Communications Engineering. Boston: Artech House.
- [6] Russer J.A, Mukhtar F, Wane S, Bajon D, Russer P (2012) Broad-Band Modeling of Bond Wire Antenna Structures. German Microwave Conference (GeMIC): 1-4.
- [7] Yordanov H, Ivrlač M.T, Mezghani A, Nossek J.A, Russer P (2008) Computation of the impulse response and coding gain of a digital interconnection bus. 23rd Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics: 494-499.
- [8] Yordanov H, Russer P (2008) Computing the Transmission Line Parameters of an On-chip Multiconductor Digital Bus. Time Domain Methods in Electrodynamics: 69-78.
- [9] Yordanov H, Ivrlač M.T, Nossek J.A, Russer P (2007) Field modelling of a multiconductor digital bus. Microwave integrated circuit conference, 2007: 579-582.
- [10] Yordanov H, Russer P (2008) Computation of the Electrostatic Parameters of a Multiconductor Digital Bus. International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications 2007: 856-859.
- [11] Yordanov H, Russer P (2010) Antennas embedded in CMOS integrated circuits. Proceedings of the 10th Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems: Electronics and Energetics 2010: 53-56.
- [12] Yordanov H, Russer P (2009) Wireless Inter-Chip and Intra-Chip Communication. Proceedings of the 39th European Microwave Conference: 145-148.
- [13] Yordanov H, Russer P (2009) On-Chip Integrated Antennas for Wireless Interconnects. Semiconductor Conference Dresden (SCD) 2009.
- [14] Yordanov H, Russer P (2010) Integrated On-Chip Antennas Using CMOS Ground Planes. Proceedings of the 10th Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems: 53-56.
- [15] Yordanov H, Russer P (2010) Area-Efficient Integrated Antennas for Inter-Chip Communication. Proceedings of the 10th Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems: 401-404.

ТИПЫ КОДИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Хизирова Мухаббат Абдисаттаровна¹, Серикбай Алишер Айдынулы²

^{1,2}АО «АУЭС», г. Алматы, Республика Казахстан

¹m.khizirova@aes.kz, ²al.serikbay@aes.kz

Аннотация: В настоящее время беспроводная связь требует высокой пропускной способности. Существует множество методов увеличения пропускной способности, но для большинства из них требуется большая пропускная способность или уровень модуляции, поэтому были введены другие методы для повышения производительности системы различных беспроводных сетей. Кодирование является примером такого метода, используемого с некоторыми вариациями для повышения производительности системы.

Ключевые слова: кодирование, турбо коды, полярные коды, сверточное кодирование, сигнал-шум, кодер, декодер.

БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ КОДТАУ ТҮРЛЕРІ

Хизирова Мухаббат Абдисаттаровна¹, Серікбай Әлішер Айдынулы²

^{1,2}АО «АУЭС», г. Алматы, Республика Казахстан

¹m.khizirova@aes.kz, ²al.serikbay@aes.kz

Аңдатпа: Қазіргі уақытта сымсыз байланыс жоғары өткізу қабілеттілігін қажет етеді. Өткізу қабілеттілігін арттырудың көптеген әдістері бар, бірақ олардың көпшілігі үлкен өткізу қабілеттілігін немесе модуляция деңгейін талап етеді, сондықтан әртүрлі сымсыз желілердің жүйе өнімділігін жақсарту үшін басқа әдістер енгізіледі. Кодтау - жүйе өнімділігін жақсарту үшін кейбір вариациялармен қолданылатын осындай әдістеменің мысалы.

Кілт сөздер: кодтау, турбокодтар, полярлық кодтар, конволюционды кодтау, сигнал-шу, кодер, декодер.

TYPES OF CODING IN COMMUNICATION SYSTEMS

Khizirova Mukhabbat Abdisattarovna¹, Serikbay Alisher Aidynuly²

AUES University, Almaty, Republic of Kazakhstan

¹m.khizirova@aes.kz, ²al.serikbay@aes.kz

Abstract: Nowadays, wireless communication requires high bandwidth. There are many methods to increase the bandwidth, but most of them require a large bandwidth or modulation level, so other methods are introduced to improve the system performance of various wireless networks. Coding is an example of such a technique used with some variations to improve system performance.

Key words: coding, turbocodes, polar codes, convolutional coding, signal-noise, coder, decoder.

Введение

С появлением технологий произошло быстрое развитие и интерес к беспроводной связи. Беспроводные сети используют разные схемы кодирования каналов для повышения производительности. Канальные кодеры и декодеры обычно работают с блоками данных, из-за этого на вход подается вся последовательность, что приводит к задержке [1]. Кроме того, система связи требует высокой скорости передачи данных, что приводит к высокой пропускной способности, что также приводит к высокой частоте ошибок по битам (BER) [2]. Использование методов кодирования — лучшее решение для уменьшения битовых ошибок без увеличения пропускной способности. Однако используемая кодировка должна быть сначала оптимизирована, а затем использована.

Для уменьшения задержки блок сообщения разбивается на более мелкие фрагменты, и каждый фрагмент кодируется отдельно. Для передачи используются разные модели беспроводных каналов связи. Каждый канал ведет себя по-разному, и производительность моделей каналов различается для разных схем кодирования канала. В этой статье проводится теоретическое сравнение различных схем кодирования каналов с точки зрения BER/BLER и сложности алгоритма декодирования для разных каналов.

1 Схемы кодирования

Понятие пропускной способности канала была предложена Шенноном в 1950-х годах для описания максимально надежных скоростей передачи информации в зашумленном канале:

$$C = B \cdot \log_2(1 + S/N)$$

где C — пропускная способность канала в битах в секунду, B — пропускная способность в герцах, S и N — шум и мощность сигнала в ваттах соответственно. Широко использовались многие классические схемы кодирования, но их максимальный выигрыш от кодирования все еще далек от предела Шеннона. последующие исследователи были вынуждены открыть более эффективную схему кодирования в предыдущие десятилетия.

В этом разделе кратко представлены современные схемы кодирования каналов, которые достигли производительности, близкой к пределу Шеннона. Для конкретного кодового сообщения длина обозначается k , а длина кодового слова обозначается n .

1.1 Турбо коды

Турбо коды — это высокопроизводительные коды с прямым исправлением ошибок. Изобретен в 1993 году Берроу и его коллегами [3]. Они первыми приблизились к полосе пропускания, при которой возможна связь при заданном уровне шума. Эти коды строятся путем параллельного объединения двух сверточных кодов через перемежитель. На Рисунке 1 показана блок-схема турбо кодера с кодовой скоростью $1/3$ [4][5].



Рисунок 1 – Турбо кодер с кодовой скоростью 1/3

1.2 Полярные коды

Полярные коды — это еще один класс линейных блочных кодов, которые вносят большой вклад в теорию кодирования. Эти коды основаны на теории поляризации каналов, которая гласит, что, когда каналы объединяются до бесконечной длины и разделяются, входные каналы преобразуются в виртуальные битовые каналы, что означает, что каналы поляризованы. Канал, созданный таким образом после разделения, может иметь высокую или низкую пропускную способность. Биты передаются по каналам с высокой пропускной способностью, также называемым надежными каналами, а нулевая информация, называемая замороженными битами, передается по каналам с низкой пропускной способностью или ненадежным каналам. На Рисунке 3 показан полярный кодер для длины кода 2.

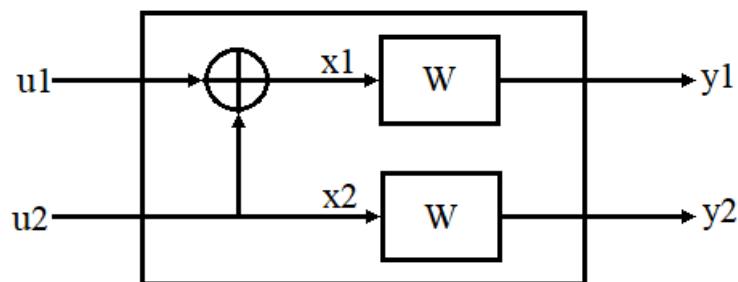


Рисунок 2 – Полярный кодер для длины кода 2

Алгоритм последовательной отмены (SC) — это алгоритм декодирования, используемый для полярных кодов. Декодер списка, используемый в сочетании с алгоритмом SC, улучшает производительность полярного декодера [1] [4] [5] [8].

1.3 Коды свертки

Сверточное кодирование - это метод кодирования с исправлением ошибок. Сверточные коды (n,k,m) характеризуются длиной входного параметра k , длиной вывода n и количеством элементов памяти m . Эти коды могут обрабатываться при получении битов,

поскольку они содержат память, которая отличает их от блочных кодов. Завершенные сверточные коды являются схемой-кандидатом кодирования для коротких блоков, хотя они страдают от потери скорости из-за нулевых хвостовых битов [8]. В стандарте LTE сверточные коды, используемые для передачи битов управляющей информации, известны как сверточные коды хвостовых битов. Сверточные коды хвостовых битов снижает накладные расходы по сравнению с другими кодами канала коротких сообщений и может начинаться и заканчиваться в любом состоянии, известном декодеру [1].

1.4 Коды разрежений низкой плотности (коды LDPC)

В последние несколько лет коды LDPC привлекли большое внимание из-за их связи в реальном времени и высокой пропускной способности. Интерес к этим кодам также растет из-за их производительности, близкой к пределу Шеннона, и параллелизма алгоритма декодирования. Эти коды относятся к классу разреженных линейных кодов. Они определяются $(n-k) \times n$ -мерной разреженной проверочной матрицей H . Разреженный характер матрицы проверки баланса допускает итеративное декодирование с использованием алгоритма передачи сообщений. [1] [6] [7]. Коды LDPC поддерживают алгоритм итеративного декодирования низкой сложности. Наиболее многообещающим алгоритмом декодирования кодов LDPC является надежное декодирование с расширением спектра, которое демонстрирует производительность, близкую к пределу Шеннона.

2 Сравнение кодов каналов

Сложность современных канальных кодов сравнивается на основе вычислительной сложности, связанной с процессом кодирования и декодирования. Полярный код работает на последовательной компенсации и имеет наименьшую сложность декодирования по сравнению со всеми другими схемами кодирования. По сравнению с кодами LDPC и свертки, турбо коды имеют более сложный алгоритм декодирования.

В случае сверточных кодов декодирование завершения является лучшим методом, поскольку оно имеет больше декодеров состояния, чем побитовое декодирование. Для полярных кодов алгоритм списка последовательного исключения (SCL) работает лучше, чем алгоритм последовательного исключения.

2.1 Анализ производительности для различных моделей каналов

Канальные коды LDPC дают лучшие результаты при использовании декодирования логарифмического правдоподобия в случае аддитивного белого гауссовского шума (AWGN) в каналах с рэлеевскими замираниями. При более высоких отношениях сигнал/шум частота ошибок по битам уменьшается настолько, насколько это возможно в канале AWGN [7]. LDPC по-прежнему хорошо работает с увеличением длины блока, схема декодера считается сложной [2]. OFDM с полярным кодированием хорошо работает при низком отношении сигнал-шум в каналах AWGN, но по мере увеличения отношения сигнал-шум производительность турбо кода становится намного лучше, чем у полярных кодов.

Заключение

В заключение можно сказать, что не существует единой схемы кодирования, удовлетворяющей всем требованиям системы связи. Можно обеспечить меньший шум или

ошибки, но более высокую сложность и так далее. Производительность системы может быть значительно улучшена за счет использования более качественных кодов, что может быть достигнуто за счет улучшения свойств кодов. В любом случае, если мы посмотрим на текущую ситуацию, в 4G и 5G, OFDMA используется в качестве основной метод множественного доступа и структурирование кода канала для этих систем все еще является сложной задачей, поскольку уменьшение количества символов снижает задержку системы. Усовершенствование существующих кодов для получения лучших результатов и снижения сложности декодирования существующих схем кодирования может стать интересной будущей работой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] M.A.Khizirova, A. Zhetpisbayeva, A. Dostiyarova, A. Zilgaraeva, N. Kussambaeva, “Research Of The Simulated Brillouin scattering in The Single-Mode Fiber At Wavelengths Of 1, 31 μ m And 1, 55 μ m For Different Modulation Frequencies For Different Lengths Of The Optical Fiber”. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 3 (2016) P. 1590-1594.
- [2] А., Назаров и К. Сычев Теоретические основы проектирования сетей связи следующего поколения / А. Назаров und К. Сычев. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. - 536 с
- [3] Ming Zhan, Zhibo Pang, DacfeYDzung and Ming Xiao , “Channel Coding for High Performance Wireless Control in Critical Applications: Survey and Analysis, Special Section on Advances in Channel Coding for 5G and Beyond, IEEE Access, Open Journal, 2018.
- [4] Mahyar Shirvanimoghaddam et.al, “Short Block-Length Codes for UltraReliable Low Latency Communications”,IEEE Communications Magazine 2018,Volume 57 Issue 2.
- [5] KulvirKaur , HeenaDogra and Gurjot Singh Gaba, “A Theoretical Review of Channel Coding Techniques Over Different Channel Models”, International Journal of Control and Automation Vol.10, No.9 (2017), pp.37-42.
- [6] В.И. Нефедов, А.С. Сигов, “Общая теория связи: учебник для бакалавриата и магистратуры”. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – ст. 468-480.
- [7] В.П. Дворкович, А.В. Дворкович, “Цифровые видеoinформационные системы (теория и практика)”. – Москва: Техносфера, 2012. – ст. 95-147.
- [8] М.А. Райфельд, А.А. Спектор, “Системы и сети мобильной связи: учебное пособие”. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – ст. 51-63.

УДК 620

МРНТИ: 44.37

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Омаров Рашит Абдыгаравович – АУЭС, omarov-rashit@mail.ru

Демесова Сауле Талгаткызы – КазНАИУ, talgatkyzy_1984@mail.ru

Омар Даурен Рашитулы – НПЦ «Агроинженерии», omardauren@gmail.com

Аннотация. Обосновано инновационное решение теплового насоса, влияющее на его энергетические характеристики. Согласно выдвинутой гипотезе, при размещении компрессора внутри концентрического теплообменника испарителя – испаритель будет поглощать тепло нагретого компрессора, возвращать тепло в основной рабочий цикл и одновременно охлаждать компрессор. Исследования по проверке гипотезы выполнялись с использованием метода физического моделирования. Для снятия температурных и энергетических характеристик был изготовлен макетный образец теплового насоса, специальный лабораторный стенд с микропроцессорным управлением. Температурные датчики прикреплялись в характерных теплообменных точках, с дистанционной передачей информации. Это позволяло регистрировать показания цифровых измерительных приборов в непрерывном автоматическом режиме. Исследовались три варианта конструкции. Первый, когда компрессор размещался по центру концентрического теплообменника испарителя. Второй, когда компрессор размещался со смещением от центра. В третьем, в кольцевом зазоре между поверхностями компрессора и испарителя был установлен цилиндрический экран, исключаяющий прямую теплопередачу от компрессора к испарителю. Нагрузкой для теплового насоса служил охладитель молока. Результаты измерений подтвердили существование теплообмена между искомыми элементами, что приводило к снижению температуры нагрева компрессора и повышению теплопроизводительности теплового насоса.

Ключевые слова: тепловой насос, компрессор, нагрев, испаритель, конденсатор, температурный режим, микропроцессор

1. Анализ исследований. Как известно, в процессе совершения цикла сжатия рабочего тела компрессор и электропривод теплового насоса (ТН) подвергаются постоянному перегреву. Например, охлаждение 4000 литры молока с помощью теплового насоса потребляло в 1,064 кВт·ч электроэнергии при доле на: охлаждение (23,01%); пастеризационный нагрев (16,1%); подогрев воды для саниривки и очистки (6,19%); хранение в холодильнике (7,02%); другие виды использования в качестве дойка, аэрация, объемный резервуар (47,68%). При этом, 30,04% потреблялось в охлаждения и 22,28% в отопительных системах [1].

Современные охладители молока частично используют тепловые мощности от охлаждения системы. Электрические резисторы применяются для нагрева, что увеличивает поскольку потребление электричества по сравнению с тепловыми насосами [2].

Потенциал тепловых насосов для нагрева воздуха с одновременным охлаждением и нагревом было продемонстрировано [3,4,5]. Ма, К. предложил использовать гелиоэнергетический тепловой насос в фермах, однако, используя либо отопление, либо охлаждение индивидуально [6]. Некоторые теплонасосные системы изучены для домашнего применения. В немногих с использованием различных источников энергии [7,8,9].

Повышенный спрос на тепловые насосы наблюдается со стороны молочных заводов. Являются потенциальными клиентами, они могут использовать тепло от конденсации системы хранения / охлаждения молока, с использованием ее для нагрева воды для очистки и других производственных процессов, снижая потребление электроэнергии.

Известны исследования возобновляемых источников энергии для стационарных двигателей нагрева [10,11] и системы охлаждения [12]. Молочные фермы имеют достаточное количество замкнутых отходов животных, которые могут использоваться для производства биогаза, являясь, таким образом, источником возобновляемой энергии для управления тепловыми насосами. В статье CERVİ et al. и MARTINS & OLIVEIRA доказали возможность использования биогаза для двигателей внутреннего сгорания производства электроэнергии, как способ повышения устойчивости производства животноводческой продукции и децентрализации выработки энергии [13,14].

2. Методика исследования

Исследования ТН концентрическими теплообменниками проводятся для 3-х вариантов:

1-ый вариант – компрессор не охлаждается. Для этого между боковой стенкой компрессора и стенками испарителя устанавливается экранирующая цилиндрическая перегородка.

2-ой вариант – компрессор расположен по центру испарителя. При этом будет происходить теплообмен излучением и конвекцией между нагретой стенкой компрессора и внутренними холодными стенками испарителя.

3-ий вариант – компрессор расположен со смещением от центра, ближе к стенке испарителя. Приближение боковой стенки компрессора к стенке испарителя повлияет на теплообмен излучением и в целом на процесс охлаждения.

Схема расположения датчиков температуры на элементах макетного образца ТН показана на рисунке 1.

Датчики показывают: 1 – температуру хладагента на выходе из испарителя; 2 – температуру хладагента на входе в испаритель; 3 – температуру хладагента на выходе из конденсатора; 4 – температуру хладагента на входе в конденсатор; 5 – температуру воздуха в пространстве вокруг компрессора; 6 – температуру боковой поверхности компрессора (где располагается электродвигатель); 7 – температуру поверхности головки компрессора; 8 – температуру поверхности трубок теплообменника испарителя. Также на схеме отмечены датчики давления хладагента, установленные на входе и выходе из компрессора.

Четыре датчика: 3 и 4, а также датчики, установленные на входе и выходе из теплообменника конденсатора, характеризуют температурный режим конденсатора.

Четыре датчика: 1 и 2, а также датчики, установленные на входе и выходе из теплообменника испарителя, характеризуют температурный режим испарителя.

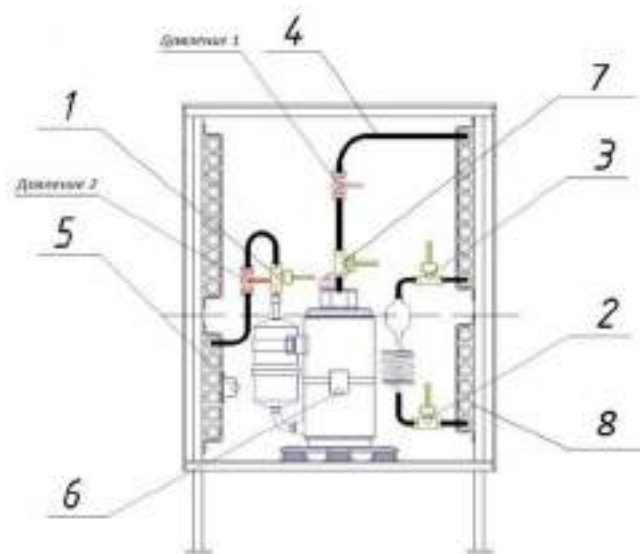
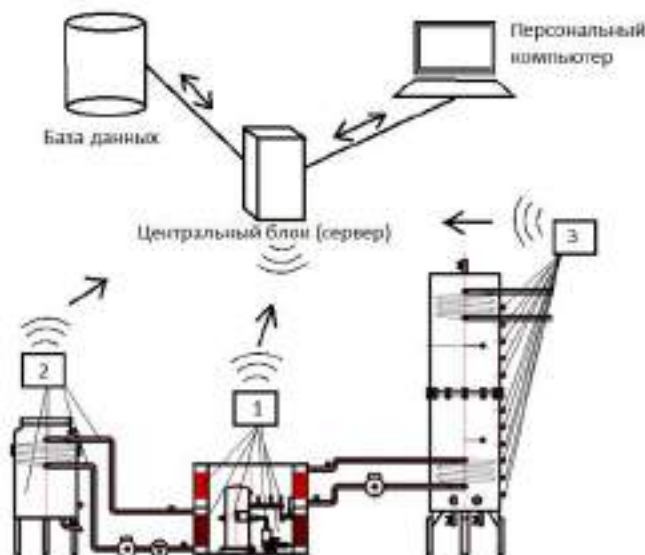


Рисунок 1 – Схема расположения датчиков в ТН

Датчик 6, на боковой стенке, а также датчик 7 на колпаке компрессора, характеризуют температурный режим компрессора и температурное состояние электродвигателя. Датчик 7 регистрирует температуру под колпаком, где происходит сжатие хладагента. датчики 5 и 8 показывают температуру в пространстве между компрессором и испарителем.

На рисунке 2 показана схема стенда и подключения измерительных приборов. Основу информационной системы составляют центральный блок (сервер), база данных, персональные компьютеры с программным обеспечением, а также модули сбора данных с теплового насоса (1), охладителя молока (2) и аккумулирующей емкости (3). Модуль теплового насоса собирает данные следующих датчиков с 12 датчиков температуры (DS18B20 капсулированные), 2 датчиков расхода жидкости (G1WFM) и 2 датчиков давления (Wika-R1). Модуль охладителя молока подключен к 4-м датчика температуры (DS18B20) и одному датчику расхода жидкости (G1WFM). Модуль аккумулятора производит сбор данных с 15 датчиков температуры (DS18B20), последовательно расположенных вдоль вертикали.

Процесс сбора информации инициирует центральный блок, отправляя запрос каждому модулю отдельно. После получения запроса каждый модуль начинает опрос датчиков и собирает данные в один пакет, который в последующем отправляется обратно на центральный блок. Сервер, получив пакеты с «сырыми» данными обрабатывает их для удобства хранения. Далее сервер отправляет данные в базу данных для хранения. С пользовательского персонального компьютера можно просматривать текущие значения, используя специальное программное обеспечение.



1 – модуль теплового насоса, 2 – модуль охладителя молока, 3 – модуль аккумулирующей емкости.

Рисунок 2 – Схема стенда и подключения измерительных приборов

3. Анализ результатов исследований

Температурные характеристики приведены на рисунке 3. Самая высокая - температура хладагента на выходе из компрессора (датчик 4). Она максимальная (95°C) при 1-м варианте, когда компрессор не охлаждался. Минимальная (85°C) при 3-м варианте, когда компрессор приближен к испарителю. Графики подтверждают: компрессор лучше охлаждается, когда приближен к испарителю; охлаждение компрессора положительно влияет на работу ТН.

На рисунке 4 совмещены сравнительные температурные графики боковой стенки компрессора при 3-х вариантах. Графики показывают, что охлаждение компрессора снижает его температуру. При 1-м варианте, когда компрессор не охлаждается, его температура достигает 85°C , а при охлаждении поднимается до 80°C . То есть, она ниже на 5°C .

Температура воздушного пространства между испарителем и компрессором (датчик 5) и поверхности испарителя (датчик 8) составляет около 20°C (рисунок 5). При расположении компрессора возле испарителя она ниже на 10°C , что свидетельствует о более интенсивном поглощении тепла испарителем. Соответственно, компрессор меньше выделяет тепло в окружающий его воздух.

На рисунке 6 приведены сравнительные графики: теплопроизводительностей и потребляемой компрессором мощности (а) и холодопроизводительности (б) для исследуемых вариантов.

Результаты показывают, что расположение компрессора влияет на производительность ТН. Потребление электроэнергии во всех вариантах практически одинаковое (нижние три зависимости). Большею тепло- и холодопроизводительностью обладает 3-й вариант. При этом, испаритель поглощает тепло, выделяющееся с поверхности компрессора, которое добавляется к основному потоку. В виду того, что разница температур между стеклой компрессора (около 80°C) и испарителя (около 18°C) составляет порядка 60°C , можно предположить, что основным потоком между поверхностями является теплообмен излучением. Снижение производительности при 3-м варианте, повидимому, связано с тем, что экран между компрессором и испарителем исключает теплообмен излучением. При этом, компрессор не перегревается, так как сохраняется его конвективное охлаждение. Графики холодопроизводительности коррелируют с графиками теплопроизводительностей.

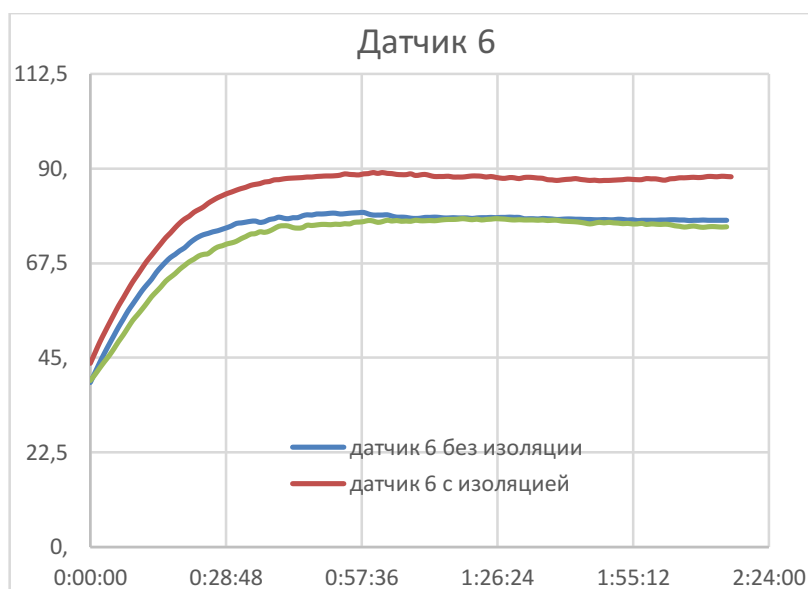


Рисунок 4 – Графики температуры боковой стенки компрессора при 3-х вариантах



Рисунок 5 – Графики температуры воздуха в пространстве между испарителем и компрессором (а) и температуры поверхности испарителя при 3-х вариантах

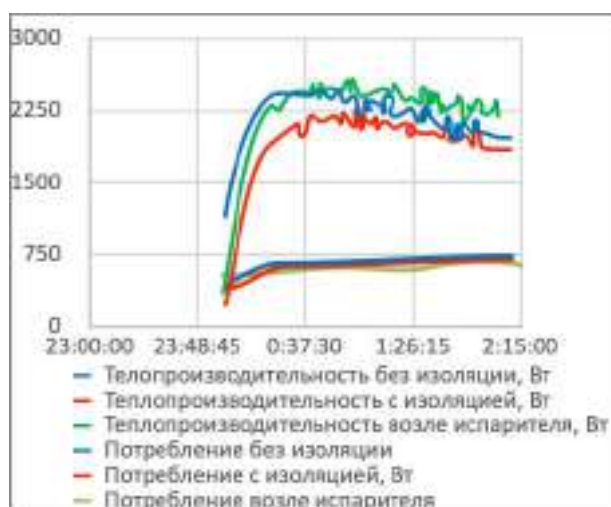


Рисунок 6 – Графики теплопроизводительности (верхние зависимости) и потребляемой мощности при 3-х вариантах

4. Выводы

Экспериментальные исследования и анализ результатов измерений подтвердили гипотезу о том, что при размещении компрессора теплового насоса внутри испарителя концентрической конструкции теплообмен между искомыми элементами приводит охлаждению компрессора, к снижению температуры его нагрева компрессора, а также к повышению теплопроизводительности теплового насоса, так как поглощенное испарителем тепло возвращается в общий рабочий цикл. При этом, улучшается температурного режим обмоток электродвигателя, что будет влиять на срок службы компрессора. Установлено, что размещение компрессора со смещением от центра, то есть, приближение его к испарителю не существенно влияет на температурный режим.

Список литературы

1. Baldassin Jr., R. Uso racional de energia em fazendas leiteiras com bombas de calor. 2006. 176 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
2. I Sharaf-Eldeen, Y.. Performance of heat pump water heater, HPWH systems and their impacts on electric utility loads. Journal of Thermal Science and Engineering Applications, New York, v. 2, p. 021008-1-021008-6, 2010.
3. Byrne, P.; Miriel, J.; Lenat, Y. Design and simulation of a heat pump for simultaneous heating and cooling using HFC or CO₂ as a working fluid. International Journal of Refrigeration, Guildford, n.32, p.1711-1723, 2009.
4. Pardo, N.; Montero, A.; Sala, A.; Martos, J.; Urchueguía, J. F. Efficiency improvement of a ground coupled heat pump system from energy management. Applied Thermal Engineering, Oxford, n.31, p.391-398, 2011.
5. Sebarchievici, C.; Sarbu, I. Performance of an experimental ground-coupled heat pump system for heating, cooling and domestic hot-water operation. Renewable Energy, Oxford, n.76, p.148-159, 2015.
6. Ma, K.; Jin, L.; Yan, L. Feasibility study about solar energy-air source heat pump system in cold region rural residential applications. Applied Mechanics and Materials, Switzerland, v.672-674, p.113-116, oct. 2014.
7. Stafford, A.; Lilley, D. Predicting in situ heat pump performance: An investigation into a single ground-source heat pump system in the context of 10 similar systems. Energy and Buildings, Lousanne, n.49, p.536-541, 2012
8. Luo, J.; Rohna, J.; Bayer, M.; Priess, A.; Wilkmanna, L.; Xiang, W. Heating and cooling performance analysis of a ground source heat pump system in Southern Germany. Geothermics, Amsterdam, n. 53, p.57-66, 2015.
9. Vieira, A. S.; Stewart, R. A.; Beal, C. D. Air source heat pump water heaters in residential buildings in Australia: Identification of key performance parameters. Energy and Buildings, Lousanne, n.91, p.148-162, 2015.
10. Fernandez, N.; Hwang, Y.; Radermacher, R. Comparison of CO₂ heat pump water heater performance with baseline cycle and two high COP cycles. International Journal of Refrigeration, Guildford, n.33, p.635-644, 2010.
11. Hesaraki, A.; Holmberg, S.; Haghighat, F. Seasonal thermal energy storage with heat pumps and low temperatures in building projects - A comparative review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Amsterdam, n. 43, p.1199-1213, 2015.
12. Ferrarez, A. H.; Oliveira Filho, D.; Teixeira, C. A. Independência Energética de Granja Suinícola a partir do uso de biogás. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.18, n.3, p. 248-257, 2010.
13. Cervi, R. G.; Esperancini, M. S. T.; Bueno, C. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.5, p.831-844, 2010.
14. Martins, F. M.; Oliveira, P. A. V. Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.31, n.3, p.477-486, 2011.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ОСВЕЩЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

А.Ж. Сагындикова, Б.Ж. Мустагулова, Н.С. Бекмуратова
Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

Аннотация. В статье представлен анализ использования светодиодного освещения в животноводческих помещениях, которое может быть не только энергоэффективным, но и способствовать повышению производительности фермерских хозяйств. Сельское хозяйство является крупнейшим потребителем электрической энергии в виде оптического излучения. Рациональное использование и экономия электроэнергии в установках освещения и облучения имеет наибольшее значение в общем балансе потребления электроэнергии. Продукты установок освещения и облучения в сельском хозяйстве представляют собой поток, который создает необходимое освещение для выполнения визуальной работы, или ультрафиолетовое облучение для воздействия на животных для поддержания и повышения продуктивности. Затраты представляют собой капитальные единовременные затраты на осветительные установки (оборудование, установку) и затраты на техническое обслуживание осветительных и облучательных установок, в первую очередь на замену источников излучения, их очистку и оплату электроэнергии. Учитывая, что стоимость электроэнергии очень сильно выросла, вопрос снижения затрат на освещение и облучение имеет большую актуальность. Таким образом, задача осветительных и облучательных установок сводится к снижению как прямых капитальных затрат, так и эксплуатационных расходов, т.е. в основном к снижению потребления электроэнергии и является одной из наиболее важных проблем.

Ключевые слова: освещенность, светодиодного освещения животноводческих помещений, потребителем электрической энергии, оптическое излучение, помещение коровника с учетом балок и опор, световой режим, искусственный свет, Dialux оценка освещенности

Введение

Реализация политики энергоэффективности в настоящее время является одним из основных инструментов модернизации промышленности, жилищно-коммунального хозяйства и транспортного сектора. Успешная политика энергосбережения и повышения энергоэффективности обеспечивает энергетическую и экологическую безопасность страны. Кроме того, обеспечение повышения энергоэффективности стимулирует внедрение новых инновационных технологий и решений, что в свою очередь стимулирует активное взаимодействие развития науки и трансфера технологий.

Политика энергоэффективности должна включать меры по модернизации отраслей экономики, повышению качества управления и квалификации производственного персонала, привлечению масштабных инвестиций, обучению населения бережливому потреблению энергии. Также необходимым условием ее реализации является использование научно-технического потенциала и нового инновационного мышления, повышение инвестиционной привлекательности энергоэффективности как привлекательного вида предпринимательской деятельности [2].

Исследования ряда ученых свидетельствуют о перспективности разработки и внедрения в практику наиболее оптимальных световых режимов для каждого вида и возраста животных.

Методы и материалы

Технологическая значимость светового режима значительно возрастает в тех районах, где продолжительность огороженного периода достигает нескольких месяцев, а влияние световой энергии на организм животного полностью зависит от искусственных источников света. Кроме того, в крупномасштабных животноводческих помещениях широко используется искусственное освещение, которое значительно или полностью заменяет естественное освещение. В процессе адаптации к внешним условиям под влиянием чередующихся периодов света и темноты (дня и ночи) у животных развивались ритмические изменения в жизненных процессах, которые называются фотопериодизмом. Проявление половых рефлексов, рост и развитие потомства, изменение шерсти, отложение жира, обмен веществ, секреция молока, деятельность эндокринных органов регулируются у животных режимом освещения. Связь процессов размножения со световым режимом проявляется особенно естественно. Учитывая зависимость половой функции от фотопериодических условий, животные делятся на короткодневные, длиннодневные и

промежуточные. Коровы относятся к животным длительного дня, их сексуальная активность проявляется весной, увеличением продолжительности дня. Также под воздействием света нормализуется обмен веществ в организме, что является жизненно важным процессом и, следовательно, необходимым условием для нормального функционирования организма животного [1-4].

Короткие дневные часы идеально подходят для сухих коров. Коровы, постоянно подвергающиеся воздействию дневного света, постепенно теряют способность увеличивать удои. Короткие дни "возобновляют" способность коровы реагировать на дневной свет во время следующей лактации. Это означает, что сухие коровы не должны получать столько же света, сколько молочные коровы. Ограничение времени светового воздействия на сухих коров менее 12 часов в день позволяет их внутренним часам функционировать должным образом, а дополнительное световое воздействие при последующей лактации дает желаемый результат.

При работе с сухими коровами большой интерес может представлять влияние короткого светового дня на здоровье вымени и устойчивость к болезням. Предварительные лабораторные исследования показали, что коровы, подвергшиеся короткому дневному свету в сухой сезон, более устойчивы к различным инфекциям.

В сухой сезон реакция короткого светового дня соответствует влиянию отелочного сезона на выработку молока. В конце зимы отеленные коровы дают больше молока, чем отеленные коровы летом. Производство пролактина также может повлиять на конечный результат. Влияние среды на секрецию пролактина и чувствительность в сухой период оказывают существенное влияние на последующие показатели молока.

С физиологической точки зрения ожидалось, что зимой сухие коровы будут иметь самую низкую концентрацию пролактина из-за коротких дней и низких температур. Летом у сухих коров наблюдается повышенная выработка пролактина из-за высоких температур окружающей среды и длительных солнечных дней. Эффект пролактина является благоприятным фактором для объяснения преимуществ включения коротких световых дней между длительными периодами.

Наряду с положительным влиянием освещения на здоровье и продуктивность животных, во всех случаях необходимо учитывать вопросы обеспечения безопасности персонала. В промышленности большое значение придается освещению рабочих мест, например, для предотвращения травматизма и улучшения качества продукции. Однако в сельском хозяйстве многое предстоит сделать в этом направлении. Также свет влияет на качество выполняемой работы, как в сарае, так и на доильной машине. Освещение помещений должно осуществляться, по возможности, за счет естественного освещения. Поэтому при планировании новых помещений или перепланировке старых следует обращать внимание на максимально естественное проникновение света во все помещения сарая, в том числе в помещения для отела, через достаточно большие световые проемы в коньке крыши и боковых стенах помещения.

Увеличение светового периода до рекомендуемых 16 часов возможно за счет использования современных экономичных ламп (люминесцентные лампы, натриевые лампы высокого давления). Благодаря включению искусственного освещения утром и вечером с помощью электронных устройств с часовым механизмом можно автоматически регулировать продолжительность светового дня без участия оператора. Это также приносит производственную и экономическую выгоду. Например, в зимние месяцы можно непрерывно управлять освещением с 4 до 8 часов утра и с 16 до 20 часов вечером.

В современных коровниках с высокими потолками для свободного содержания животных рекомендуется вешать источники света на цепи или прутья, чтобы приблизить их к местам расположения животных.

При проектировании системы освещения необходимо обеспечить равномерное освещение всего здания, чтобы не образовались светлые пятна или черные ниши. Высота установки светильников зависит от их мощности (Вт). Чем выше мощность ламп, тем больше их можно установить. При увеличении высоты крыши здания необходимо устанавливать меньшие светильники, но с большей мощностью. Контрольный номер высоты установки светильников должен соответствовать расстоянию около 1,5 между лампами. Используя предложенную формулу, можно легко рассчитать количество источников света, необходимых для освещения двorca:

$$\text{Количество необходимых ламп} = \frac{\text{площадь коровника(кв.м)} \times 160 \text{ люкс} \times K}{\text{сила освещения/лампа}}$$

Примечание: освещенность в 160 люкс предоставляет необходимый минимум. Кто хочет действовать наверняка, может использовать в формуле вместо значения 160 люкс 200 люкс.

K - константа для отражения света или поглощения света. Для закрытых коровников следует использовать значение коэффициента K равное 2, для коровников с открытыми стенами равное 3. Мощность ламп в люменах.

Следует отметить, что световая мощность (люкс) может варьироваться при одной и той же мощности ламп (ватт). Поэтому, расчет всегда должен производиться в соответствии с типом ламп. Соблюдение требуемой освещенности, а также освещение различных участков можно проверить с помощью фотометра. Простые удобные измерительные приборы от 50 до 100 € уже можно найти в специализированных магазинах электроники. Измерения должны быть произведены на высоте 60 см над уровнем пола коровника. Важно, чтобы необходимые 200 люкс были достигнуты не только возле кормушек, но и в области боксов для лежания, так как коровы, как правило, проводят лишь три-четыре часа в день у кормушек, а отдыхают до 14 часов.

При недостаточном освещении области отдыха, программа освещения будет безуспешной. Чтобы сократить производственные затраты должен быть установлен сенсорный датчик света. Он должен автоматически включать осветительную установку в коровнике, при условии, если требуемое значение яркости (например, 200 люкс) не достигнуто. Датчик должен быть установлен в таком месте, где световое излучение примерно равно значению внутри коровника. Поблизости не должно быть никакого искусственного источника света! Для того, чтобы избежать неоднократных краткосрочных включений - отключений в течение дня, например во время грозы, датчик программируется автоматической установкой времени.

Во время шестичасовой фазы темноты все лампы в коровнике по мере возможности должны быть выключены. Коровы - в отличие от людей - даже в полной темноте ориентируются хорошо. В ночное время для контроля может быть установлено несколько ламп красного света (15 Ватт). Конечно, не всегда просто выдерживать продолжительность светло-темных фаз. Особенно в летний период, коровник не может находиться в полной темноте в течение шести-восьми часов. Поэтому наибольший успех в программе освещения достигнут молочные фермы, которые планируют отел на осень и зиму.

Результаты и обсуждение

Несмотря на полученные за последние годы, данные о влиянии света на организм сельскохозяйственных животных, этот фактор изучен еще недостаточно. Исследования, проведенные в странах запада, показали, что увеличение продолжительности светового дня до 16 часов в сутки в осенне-зимний период позволили увеличить молочную продуктивность в среднем на 8%. Освещенность у поилок и кормового стола должна быть на уровне 200-300 лк, а в боксах для отдыха коров хотя бы 80 лк. Эти данные значительно отличаются от нормативных 30-70 лк. [5, 6].

Такое сильное увеличение освещенности может отрицательно сказаться на экономическом эффекте от увеличения продуктивности коровьих ферм. Доля освещения в общем балансе электропотребления ферм составляет около 4,6 % [7]. Если ориентироваться на традиционные подходы к обеспечению освещения в коровниках, то расходы на эксплуатацию искусственного освещения будут чрезмерными.

Помочь в решении данной проблемы может внедрение светодиодного освещения и применение программного обеспечения по расчетам освещенности.

В качестве примера был взят коровник на 200 голов по типовому проекту [8], эскиз которого показан на рисунке 1. Коровы разделяются на 4 группы по 50. Их жизненное пространство разделено на две части: зона питания, расположенная в центре коровника вдоль кормушек; и зона отдыха, расположенная по краям около окон.

В Dialux было построено помещение коровника с учетом балок и опор, а также кормушек и жердевых ограждений (рисунок 2). Кроме того, были введены фигуры коров, которые расположены у кормушки. Такое расположение коров затрудняет освещение центральной части, которая к тому же должна быть лучше освещена, чем края около окон.

Программа для расчета освещенности позволяет моделировать различные сцены освещения, и благодаря этому можно подобрать наиболее рациональное расположение светильников с учетом естественного освещения и особенностей световых режимов в отдельных частях помещений. Одним из наиболее востребованных программных продуктов по расчету освещенности является DiaLux.

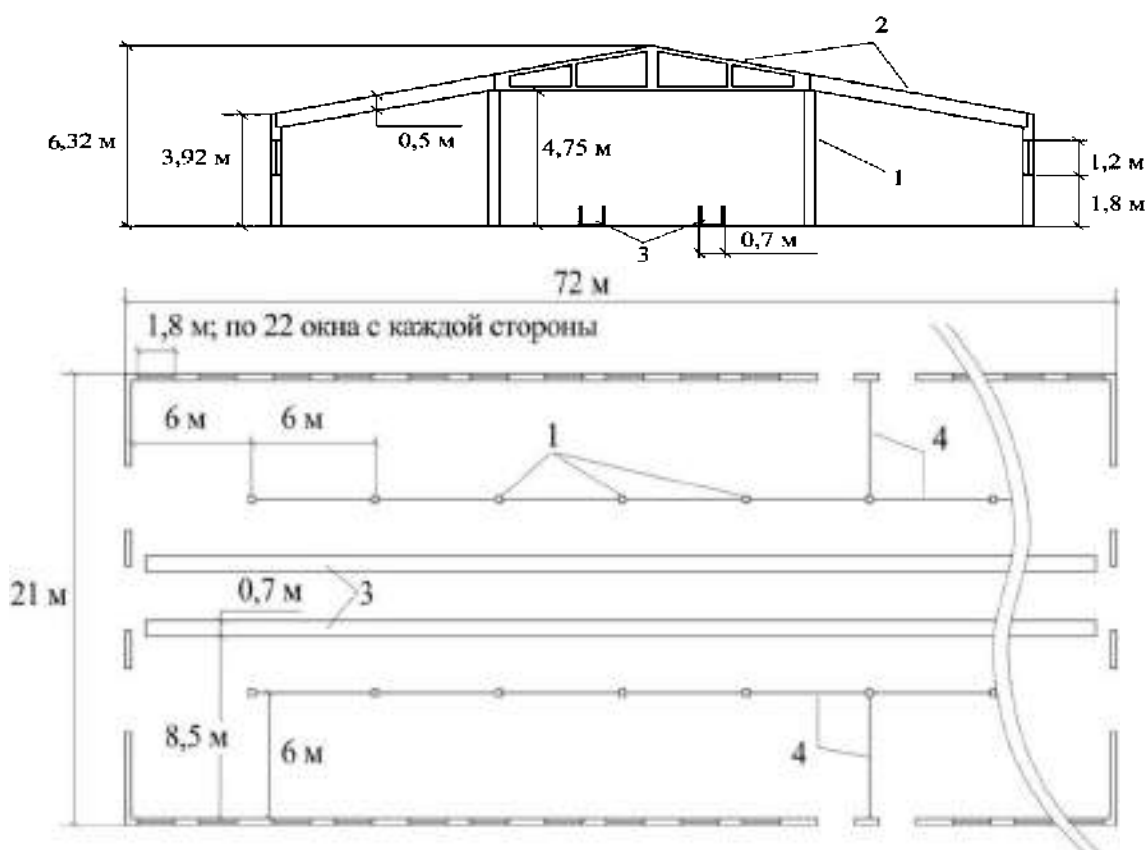


Рисунок 1 – Эскиз коровника на 200 голов
1 – железобетонные опоры, 2 – железобетонные балки,
3 – кормушки для коров, 4 – жердевые ограждения.

В Dialux оценка освещенности расчетных поверхностей может даваться в виде таблиц или графиков горизонтальной и вертикальной освещенности. В данном случае для наглядности использована градация фиктивных цветов, каждый из них соответствует определенному значению освещенности, на рисунке 3 показана цветовая шкала, которая использована для оценки освещенностей ниже следующих вариантов освещения коровника. [9].



Рисунок 2- Помещение коровника с учетом балок и опор

В Dialux оценка освещенности расчетных поверхностей может даваться в виде таблиц или графиков горизонтальной и вертикальной освещенности. В данном случае для наглядности использована градация фиктивных цветов, каждый из них соответствует определенному значению освещенности, на рисунке 3 показана цветовая шкала, которая использована для оценки освещенностей ниже следующих вариантов освещения коровника. [9].



Рисунок 3 – Распределение освещенности по фиктивным цветам в программе DiaLux

На рисунке 4 показано распределение освещенности при использовании светодиодных светильников ДСП-44-38 Вт 24 штуки, ДСП-44-48 Вт 24 штуки и ДСП-44-65 Вт 12 штук. При этом в центре коровника освещенность примерно соответствует 200 лк, а в зоне отдыха коров около 70-80 лк.

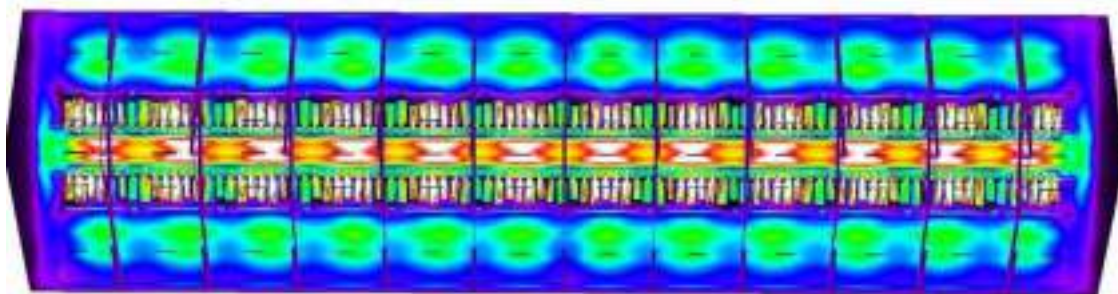


Рисунок 4 – Улучшенное освещение светодиодными светильниками, 65 Вт – 12 шт., 48 Вт – 24 шт., 38 Вт – 24 шт.

На рисунке 5 показан вариант с применением светильников с лампами ДРЛ-125 Вт 69 штук. Лампы большей мощности не могут быть использованы ввиду малой высоты подвеса, в типовом проекте высота составляла 3,5 м, а для ДРЛ-125 она была увеличена до 4 м. Распределение освещенности в этом варианте также удовлетворяет требованиям по улучшенному содержанию коров.

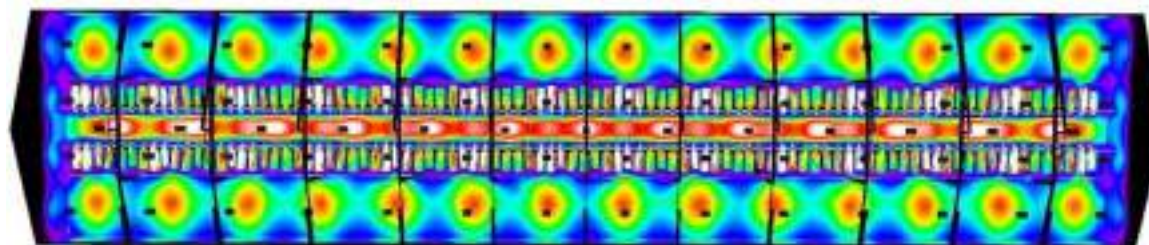


Рисунок 5– Улучшенное освещение светильниками с лампами ДРЛ-125, 69 шт.

На рисунке 6 показано распределение освещенности при использовании светильников с двумя люминесцентными лампами по 36 Вт – 78 штук. Здесь также освещенность удовлетворительная.

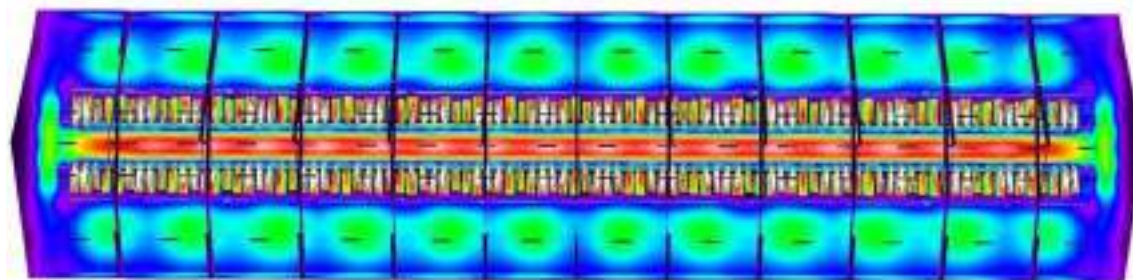


Рисунок 6 – Улучшенное освещение светильниками с люминесцентными лампами 2*36 Вт, 78 шт.

Светодиодное освещение становится выгодным по сравнению с другими уже после трех лет эксплуатации, по крайней мере, на 4, 5-ый год общие расходы будут значительно меньше.

Выводы

Таким образом, рационально выбранное светодиодное освещение позволяет не только повысить энергоэффективность эксплуатации, но и помочь увеличить продуктивность животноводческих ферм.

Литература

1. Казаков А. Влияние светового режима на продуктивность лактирующих коров. Молочное и мясное скотоводство – 2009. – № 3. – С. 12-13.
2. Алферова Л.К., Кожевникова Н.Ф., Лямцов А.К. Применение оптического излучения в животноводстве. — Россельхозиздат, 1987. Стр.52-69
3. Юрков В. М. Микроклимат животноводческих ферм и комплексов / В. М. Юрков. — М.:Россельхозиздат, 1985. — 223 с.
4. Michael W Fleming Experimental Inoculations with *Ostertagia ostertagi* or Exposure to Artificial Illumination Alter Peripheral Cortisol in Dairy Calves (*Bos taurus*). Immunology and Disease Resistance Laboratory, Livestock and Poultry Sciences Institute, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Beltsville, MD 20705 USA.
5. Е.Е. Хазанов, В.В. Гордеев, В.Е. Хазанов. Технология и механизация молочного животноводства. Учебное пособие. Издательство «Лань». СПб, 2010. Стр. 27
6. Мартынова Е.Н., Ястребова Е.А. Освещенность животноводческих помещений и ее влияние на продуктивность коров. Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № стр 12-27
7. Н.П.Мишуров. Биоэнергетическая оценка и основные направления снижения энергоемкости производства молока. Министерство сельского хозяйства РФ, ФГНУ «Росинформагротех». Москва, 2010. Стр 85-93
8. ОТП-801-2-101.12.87 «Коровник на 200 коров». Стр 54-98
9. Эль Хаббах Мохамед Эль - Сайед. Влияние различных источников освещения (ламп накаливания и люминесцентных) на результаты выращивания ремонтных молодок и продуктивность клеточных несук /Дисс. канд. с.- х. н., 1980. - 97 с. »
10. Электропривод и применение электрической энергии в сельском хозяйстве /Г.И. Назаров, Н.П. Олейник, А.П. Фоменко, И.М. Юровский. М.: Колос, 1972.-446 с.

ENERGY-SAVING LIVESTOCK FACILITIES LIGHTING ANALYSIS

Sagyndykova A. Zh., Mustagylova B.ZH. , Becmyratova N.S.

Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *The article provides an analysis of the use of LED lighting in livestock premises, which not only saves energy, but also helps to increase the productivity of farms. Agriculture is the largest consumer of electricity in the form of optical radiation. Rational use and saving of electricity in irradiation plants is of great importance in the overall balance of electricity consumption. The product of lighting and irradiation installations in agriculture is a luminous flux necessary for performing visual work, or ultraviolet irradiation for exposure to animals in order to maintain and increase productivity. Capital One-time costs for lighting installations (equipment, installation) and operating costs for the maintenance of lighting installations, primarily for replacing radiation sources, cleaning them, as well as for paying for electricity. Given that the cost of electricity has risen very high, the problem of reducing lighting and radiation costs is very relevant. Thus, the task of irradiation installations is reduced to reducing both direct capital costs and operating costs, i.e. it is mainly related to reducing electricity consumption and serious problems.*

Key words: *illumination, LED lighting of livestock premises, electric energy consumer, optical radiation, cowshed premises taking into account beams and supports, light mode, artificial light, Dialux illumination assessment*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ТРЕХПРОЧЕСКОГО ЧЕСАЛЬНОГО АППАРАТА

Тергемес К.Т., Сагындикова А.Ж., Бердибеков А.О.

Алматинский университет энергетики и связи, имени Г.Даукеева, tergemes@mail.ru,
Алматинский университет энергетики и связи, имени Г.Даукеева,
a.sagyndikova@aes.kz

***Аннотация** – в этой статье приведено краткое описание технологического процесса чесания шерсти на многопрочесных чесальных аппаратах. Составлена виртуальная модель существующего электропривода чесального аппарата в пакете прикладных программ MATLAB. Получены различные режимы работы электродвигателей в системе синхронного вращения с существующим электроприводом и электроприводом с применением преобразователей частоты.*

***Ключевые слова** — чесальный аппарат, электрический рабочий вал, виртуальная модель, многодвигательный асинхронный электропривод, преобразователь частоты.*

Введение.

Одной из ведущих отраслей легкой промышленности является текстильная промышленность. Развитие других отраслей легкой промышленности во многом зависит от других отраслей промышленности.

К одному из наиболее важных процессов прядильного производства легкой промышленности можно отнести также чесание шерсти, осуществляемое на чесальных аппаратах. Чесальные аппараты в большинстве случаев состоят из - войлочных чесальных машин, соединенных между собой лентообразователями и лентоукладчиками. Технологический процесс войлочных чесальных машин обеспечивает перемещение волокнистого материала вдоль движения потока продукции не перемешивая его в поперечном направлении (недостаток процесса). Восполнение недостатка в чесальном аппарате осуществляется лентообразователем и лентоукладчиком, которые осуществляют поперечное сложение потока волокнистого материала. Благодаря этому достигается ровницы. Последняя чесальная машина чесального аппарата соединена с ровничной кареткой, где чесанная ватка разделяется в продольном направлении на равные по ширине ленточки. В процессе скручивания ленточки ей придается соответствующая прочность, при этом полученный материал преобразуется в ровницу, которая в свою очередь наматывается в бобину в виде кружков, как конечный продукт чесания в аппаратном прядении [1]. Ровница, поступающая на прядильную машину, должна быть высокого качества для получения хорошей пряжи, т.е. ровница должна обладать необходимой ровностью, толщиной (номер), волокна ее должны быть перемещены и очищены. Кроме этого ровница не должна иметь шишек, волокна ровницы должны быть хорошо расчесаны, скручены волокна и плотно намотана на бобину.

Материалы.

В текстильной промышленности Республики Казахстан (РК) и России (РФ), широко распространены двух- и трехпрочесные чесальные аппараты [2].

Трехпрочесные чесальные аппараты, предназначены для производства малой и средней линейной плотности ровницы (Ч-31-Ш и Ч-31-Ш4, Россия, CR-24 и CR-33, Польша). Двухпрочесные аппараты предназначены для выработки грубой и полугрубой смеси, шерсти с большой линейной плотностью (Ш-22, РФ). Из этих чесальных аппаратов наибольшее распространение получили трехпрочесные одно съёмные, двухпрочесные двух съёмные аппараты.

Неравномерные ровницы, как основного продукта чесального аппарата, зависит от нарушения синхронности вращения приводных двигателей, при соблюдении всех других требований технологического процесса. Неравномерное вращение рабочего валика, осуществляющий сьем смеси с главного барабана, приводит к периодическому изменению толщины ровницы.

Методы исследования

получения более высокого качества ровницы, вращения главных барабанов аппарата должно быть равномерным синхронным. Электроприводы главных барабанов чесальных аппаратов фирмы «BEFAMA» завода «Орелтехмаш» имеет систему «электрического вала», работающий на пониженных скоростях, обусловленных наличием общего сопротивления в цепях ротора приводных асинхронных двигателей с фазным ротором.

Общеизвестно, что многодвигательные асинхронные электропривода синхронного вращения, на базе (электрического рабочего вала), в чесальных аппаратах имеет следующие особенности[3]:

- на валах двигателей имеются большие инерционные массы, в сотни раз превышающие массу роторов самих двигателей;
- разные нагрузки на двигателях каждого прочеса, обусловленные кинематически и технологически;
- приводные двигатели чесальных машин аппарата расположенных на значительном расстоянии друг от друга.

Виртуальная модель электропривода чесального аппарата приведена на рисунке 1. Пуск произведен в три ступени с оставлением не выводятся части общего сопротивления 0,2 Ома.

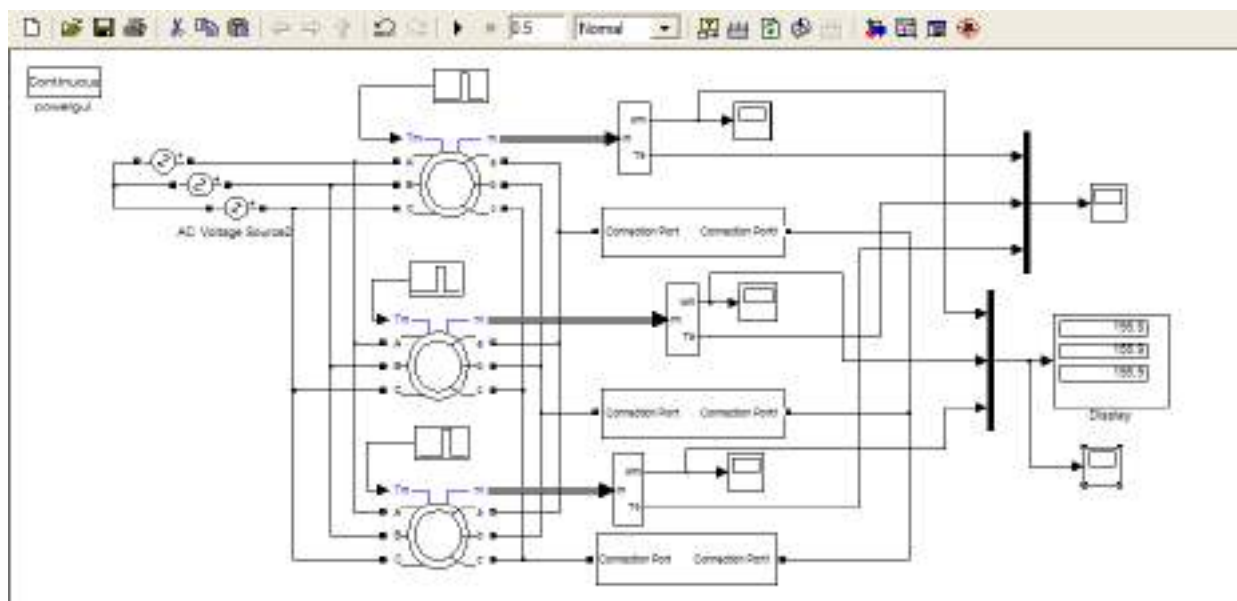


Рис. 1. Виртуальная модель трехдвигательного привода чесальных аппаратов с системой ЭРВ

Результаты собственных исследований

Осциллограммы, полученные на виртуальной модели, приведены на рисунке 2. Как показывают результаты моделирования необходимости уменьшение времени переходного процесса, обеспечение плавного пуска с заменой существующего электропривода ЧА. Как видно из осциллограммы, наличие общего роторного сопротивления подвергает систему к колебаниям. Уменьшение не выводятся части общего роторного сопротивления

приводит систему МАЭП СВ к автоколебательному режиму работы, что отрицательно влияет на качество выходной продукции.

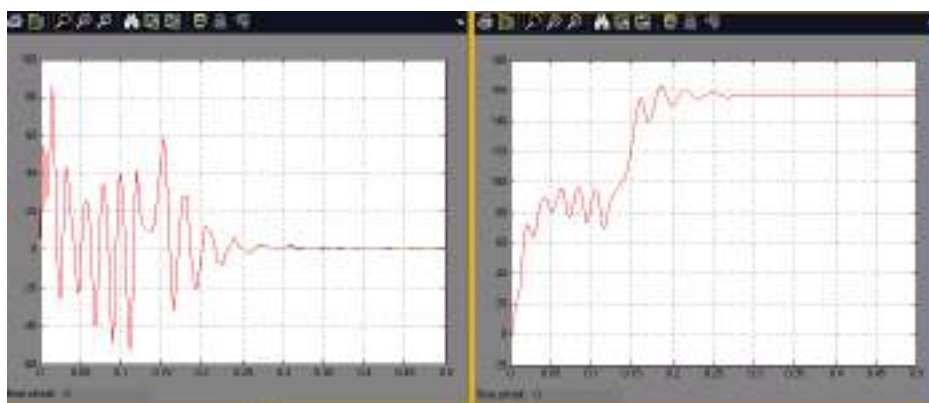


Рис. 2. Осциллограмма моментов и скоростей трехдвигательного асинхронного электропривода с системой ЭРВ.

На данном этапе развития силовой электроники и средств автоматизации есть возможность существенно улучшить технико-экономические показатели электропривода чесальных аппаратов, позволяющие повысить качество прочеса шерсти, энергоэффективность и управляемость электропривода ЧА.

Следует отметить, что система электрического вала в полной мере обеспечивает синхронизацию скорости двигателей [4], в связи с этим была поставлена задача исследования режимов работы существующего электропривода чесального аппарата. В результате аналитического и экспериментального исследования определены следующие основные требования к разрабатываемому многодвигательному асинхронному электроприводу [3]:

- для синхронного пуска приводных двигателей необходимо осуществить предварительную синхронизацию положений роторов;
- обеспечение плавного пуска и торможения асинхронных двигателей;
- общее плавное регулирование скорости двигателей;
- необходимое регулирование уравнивающих моментов системы в пределах $D = 1 \div 1,25$;
- обеспечение индивидуальной работы двигателей при наладке и ремонте чесальных машин и электрических цепей;
- автоматическая защита двигателей и систем управления от всех аварийных режимов;

Для дальнейшего развития систем автоматического управления МАЭП чесальных аппаратов, улучшения технико-экономических показателей, расширения диапазона регулирования скорости вращения и степени неравномерности нагрузок двигателей синхронного вращения, для ЧА разработан МАЭП СВ синхронно-синфазного вращения с асинхронными двигателями с фазным и короткозамкнутым ротором.

На рисунке 4 приведена виртуальная модель силовой части трехдвигательного асинхронного электропривода с преобразователями частоты. Как показывает результаты моделирования (рис. 5) применение преобразователей частоты в многодвигательном электроприводе ЧА, что переходные процессы моментов и скоростей позволяет обеспечить плавный синхронный пуск всех двигателей ЧА, плавного совместного регулирования при наброске и сбросе нагрузок, сохраняя синхронности вращения двигателей.

Вывод (заключение)

Для разработки многодвигательного ресурсо-и энергосберегающего асинхронного электропривода необходима создать МАЭП СВ с ПЧ с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором микропроцессорного управления, полностью отвечающего технологическим требованиям чесания шерсти на многопрочесных чесальных аппаратах.

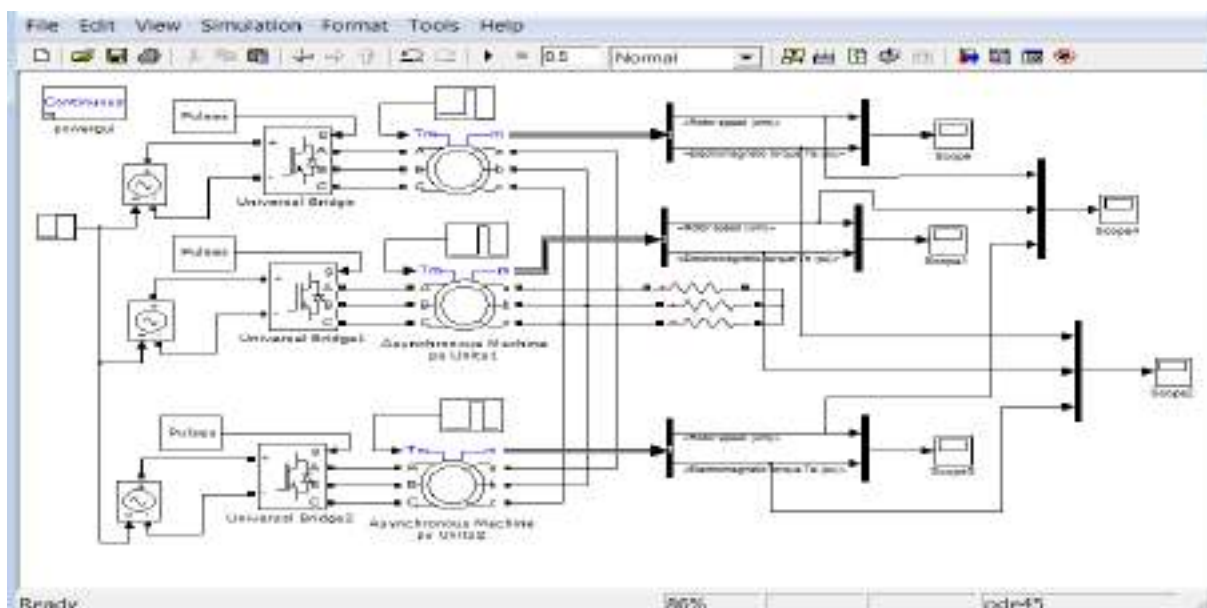


Рис. 4. Виртуальная модель МАЭП СВ с ПЧ с сохранением роторной электрической связи.

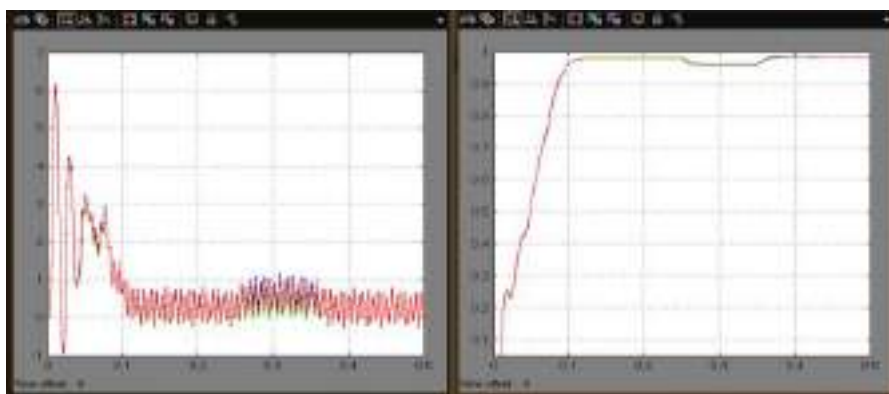


Рис. 5. Осциллограммы моментов и скоростей трехдвигательной системы МАЭП СВ ПЧ.

Литература

- 1.Труевцев Н.И., Ашнин Н.М. Теория и практика кардочесания в аппаратной системе прядения шерсти. М.: Легкая индустрия. 1968.
- 2.Шерстопрядильное оборудование / Н.А. Африканов, Л.Т. Музылев, П.М. Панин, В.Л. Протасова. М.: Легкая индустрия. 1980.
- 3.Тергемес К.Т. Многодвигательные асинхронные электроприводы чесальных аппаратов с тиристорными преобразователями напряжения. Алматы Изд КБТУ, 2007. -108 с.
- 4.Отчет о научно – исследовательской работе №0115РК00452 «Повышение качества прочеса переработки шерсти на многопрочесных чесальных аппаратах с глубокорегулируемым, ресурсо – и энергосберегающим асинхронным электроприводом (промежуточным).», Алматы, 2015.-7с
- 5.А.С. РК №56490. Многодвигательный электропривод переменного тока./К.Т.Тергемес, Д.Б.Акпанбетов, Р.М. Капбасов, А.А. Сартов, Ж.М. Нурпейс, С.Б. Сабитова; опубл. 15.09.08, Бюл. №9. – 2 с: ил.

6. А.С. РК №57335. Многодвигательный электропривод переменного тока./ П.И.Сагитов, К.Т. Тергемес, Д.Б. Акпанбетов, У.К.Тергемесов, Ж.М. Нурпейс; опубл. 17.11.08, Бюл. №11. – 2 с: ил.
7. А.С. РК №56769. Многодвигательный электропривод переменного тока./ К.Т. Тергемес, У.К. Тергемесов; опубл. 15.10.08, Бюл. №10. – 2 с: ил.
8. Тергемес К.Т., Бердибеков А.О. Многодвигательные электрприводы чесальных аппаратов с повышенной синхронизирующей способностей. Научная монография. – Алматы: АУЭС, 2019. – 77с.

УДК 631.544.4:620.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЖАЛЮЗИ КАК НОВЫЙ МЕТОД ДЛЯ ВЫРАБАТЫВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Әмірханов Б.Ә., Сағындыкова А.Ж.

«Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», г.Алматы, Казахстан

E-mail: bekariskhan@mail.ru, a.sagyndikova@aues.kz

Аннотация. Теплицы являются одной из основных систем в современном сельском хозяйстве, на которую приходится большая доля энергопотребления. Использование возобновляемых источников энергии в современном управлении теплицами важно для обеспечения эффективного и устойчивого снабжения продовольствием в мире с растущим населением. Солнечный свет принципиально необходим для выработки электроэнергии с использованием фотоэлектрических модулей. Более того, основным условием возделывания является доступность солнечного света для сельскохозяйственных культур, поскольку рост сельскохозяйственных культур полностью зависит от фотосинтеза. И мир стремится к максимальному использованию солнечного света.

Один из способов производство электричество из солнечных итор теплицы. Солнечная иторка, ориентированная параллельно крыше, частично блокировала проникновение интенсивного солнечного света в теплицу, но пропускала солнечный свет в пасмурное время, поворачивая опору иторки перпендикулярно крыше. Таким образом, в теплице можно создать стабильную среду облучения при различных условиях неба. Ежегодная эксплуатация продемонстрировала, что электрическая энергия, вырабатываемая жалюзи, может поддерживать работу фотоэлектрических жалюзи и производить избыточную электроэнергию.

Целью данной статьи является исследование применение фотогальванической системы жалюзи для получения энергии. Кроме этого предложены различные методы максимального применение солнечного света. На основе анализа производственной деятельности в теплицах и работы электрооборудования в данной статье предлагается реальная теплица расположенной в городе Алматы.

Ключевые слова: фотоэлектрическая система, модуль, энергия, солнечная иторка, жалюзи.

Введение

Среди возобновляемых источников энергии солнечная энергия является одним из наиболее перспективных источников энергии благодаря своему высокому потенциалу и доступности. Среди многих солнечных энергетических систем фотоэлектрические (PV) технологии становятся все более конкурентоспособными и играют решающую роль в производстве чистой и стабильной электроэнергии. Которые можно использовать для различных целей, например, для теплицы.

Теплицы значительно повышают эффективность землепользования в сельском хозяйстве. Однако они также потребляют значительно больше энергии, чем обычное сельское хозяйство, отчасти из-за кондиционирования тепличного пространства. Один из способов смягчить рост потребления энергии — интегрировать солнечные модули в конструкцию теплицы. [1]

Западных и множество ученые исследовали эффективность теплицы фотоэлектрических панелей расположенных под и над теплицей. Результаты показали, что фотоэлектрические панели на крыше теплицы также производят больше электроэнергии, чем фотоэлектрические панели под крышей; однако те, кто находится на крыше, более уязвимы для суровых погодных условий. Кроме того, фотоэлектрические панели обеспечивали часть потребности в электроэнергии, необходимой для теплицы. В этой статье проверяются методы и расчеты и предложения иностранных ученых на примере реальной Казахстанской теплицы.

Однако эксплуатация теплиц сопряжена со своими проблемами. Солнечная шторка, ориентированная параллельно крыше, частично блокировала проникновение интенсивного солнечного света в теплицу, но пропускала солнечный свет в пасмурное время. Использование фотоэлектрических систем для затенения является многообещающим методом, получившим широкое признание в последние годы, который используется не только для контроля температуры в помещении, относительной влажности и других вышеупомянутых параметров, но также обеспечивает потребности теплиц в электроэнергии. Размещение фотоэлектрических батарей на солнечной площадке рядом с теплицей — самый простой и эффективный способ выработки электроэнергии.

В настоящей рукописи представлена новая система солнечных жалюзи, специально предназначенная для теплиц. Система спроектирована с автоматическим контролем слепого угла в зависимости от уровня солнечной радиации в теплице. Заслонка PV может вращаться параллельно или перпендикулярно крыше теплицы в зависимости от желаемого и заранее выбранного уровня облучения. Эта функция повышает эффективность описанных слепых фотоэлектрических систем, обеспечивая более благоприятные условия выращивания в теплицах при меняющемся небе. Полупрозрачность жалюзи PV обеспечивает преимущества доступности солнечного света для сельскохозяйственных культур. Кроме того, энергия, вырабатываемая фотоэлектрическими жалюзи, может компенсировать потребность в электроэнергии для управления окружающей средой теплицы в дополнение к работе фотоэлектрических жалюзи. [4], [5], [6], [7]

Основная часть

В этом исследовании коммерческая теплица BRB APK с площадью 3000 м x 4000x 8 м для выращивания помидор, огурцов и баклажан в Алматы, Казахстан. Площадь размещения фотоэлектрических панелей определена равной 50 м², что покрывает имеющуюся площадь крыш теплиц. Теплица расположена на E43.32531°, N76.82169°, на высоте 500 м, лицом на юг, которая показана на рисунке 1. [8]



1 Рисунок - а: Вид сверху на теплицу (предоставлено Google Maps), б: перспектива и применение фотогальванической системы жалюзи .

Таблица 1. Характеристика солнечных фотоэлектрических жалюзи

Габариты	500 мм x 200 мм x 11 мм
Вес	2,23 кг
Тип аппарата	Монокристаллический силикон (Япония)
Максимальная выходная мощность	435 Вт
Лучшее рабочее напряжение	48,5 Вт
Максимальное напряжение	48,5
Максимальное напряжение системы	15000 В

Во-первых, как показано на рисунке 2 и 3, вырабатывается фотоэлектрическая энергия для удовлетворения потребностей тепличного производства, а излишки заряжаются в аккумуляторе; если остается определенный излишек, он продается в государственную сеть. Когда выработка фотоэлектрической энергии не может удовлетворить потребности тепличного производства, для увеличения мощности используется разрядка батареи.[9], [10], [11], [12]

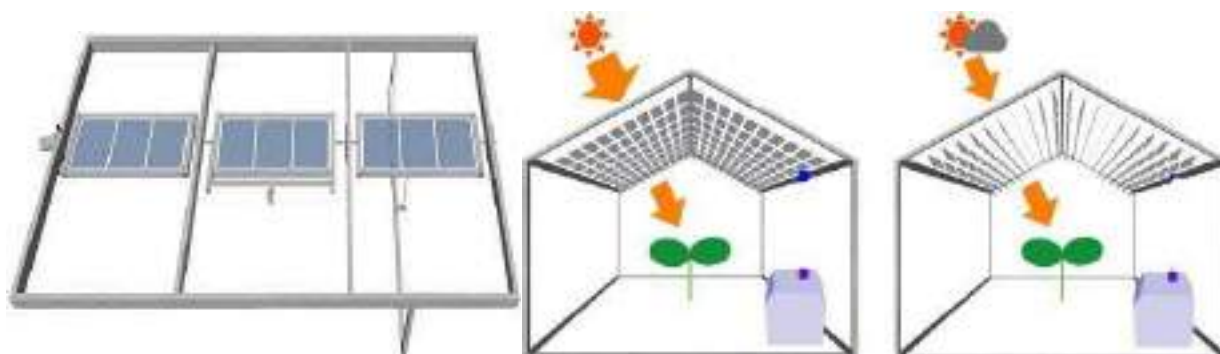
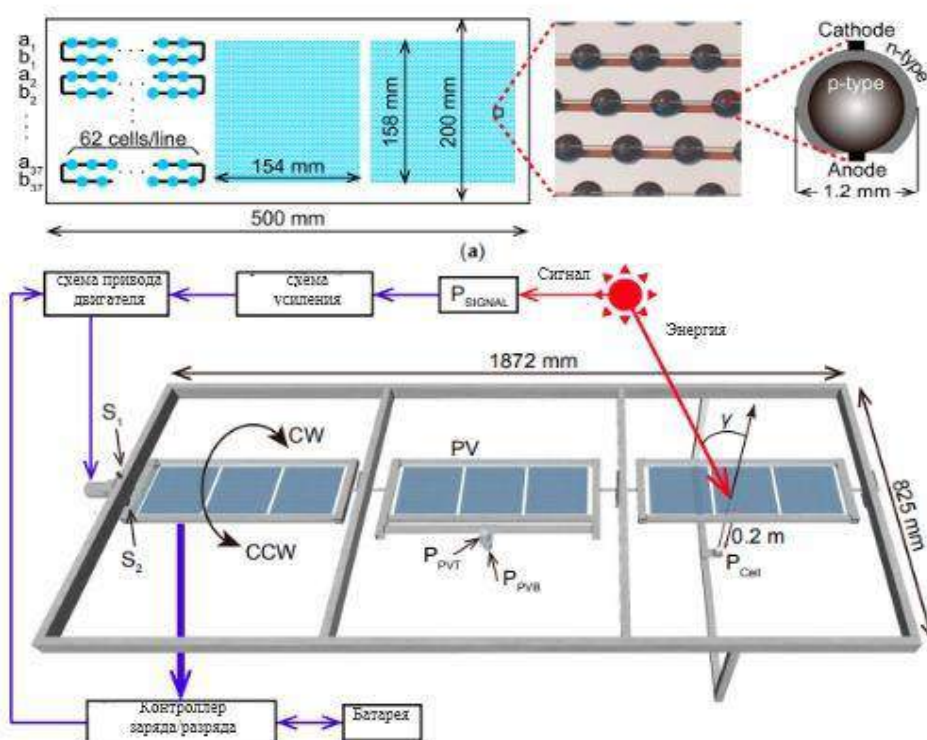


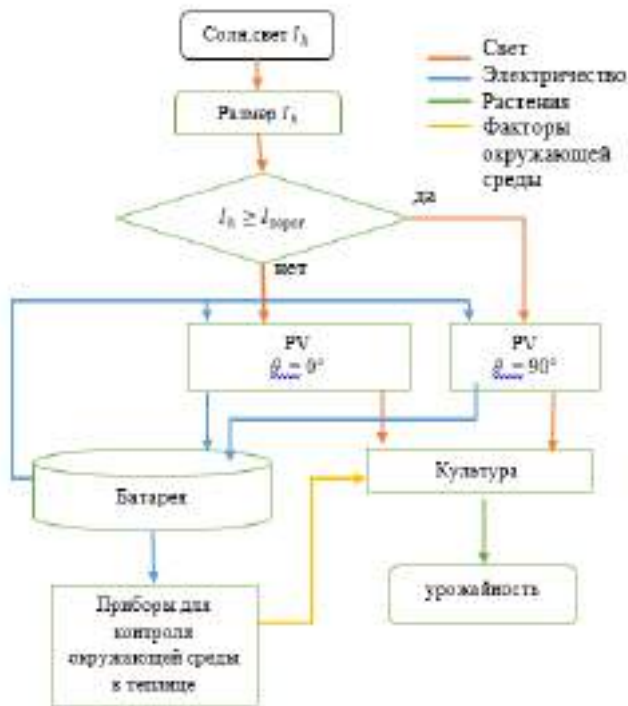
Рисунок 2 - Модель теплицы, оборудованная фотоэлектрическими жалюзи в закрытом ($\theta = 0^\circ$) и открытом ($\theta = 90^\circ$) положениях в зависимости от степени освещенности. Под стеклянной крышей теплицы можно аккуратно установить 1250 фотоэлектрических модулей.



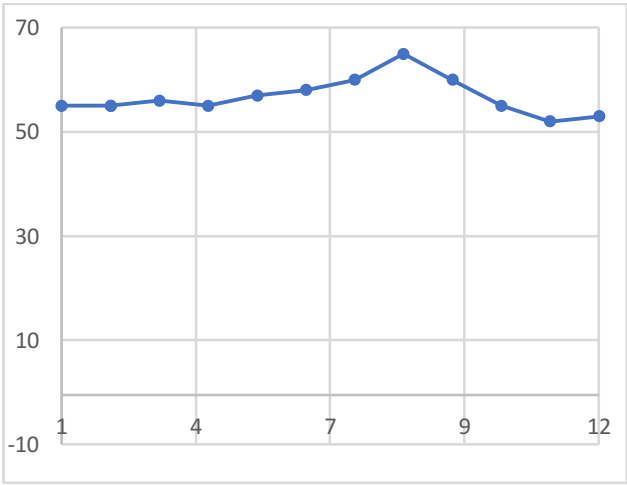
3 Рисунок - Полупрозрачный фотоэлектрический (PV) модуль в качестве жалюзи для затенения теплиц: общий вид фотоэлектрического модуля с фотографией крупным планом и структурой поперечного сечения сферической Si-PV ячейки; (а): блок-схема прототипа слепой фотоэлектрической системы (б): ППВТ и ППВБ — это пиранометры, направленные в противоположные стороны для измерения общего падающего излучения на двусторонний фотоэлектрический модуль. S1 и S2 — механические переключатели для остановки вращения модуля в перпендикулярном или параллельном положении к крыше теплицы, когда модуль контактирует с S1 или S2 по часовой стрелке; CCW — против часовой стрелки

Как видно на рисунке 4, выходное напряжение операционного усилителя управляет полным мостовым драйвером двигателя постоянного тока для управления направлением вращения

двигателя. Пороговое значение $I_{\text{н порогового}}$ значения I для запуска вращения жалюзи может быть установлено путем регулировки значения R_0 . Вращение шторки фотоэлектрического модуля останавливается в положении, параллельном ($\theta = 0^\circ$) или перпендикулярном ($\theta = 90^\circ$) к крыше, когда шторка фотоэлектрического модуля касается механического переключателя. Когда $I_{\text{н}}$ превышает заданный порог I , фотоэлектрические жалюзи ориентируются параллельно крыше, чтобы производить большее количество электроэнергии при умеренном затенении солнечного света благодаря полупрозрачности фотоэлектрического модуля. Жалюзи PV ориентируются перпендикулярно крыше, когда уровень освещенности ниже порога I , отдавая приоритет поступлению солнечного света в теплицу для выращивания сельскохозяйственных культур.

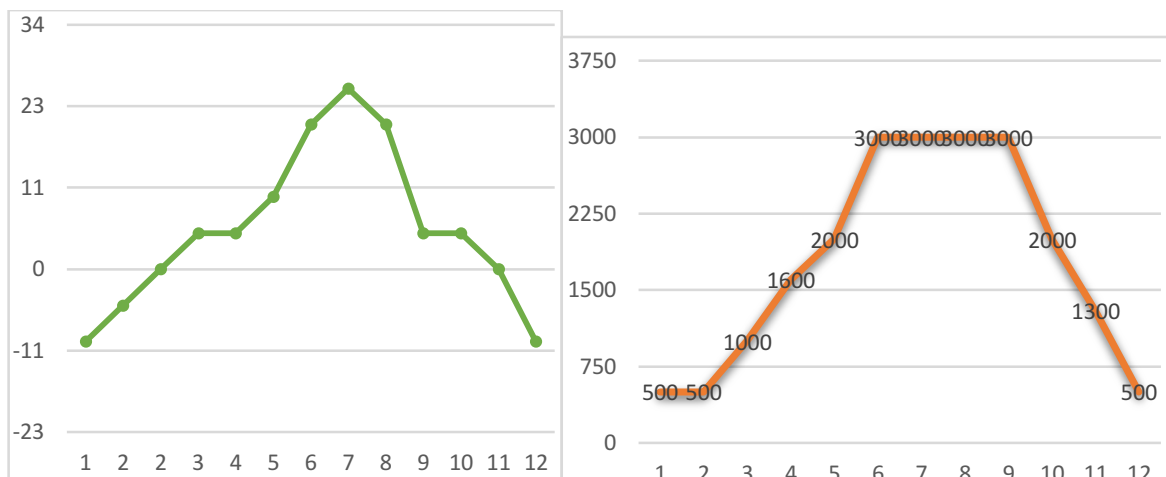


4 Рисунок - Концепция управления затенением полупрозрачной фотоэлектрической теплицы представлена в виде блок-схемы.



А) Температура в помещении

Б) Относительная влажность



В) максимальное освещение на кроне растения

Г) Потребность в электроэнергии

5 Рисунок - Уравнение среднemesячных измеренных значений и смоделированных данных. (а) температура в помещении, (б) относительная влажность, (в) максимальное освещение на кроне растения, (г) потребность в электроэнергии.

2 таблица- Расчетные данные расчетов на использование фотогальванических элементов в теплице BRB APK

Площадь теплицы	Покpытия жалюзи	Количество фотоэлектрических панелей	Общая площадь покрытия м ²
300мx400x8м	50 %	1250	2062 м ²

Мощность фотоэлектрической системы связана с материалом, интенсивностью света, площадью и другими факторами фотоэлектрической панели, которые постоянно меняются, поэтому выработка фотоэлектрической энергии также варьируется. В стандартных условиях номинальная мощность фотоэлектрической системы генерации электроэнергии составляет: [13]

$$P_{rated} = \eta_{STC} \times E_{STC} \times A \quad (1)$$

η - эффективность фотоэлектрического преобразования на единицу площади фотоэлектрической панели при стандартных условиях, которая обычно составляет 6%, 14% и 13% для материалов из аморфного, монокристаллического и поликристаллического кремния соответственно.

E - интенсивность солнечного излучения на поверхности фотоэлектрической панели при стандартных условиях = 1 кВт/м²;

A -площадь фотогальванической панели.[14], [15], [16], [17]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сосуществование сельскохозяйственных культур и фотоэлектрических систем представляет собой новую и сложную задачу по переходу продовольственной и энергетической систем на более устойчивые методы в условиях роста населения и глобального изменения климата. И сельскохозяйственным культурам, и фотоэлектрическим системам необходим солнечный свет для выполнения их основных функций преобразования энергии. Следовательно, они конкурируют за получение солнечного света, если занимают одну и ту же площадь суши. В этом исследовании изучалась возможность создания крыши теплицы со встроенной полупрозрачной системой жалюзи PV для обеспечения умеренных условий затенения тепличных культур наряду с одновременным производством электроэнергии. По результатам расчетов, на выбранной нами теплице благодаря использованию фотогальванических 300 тысяча кВтч, а годовое сокращение выбросов CO₂ 124,7 т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- [1]. А. Яно , М. Коссу, Энергоустойчивое выращивание тепличных культур с использованием фотоэлектрических технологий, *Renew Sust Energ Rev* , 109 (2019) , стр. 116–137 , DOI: 10.1016/j.rser.2019.04.026
- [2]. З. Ли , А. Яно , М. Коссу , Х. Йошиока , И. Кита , Ю. Ибараки. Система затенения теплиц, производящая электроэнергию, с полупрозрачной фотогальванической шторкой на основе микросферических солнечных элементов, *Энергии* , 11 (2018) , с. 1681 , 10.3390/en11071681
- [3]. З. Ли , А. Яно , М. Коссу , Х. Йошиока , И. Кита , Ю. Ибараки. Затенение и электрические характеристики прототипа системы жалюзи теплицы на основе полупрозрачной фотоэлектрической технологии. *J Agric Meteorol* , 74 (2018) , стр. 114–122 , 10.2480 / agrmet.D-17-00047
- [4]. Ю. Гао , Дж. Донг , О. Изабелла , Р. Сантберген , Х. Тан , М. Земан и др. Фотогальваническое окно с элементами затенения, отслеживающими солнечные лучи, для максимальной выработки электроэнергии и безбликового дневного освещения. *Appl Energy* , 228 (2018) , стр. 1454–1472 , DOI: 10.1016 / j.apenergy.2018.07.015
- [5] Ю. Луо , Л. Чжан , З. Лю , С. Су , Дж. Лиан , Ю. Луо. Совмещенный теплоэлектрооптический анализ фасада с фотогальваническим глухим интегрированным остеклением. *Appl Energy* , 228 (2018) , стр. 1870–1886, DOI: 10.1016 / j.apenergy.2018.07.052
- [6] Ю. Сун , К. Шанкс , Х. Бейг , В. Чжан , С. Хао , Ю. Ли и др. Интегрированное в окна полупрозрачное фотоэлектрическое остекление из теллурида кадмия: энергоэффективность и эффективность дневного света для различных архитектурных проектов, *Appl Energy* , 231 (2018) , стр. 972–984, DOI: 10.1016/ j.apenergy.2018.09.133
- [7] Дж. Пэн , Д. С. Курция , А. Таначареонкит , Э. С. Ли , Х. Гудей , С. Э. Селковиц. Исследование общих энергетических характеристик нового полупрозрачного солнечного фотоэлектрического окна на основе c-Si. *Appl Energy* , 242 (2019) , стр. 854–872, DOI: 10.1016/ j.apenergy.2019.03.107
- [8] З. Ли , А. Яно , М. Коссу , Х. Йошиока , И. Кита , Ю. Ибараки. Система затенения теплиц, производящая электроэнергию, с полупрозрачной фотогальванической шторкой на основе микросферических солнечных элементов, *Энергии* , 11 (2018) , с. 1681, DOI: 10.3390/en11071681
- [9] Green, M.A.; Hishikawa, Y.; Warta, W.; Dunlop, E.D.; Levi, D.H.; Hohl-Ebinger, J.; Ho-Baillie, A.W.Y. Solar cell efficiency tables (version 50). *Prog. Photovolt. Res. Appl.* 2017, 25, 668–676.
- [10] Abdel-Ghany, A.M.; Picuno, P.; Al-Helal, I.; Alsadon, A.; Ibrahim, A.; Shady, M. Radiometric characterization, solar and thermal radiation in a greenhouse as affected by shading configuration in an arid climate. *Energies* 2015, 8, 13928–13937.
- [11] Castellano, S. Influence of geometry on shading effect inside photovoltaic greenhouses. *Acta Hortic.* 2017, 1170, 813–819.
- [12] Xue, J. Photovoltaic agriculture—New opportunity for photovoltaic applications in China. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 73, 1–9.
- [13] Д. Янг , Дж. Кляйсль , К. А. Геймар , Х. Т. С. Педро , Ф. Карлос , М. Коимбра. История и тенденции прогнозирования солнечной радиации и фотоэлектрической мощности: предварительная оценка и обзор с использованием анализа текста *Sol Energy* , 168 (июль) (2018) , стр. 60–101 .
- [14]. Б. Озкан , К. Ферт , К. Ф. Карадениз. Энергетический и стоимостной анализ выращивания винограда в теплицах и в открытом грунте, *Energy* , 32 (8). 2007. С. 1500–1504 .
- [15] Б. Озкан , А. Курклу , Х. Аккаоз. Энергетический анализ «вход-выход» при выращивании овощей в теплицах: тематическое исследование для региона Анталии в Турции. *Biomass Bioenergy* , 26 (1) (январь 2004 г.) , стр. 89–95 .
- [16] Дж. А. Дайер , Р. Л. Дежарден. Интегральный индекс использования электроэнергии в канадском сельском хозяйстве с последствиями для выбросов парниковых газов, *Биосист. англ.* , 95 (3) (ноябрь 2006 г.) , стр. 449–460
- [17] К. Охьяма , М. Такагаки , Х. Курасака. Городское садоводство: его значение для сохранения окружающей среды, *Поддерживать. науч.* , 3 (2) (октябрь 2008 г.) , стр. 241–247
- [18] Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М., Табачникова Т.В., Шумихина О.А., Гибудуллин Р.Р. Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 3–15.

[19] Барзов А. А., Пузаков В. С., Ахметова И. Г. Вероятностно-стоимостная модель оптимизации этапов проектирования и экспертизы их качества по технико-экономическому критерию / Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3(51). С. 189-198.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕПЛОВой ОБРАБОТКИ И СУШКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ И КОРМОВ

Жұмақан Д.Қ., Сағындыкова А.Ж.

Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева

Агропромышленный комплекс является одним из важных секторов экономики, который формирует продовольственную и экономическую безопасность страны. Важную роль в агропромышленности Казахстана играет отрасль хлебопродуктов, ведь наша страна входит в число крупнейших стран экспортеров в мире по экспорту зерна и муки. В отрасли хлебопродуктов самым дорогостоящим и энергоемким процессом в комплексе мероприятий по послеуборочной обработке зерна является сушка. Перед первичной очисткой зерно сушат или подвергают активному вентилированию. Сушка предназначена главным образом для уменьшения исходной влажности зерна до кондиционной – 14–17%, при которой зерно может длительно храниться без ухудшения его продовольственных и посевных свойств. Сушка не только предотвращает порчу зерна, но и облегчает выделение примесей при очистке, выравнивает и улучшает механические свойства зерновой массы.

Для сушки зерна применяют различные стационарные и передвижные зерносушилки открытого и закрытого исполнения. По конструкции сушильных и охлаждающих камер зерносушилки делят на барабанные, шахтные, рециркуляционные, ромбические, колонковые, бункерные, карусельные, конвейерные и другие.

В основном для сушки зерна применяют шахтные сушилки, в которых тепло передается объекту конвекцией от движущегося агента сушки – теплоносителя (подогретый воздух или смесь его с топочными газами). На выходе из шахты — разгрузочное устройство, которое регулирует время нахождения зерна в шахте. Отсюда с помощью конвейера зерно подается на норию (лифт, поднимающий зерно наверх), нория отправляет зерно либо на повторную просушку, либо в специальный резервуар для высушенного зерна. Помимо этого, в самой зерносушилке есть три зоны. Первые две используются для сушки зерна, третья — для того, чтобы охладить его. Охлаждение нужно для того, чтобы зерновой материал не загорелся сам собой из-за слишком высокой температуры.

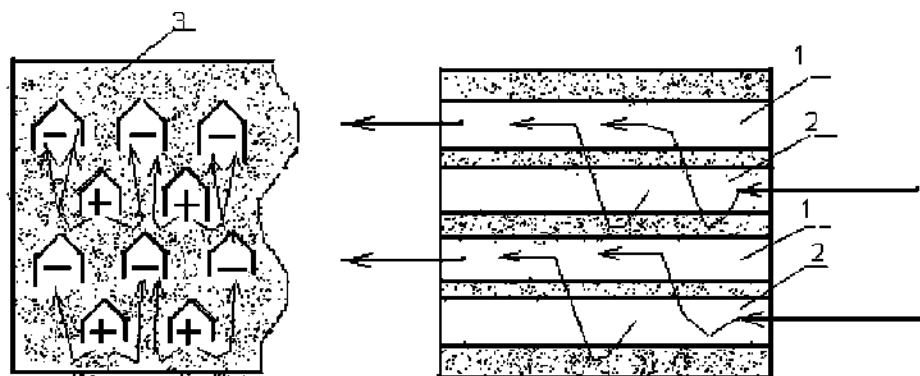


Схема 1. Схема шахты: 1 – отводящий короб; 2 – подводящий короб; 3 – корпус шахты.

Стенки шахты изготавливают или из металла, или из железобетона. Короба внутри шахты размещаются рядами с шагом по горизонтали 200-230 мм и с шагом по вертикали 200-250 мм. Зерно в шахте размещается между коробами. Короба по своему назначению делятся на подводящие 2 и на отводящие 1. Подводящие и отводящие короба чередуются между собой рядами. Иногда встречаются конструкции, когда подводящие и отводящие короба чередуются в ряду. Как правило, подводящие короба открыты с одного конца и закрыты с противоположного конца.

В торец открытого короба подается агент сушки (атмосферный воздух). Так как противоположный конец короба закрыт, то агент сушки может выйти через отводящий короб, у которого наоборот закрыт конец со стороны подвода агента сушки и открыт противоположный конец. Таким образом, чтобы агент сушки попал из подводящего короба в отводящий, он должен пройти через слой зерна между коробами. Так как вся шахта заполнена рядами подводящих и отводящих коробов, то зерно, двигаясь сверху вниз, все время продувается или агентом сушки (в первой и второй зонах), или атмосферным воздухом (в зоне охлаждения). Равномерность движения зерна по шахте обеспечивает выпускное устройство, смонтированное снизу шахты. Применение вышеописанных коробов позволяет равномерно нагревать и сушить зерно.

Технология рециркуляционной сушки зерна коренным образом отличается от технологии сушки в шахтных агрегатах. В новой технологии в полной мере используются сорбционные свойства зерна. В 19 веке очень часто использовались эти свойства для спасения сырого зерна. Наши прадеды смешивали сухое зерно с сырым, тщательно перемешивали его и оставляли на хранение. При обычной температуре смеси влага от сырого зерна переходит к сухому за 20-30 суток, т.е. за этот период влажность отдельных зерен выравнивается. Это очень длительный процесс. Однако, если эту смесь нагреть, то интенсивность влагообмена резко возрастает. При температуре смеси 55 °С за 15 мин может перераспределиться до 30-50 % влаги от сырого зерна к сухому. Вот этот старый метод спасения сырого зерна, интенсифицированный путем подогрева смеси зерна и заложенный в основу работы рециркуляционной зерносушилки.

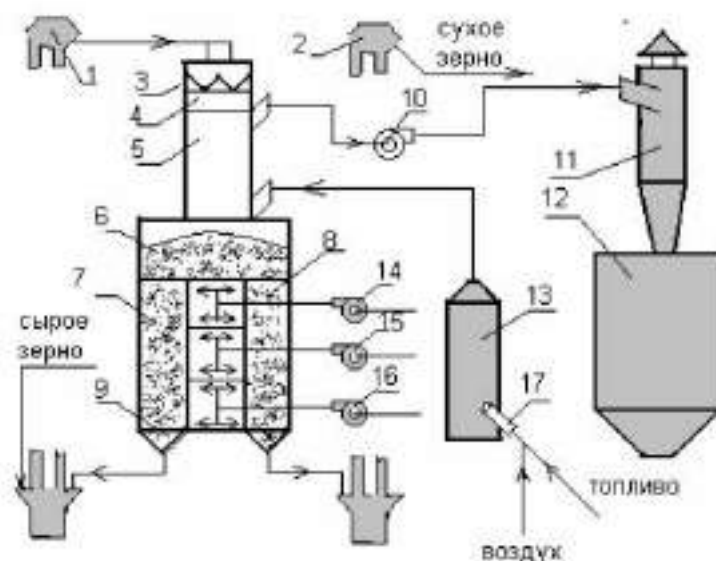


Схема 2. Технологическая схема зерносушилки типа «Целинная»: 1, 2 – нория; 3 – бункер; 4 – загрузочное устройство; 5 – камера нагрева; 6 – теплообменник; 7 – рециркуляционная шахта; 8 – шахта окончательного охлаждения; 9 – выпускное

устройство; 10,14,15,16 – вентилятор; 11 – циклон; 12 – бункер отходов; 13 – топка; 17 – форсунка.

Сушилка работает по следующей схеме 3. Сырое зерно поступает в рециркуляционную нормию 1. сюда же подается рециркулирующее (сухое) зерно из шахты 7. Смесь зерна из нории 1 направляется в надшахтный бункер 3 и через выпускное устройство 4 попадает в камеру нагрева 5 . Падая в виде дождя , зерно в камере нагрева продувается агентом сушки подаваемым вентилятором 10 топки 13. Нагретая смесь зерна после камеры нагрева 5 попадает в теплооблаооменник 6 , где за 10-15 мин полностью выравнивается температура всех зерен и частично выравнивается влажность зерна путем пере распределения влаги от сырого к рещркулирующему (сухому) зерну . Затем нагретое зерно направляется в две шахты 7 и 8 . В шахтах зерно продувается атмосферным воздухом . в результате чего зерно высушивается и охлаждается . Из шахты окончательного охлаждения 8 сухое и охлажденное зерно выводится из зерносушилки.

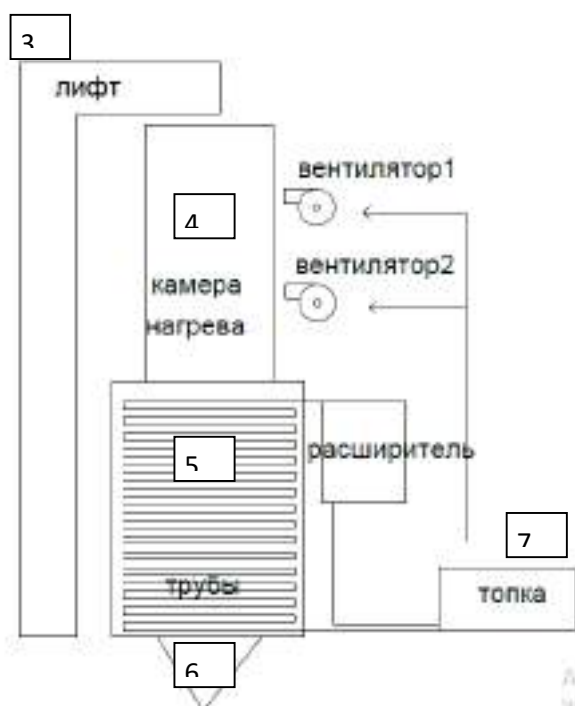


схема 3.технологическая схема зерносушиллки

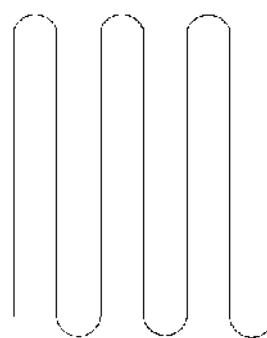


схема 4.Расположение труб.

Из рециркуляционной шахты 7 зерно снова направляется в рециркуляционную норию 1. где смешивается с сырым зерном . Далее циклы повторяются . Так как в рецеркуляционной шахты зерна выпускается в несколько раз больше , чем в шахты 8. время пребывания зерна в рециркуляшюнной шахте во столько же раз меньше и оно охлаждается на меньшую величину (до 35-40 ° С) . При смешиваниш этого зерна с сырым происходит нагрев сырого зерна.

На основе этой идеи, предлагаю модернизировать данный способ сушки путем использования нагретых труб расположенные спиралями в рецеркуляционной шахте, что может увеличить скорость процесса сушки и увеличит КПД, так как считаю что загрузка и выгрузка зерна из рецеркуляционной шахты вызывает дополнительную трату времени и энергии.

Сушилка будет работать по следующей схеме. Зерно будет поступать через норию 3 и через выпускное устройство попадает в камеру нагрева 4. Падая в виде дождя , зерно в камере нагрева продувается агентом сушки подаваемым вентиляторами 1,2 топки 7. Нагретая смесь зерна после камеры нагрева попадает в теплооблаооменник 5 , где за 10-15 мин полностью выравнивается температура всех зерен и частично выравнивается влажность зерна путем перераспределения влаги от сырого к сухому. В расположенные спиралями трубах(схема 4) в камере теплооблаооменника поступает горячая вода из

расширительного бака, которое будет греться в топке либо напрямую через электрические нагреватели(тэны).Затем нагретое зерно направляется в шахту 6. В шахтах зерно продувается атмосферным воздухом . в результате чего зерно высушивается и охлаждается . Из шахты окончательно го охлаждения 6 сухое и охлажденное зерно выводится из зерносушилки.

Литература:

1. Зерносушение и зерносушилки : учебное пособие / А.П. Гержой, В.Ф. Самочетов., М.:Колос 1967г.
2. Зерносушение и зерносушилки: монография/ А.П. Журавлев, Кинель 2014.
3. Снижение энергозатрат на сушку зерна: обзорная информация/ Малин Н. Москва 1991г.

УДК 620.91/98

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Кареева Н.С.; Бикир уулу С.
Кыргызский Национальный аграрный университет им.К.И.Скрябина

ANALYSIS OF THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN AGRICULTURE IN THE KYRGYZ REPUBLIC

Karayeva N.S.; Bikir uulu S.
Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin

Аннотация: *Рассматривается анализ использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Кыргызской Республике, а именно солнечной, ветровой и энергии биомассы. Особенности использования отмеченных видов ВИЭ в Кыргызской Республике является наличие их повсеместно. Большая часть населения проживает в сельской местности (более 60%), это предгорные и горные децентрализованные местности на высоте до 2000 м над уровнем моря, куда доступ традиционного топлива затруднителен. Если использование ВИЭ в промышленно развитых странах определяется в основном вопросами охраны окружающей среды и требованиями поиска, дополнительных энергоресурсов, то для Кыргызстана следует рассматривать использование ВИЭ как решение, прежде всего, социально-экономических проблем населения и в первую очередь сельского.*

Кыргызская Республика имеет значительный потенциал возобновляемых источников энергии (ВИЭ), использование которых может повысить уровень энергообеспеченности. Имеющиеся ресурсы возобновляемых источников энергии теоретически могут покрыть более 50% потребной энергии в Кыргызстане. При этом технические возможности на сегодняшний день составляют 20%, экономически оправданные около 6%, а практическое использование сейчас находится на уровне около 1%.

Наиболее перспективными следует считать применение ВИЭ в отдалённых горных и сельских районах, не имеющих централизованного энергоснабжения: фермерские хозяйства, животноводческие комплексы, горнорудные предприятия, дорожно-эксплуатационные службы, туристско-экологические объекты, насосные станции, объекты лесного и охотничьего хозяйств и др.; с жилыми объектами.

Abstract: The analysis of the use of renewable energy sources (RES) in the Kyrgyz Republic, namely solar, wind and biomass energy, is considered. The features of the use of the noted types of RES in the Kyrgyz Republic is their presence everywhere. Most of the population lives in rural areas (more than 60%), these are foothill and mountain decentralized areas at an altitude of up to 2000 m above sea level, where access to traditional fuel is difficult. If the use of RES in industrialized countries is determined mainly by environmental issues and the requirements of searching for additional energy resources, then for Kyrgyzstan, the use of RES should be considered as a solution, first of all, to the socio-economic problems of the population and, first of all, the rural population.

The Kyrgyz Republic has a significant potential for renewable energy sources (RES), the use of which can increase the level of energy supply. The available renewable energy resources can theoretically cover more than 50% of the required energy in Kyrgyzstan. At the same time, technical capabilities today amount to 20%, economically justified about 6%, and practical use is now at the level of about 1%.

The most promising should be considered the use of renewable energy sources in remote mountainous and rural areas that do not have a centralized energy supply: farms, livestock complexes, mining enterprises, road maintenance services, tourist and environmental facilities, pumping stations, forestry and hunting facilities, etc.; with residential properties. **Ключевые слова:** солнечная энергетика, энергия ветра, энергия биомассы, децентрализованная местность, автономная система.

Ачкыч сөздөр: күн энергиясы, шамал энергиясы, биомасса энергиясы, борбордон ажыратылган аймак, автономдуу система

Keywords: solar energy, wind energy, biomass energy, decentralized area, autonomous system.

Кыргызская Республика имеет значительный потенциал возобновляемых источников энергии (ВИЭ), использование которых может повысить уровень энергообеспеченности. Имеющиеся ресурсы возобновляемых источников энергии теоретически могут покрыть более 50% потребной энергии в Кыргызстане. При этом технические возможности на сегодняшний день составляют 20%, экономически оправданные около 6%, а практическое использование сейчас находится на уровне около 1%. [1].

Наиболее перспективными следует считать применение ВИЭ в отдалённых горных и сельских районах, не имеющих централизованного энергоснабжения: фермерские хозяйства, животноводческие комплексы, горнорудные предприятия, дорожно-эксплуатационные службы, туристско-экологические объекты, насосные станции, объекты лесного и охотничьего хозяйств и др.; с жилыми объектами. Широкое использование ВИЭ обосновывается географическими особенностями региона. Более 60% населения проживает в сельской местности в предгорной и горной местности до 2000 м над уровнем моря, куда доставка традиционного топлива затруднена. Это делает выгодным использование автономных систем ВИЭ, не требующих подключения к существующим электрическим сетям.

Несмотря на то, что наша республика обладает огромным потенциалом возобновляемой энергии, создание и внедрение ВИЭ остаётся менее рентабельным и значительно более капиталоемким по сравнению с традиционными. В силу этого до настоящего времени практическая потребность в использовании ВИЭ отсутствовала и, в первую очередь потому, что стоимость энергии, вырабатываемой традиционными методами, в несколько раз ниже стоимости энергии, получаемой от использования ВИЭ. Однако в настоящее время ситуация в корне меняется и можно ожидать в недалёком будущем всплеска в потребности её использования. Необходимо отметить, что если использование ВИЭ в промышленно развитых странах определяется в основном вопросами охраны окружающей среды и требованиями поиска, в первую очередь, дополнительных энергоресурсов, то для Кыргызстана следует рассматривать использование ВИЭ как

решение, прежде всего, социально-экономических проблем сельского населения. Именно понимание того, что широкомасштабное использование ВИЭ на селе может способствовать решению таких проблем, как бедность, безработица, развитие среднего и малого бизнеса, решение вопросов миграции сельского населения в города, повышение урожайности сельскохозяйственных земель, приобщение населения к современным инновационным технологиям, и конечно же, решение вопросов охраны окружающей среды и энергообеспеченности автономных потребителей. Такая постановка вопроса позволит найти отклик и в международных финансовых организациях, и различных фондах, обеспечивающих поддержку этих технологий и, тем самым, осуществить приток финансовых средств в республику для реализации проектов в области ВИЭ. В Кыргызстане накоплен опыт рядом организаций и предприятий по разработке, проектированию и промышленному использованию оборудования, работающего на возобновляемых источниках энергии, а также имеется определённый опыт ведения научных работ и исследований, имеются хорошие результаты в области разработки новых технических средств, работающих на ВИЭ, и их применение на практике [2], [3],[4]. На основе проведённых исследований были разработаны и созданы различные технические средства и оборудования, которые успешно прошли промышленные испытания и в последующем нашли применение в практике[5].

К примеру наиболее широкое распространение в республике нашли солнечные установки для нагрева воды. В основном эти установки широко используются на социально-бытовых объектах как пансионаты, дома отдыха, спортивные лагеря, в промышленном секторе на станциях технического обслуживания, автобазах и т.д. В сельской местности это в основном молочном животноводстве и в частном секторе. В республике успешно были внедрены комбинированные с традиционными котельными установками солнечные приставки, которые позволяют в условиях Кыргызстана полностью заменить работу котельной на 7-8 месяцев и обеспечить частичное замещение тепловой нагрузки в переходный и зимний периоды. Значительная часть таких систем была установлена на сельскохозяйственных (молочно-товарные фермы, санпропускники, машинно-тракторные станции и т.д.), промышленных (автобазы, ремонтные мастерские, станции техобслуживания и т.д.) и объектах соцкультбыта (дома отдыха, пансионаты, пионерские лагеря). В Кыргызской Республике установлено более 60 тыс. м² тепловых панелей. Анализ результатов практического использования солнечной энергии показал, что её применение может обеспечить 90% покрытия потребности в горячей воде в течение 8-9 месяцев в году, сократить потребление в отоплении сельского населения до 50%, обеспечит электрической энергией практически все малоэнергоёмкие автономные потребители, расположенные в децентрализованных предгорных и горных районах Республики (лесники, чабаны, пчеловоды и т.п.), предоставить резервное электроснабжение до 30% сельскому населению и осуществит экономию традиционного топлива.

В Кыргызстане к настоящему времени освоено производство солнечных коллекторов, солнечных водонагревательных установок различных модификаций. В прошлом году в Кыргызской Республике было открыто совместное предприятие с немецкими партнерами по производству ФЭС[6].

Солнечные установки различных модификаций малой мощности производятся целым рядом местных производителей: на территории коммунальное предприятие (КП) «Бишкектеплоэнерго» установлены 364 плоских солнечных коллекторов мощностью 1,4 кВт/час каждый, общая мощность составляет 0,518 МВт или 0,445 Гкал/час. При этом экономия природного газа составит 124,8 тыс. куб. м в год. Всего от котельной «Гагарина» обеспечиваются тепловой энергией баня №5, детский сад № 141, СШ № 55, ПЛ № 20,94, 91; 34 лицевого счета по бытовым абонентам и 4 общежития.

На территории котельной «Орто-Сай» размещено 120 панелей мощностью по 1,4 кВт-час, общая мощность комплекса – 0,168 МВт или 0,144 Гкал/час. Максимальная

рабочая температура 90-120 С⁰. Всего, по данным мэрии г. Бишкек, планируется оснастить солнечными коллекторами 64 городские котельные.

Необходимо отметить, что производство солнечных коллекторов с техническими характеристиками, соответствующими международным стандартам, были освоены АО «Электротерм», на этом же заводе было освоено производство систем солнечного горячего водоснабжения как сезонного, так и круглогодичного режимов работы. На АО «ОРЕМИ» освоено производство микро-ГЭС с мощностями 5, 16 и 22 кВт. Производство листотрубных солнечных коллекторов КСЛТ-22 и микро-ГЭС (микроГЭС-0,9) были освоены АО «ЭНВОД».

В области использования малых горных водотоков в республике были разработаны конструкции микро-гидроэлектростанций (микро-ГЭС) различных мощностей (1; 1,5; 5; 16; 22 кВт), предназначенных для выработки электрической энергии. Разработанные и созданные конструкции установок были освоены рядом машиностроительных заводов и частных компаний. Это – Бишкекский механический завод (БМЗ), АО «Ореми»; АО «Энвод», и др. Установки успешно зарекомендовали себя в республике, а ряд машин были экспортированы в другие страны (Грузия, Казахстан, Таджикистан, Куба, Монголия). Расчёты показывают, что освоение энергии малых водотоков в целом по республике может обеспечить дополнительную выработку 5-8 млрд. кВт·ч электроэнергии.

В настоящее время эксплуатируется 16 малых гидроэлектростанций: По ОАО «Чакан ГЭС» - 9 малых ГЭС: Лебединовская ГЭС – 7,6 МВт (Чуйская область); Аламединская ГЭС 1 – 2,2 МВт (Чуйская область); Аламединская ГЭС 2 – 2,5 МВт (Чуйская область); Аламединская ГЭС 3 – 2,14 МВт (Чуйская область); Аламединская ГЭС 4 – 2,14 МВт (Чуйская область); Аламединская ГЭС 5 – 6,4 МВт (Чуйская область); Аламединская ГЭС 6 – 6,4 МВт (Чуйская область); Аламединская Малая ГЭС – 0,4 МВт (Чуйская область); Быстровская ГЭС – 8,7 МВт (Чуйская область) Калининская ГЭС – 1,4 МВт (Чуйская область); Ысык-Атинская ГЭС – 1,4 МВт (Чуйская область); Найманская ГЭС – 0,6 МВт (Ошская область); Марьям ГЭС – 0,5 МВт (Чуйская область); КСК ГЭС – 1 МВт (Ошская область). Кроме того в 2016 году АООТ «Сателлит-2005» построена и сдана в эксплуатацию мини ГЭС «Кыргыз Ата» (0,2 МВт) в Ноокатском районе, Ошской области. В 2017 году ОсОО «Тегирментинские ГЭС» введена в эксплуатацию малая ГЭС (3,0 МВт) в Кеминском районе, Чуйской области.

Проведенные исследования в области использования биомассы показали высокую эффективность этой технологии в решении многих проблем на селе. В связи с этим на основе изучения зарубежного опыта и проведенных собственных исследований были разработаны и практически апробированы различные типы конструкций биогазовых установок (БГУ) (наземные, подземные, бетонные, металлические, купольного типа и др.). Перспективность использования биогазовых установок в республике, прежде всего, определена наличием достаточных органических отходов, необходимых для работы установки. Наличие большого числа потребителей, в особенности из сельской местности, где проживает более 60% населения и вопросы энергоснабжения этой категории населения являются наиболее актуальными. И наконец, это очень важно в свете необходимости обеспечения обрабатываемых пахотных земель удобрениями, в качестве которых могут быть эффективно использовано отработанное сырье. Данные зарубежных исследователей, в том числе, и полученный практический опыт использования отработанного сырья в качестве органических удобрений в условиях нашей республики, показывают, что в зависимости от выращиваемой культуры урожайность повышается на 15-20%. В республике уже накоплен достаточный опыт по монтажу и эксплуатации БГУ. При активном участии таких организаций, как Центр проблем использования ВИЭ, ОФ «Флюид», АО «Жаз», осуществлены производство и строительство БГУ различной производительности, начиная от 5-10 м³ /сут до 600-1000 м³ /сут. В целом по республике уже построено и функционируют более 70 БГУ и обеспечивает переработку сырья с использованием анаэробной технологии и позволяет в среднем в год выработать 20 тыс. м³

газа, получать 10 тыс. кВт·ч электроэнергии и 360 т высокоэффективных органических удобрений для выращивания сельхозпродуктов. Установка демонстрирует современные экологически чистые инновационные технологии обеспечения автономных мало-энергоёмких объектов энергией за счёт использования местного сырья. Проект носит пилотный характер, целью которого является демонстрация возможности использования вышеизложенной технологии в сельской местности Кыргызской Республики для энергоснабжения автономных мало-энергоёмких объектов (частные дома, детские ясли и сады, крестьянские хозяйства, медицинско-акушерские пункты и т.д.). Широкомасштабное использование данной технологии в республике позволит в значительной мере решить вопросы энергоснабжения в сельской местности автономных потребителей получать дополнительно высокоэффективное экологически чистое удобрение для растениеводства. Способствовать решению вопросов охраны окружающей среды за счёт сокращения выбросов вредных озоноразрушающих газов, которые выделяются из не утилизируемых бросовых отходов.

Существует возможность обеспечить органическим удобрением более 1 млн. га пахотных земель, значительно снизить выброс вредного газа метана в атмосферу, поднять урожайность полей, и, конечно же, снизить потребление традиционного топлива, улучшить социально-бытовые условия жизни значительной части сельского населения. По данным ассоциации «Фермер»

тонна навоза крупного рогатого скота даёт 30 кубометров газа в сутки, из тонны пищевых отходов можно получить 150 кубов. Из 1 кубометра газа можно получить 2 киловатта электроэнергии.

Определённое место в использовании ВИЭ в республике занимает энергия ветра. В отличие от технологий строительства крупных ветроэнергетических установок (ВЭУ), объединённых в ветроэнергетические фермы, вырабатывающие электроэнергию в сеть и передающие её по сетям к потребителю, для условий нашей республики наиболее перспективным представляется использование маломощных ВЭУ, работающих для электроснабжения автономных объектов. Причина в отсутствии больших пространств, где имеются высокий ветровой потенциал, отсутствие инфраструктуры (соответствующие дороги, транспортная техника, подъёмные механизмы), сложные горно-геологические условия, вызывающие дополнительные трудности строительства и монтажа ВЭУ, и, наконец, отсутствие технических возможностей и условий подключения ВЭУ к действующим электрическим сетям. Использование же небольших ВЭУ позволяет мобильно и достаточно эффективно решать вопросы электроснабжения автономных потребителей в силу их большой рассредоточенности, отдалённости от существующих линий электропередач и наличием невысокого ветрового потенциала, достаточного для работы этих установок. Учитывая особенности малых ВЭУ, учеными республики был разработан принципиально новый тип ВЭУ, обеспечивающий более эффективное преобразование энергии при низких ветрах (3-6 м/с), который не имеет аналогов в мировой практике и может быть наиболее широко используемым в условиях отсутствия ветра высокого потенциала. Следует отметить, что использование энергии ветра в республике практически отсутствует, если не считать единичных пилотных образцов установок и пока нет ясности в их перспективе, хотя международный опыт показывает, что ветроэнергетика является одной из наиболее приоритетных направлений развития нетрадиционной энергетики. По оценкам специалистов ветроэнергетический потенциал республики может позволить покрыть до 5-7% потребности в электрической энергии сельского населения [3].

Выводы:

1. Имеющиеся ресурсы возобновляемых источников энергии могут покрыть более 50% потребной энергии в Кыргызстане. Однако в настоящее время их практическое использование незначительно и в энергобалансе страны составляют около 1%.
2. Промышленными предприятиями Кыргызстана может быть произведено (с ежегодным приростом 10-15%): солнечных коллекторов – 100-150 тыс. м² в год; микро-ГЭС – 2-2,5

МВт в год; ветроагрегатов – 250-300 кВт в год; фотоэлектрических преобразователей – до 2-3 МВт в год; биогазовых установок производительностью 70÷100 млн. м³ .

3. Ведутся научно - исследовательские работы, рядом предприятий освоено оборудование, работающее на ВИЭ. Имеется опыт строительства, монтажа и эксплуатации этого оборудования. Следует отметить, что ряд ВУЗов республики приступили к подготовке инженерных кадров для данного направления. Ведутся работы неправительственными организациями в деле популяризации и повышения знаний населения о перспективности этих технологий.

Литература:

1. Проведение исследования по выявлению потребностей отечественной экономики в энергетических ресурсах с учётом её роста. Отчёт КНТЦ «Энергия». – Бишкек, 2015.
2. Национальная энергетическая программа Кыргызской Республики на 2008-2010 годы и стратегия развития топливно-энергетического комплекса до 2025 года. – Бишкек, 2009.
3. Проект Концепции развития топливно-энергетического комплекса КР до 2040 года. – Бишкек, 2019.
4. Провести исследования и разработать научно-обоснованные предложения по эффективному и устойчивому развитию топливно-энергетического комплекса на основе использования новых технологий и внедрения новейших научных разработок. Отчёт о НИР НИИЭЭ при ГКПЭН КР. – Бишкек, 2017.

МРНТИ 44.31.41,
УДК 621.577

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА КАРТОФЕЛЯ

Ильин В.К., Хайбуллина А.И., Власова М.А.

Казанский государственный энергетический университет
e-mail: ilyinvk@mail.ru, haybullina.87@mail.ru, vlasovarita1999@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрена перспектива применения воздуха с картофелехранилища в качестве низкопотенциальной теплоты, которая может быть использована тепловым насосом. Была рассмотрена и рассчитана теплонасосная установка в которой для улучшения энергетических показателей были установлены два дополнительных теплообменника. Энергетическая эффективность теплового насоса оценивалась с помощью р, h-диаграммы, использовались коэффициенты преобразования теплоты COP и электроэнергии η .

Ключевые слова: тепловой насос, энергосбережение, горячее водоснабжение, низкопотенциальная теплота, теплообменник, теплота картофеля.

Применяются общенаучные методы исследования

Введение

В сельскохозяйственном производстве выделяется большое количество низкопотенциального тепла, которое сегодня практически не используется. Например, в процессе дыхания клубней картофеля образуются углекислота, вода и теплота. Г. Л. Басин, обобщив данные ряда исследований, предложил нормы выделения тепла. Согласно этим нормам, 1 т клубней выделяет явного тепла осенью в среднем 12—14 ккал/ч, зимой — 6—7, весной — 7—9 ккал/ч [1]. Движение воздуха в межклубневых пространствах со скоростью 0,12—0,5 м/с способствует интенсификации биохимических процессов в тканях клубней,

повышающих лежкость картофеля. Такая скорость обеспечивается подачей воздуха при высоте насыпи 3 м в пределах 75—300 м³/ч на 1 т картофеля, при высоте 3,5 м.

Представленные выше результаты исследований позволяют предположить, что данная низко потенциальная энергия могла бы быть использована тепловым насосом для получения горячей воды.

Основная часть

Для применения воздуха с картофелехранилища в качестве низко потенциальной теплоты, в состав периферийного оборудования тепло насосных установок (ТНУ) необходимо включать воздушно-жидкостные теплообменники. Теплый воздух подаётся в теплообменник испарителя ТНУ, отдаёт теплоту и, охлаждённый, возвращается в окружающую среду. Для эффективной работы ТНУ перепад температур между подающей линией и отдающей должен быть оптимально 10–15 °С, при максимально допустимом 45–50 °С, а для условий средней полосы России он составляет 53–71 °С и более [2]. В таких случаях коэффициент использования первичной энергии будет незначительным. Следовательно, применение «воздушных» ТНУ в условиях средней полосы России вызывает ряд вопросов. Однако их конкурентоспособность растет с повышением технических параметров установок и возможностью использования низко потенциального тепла выделяющегося в процессе производства.

Есть еще одна причина снижения эффективности ТНУ это если на вход дросселя поступает парожидкостная смесь эффективность его работы снижается. Поэтому жидкость после конденсатора необходимо дополнительно охладить так чтобы точка 3 находилась не на линии насыщения, а левее ее (рис. 1). Это также улучшает работу теплового насоса, так как снижает долю пара, поступающего в испаритель, что приводит к меньшему расходу фреона в цикле.

Следующим условием повышения эффективности ТНУ является условие перегрева фреона после испарителя (рис. 1). В испарителе это сделать невозможно, так как температуру холодного теплоносителя изменить нельзя, поэтому для перегрева необходимо понижать температуру испарителя, а значит, увеличивать степень повышения давления в компрессоре, последнее ведет к снижению эффективности ТНУ.

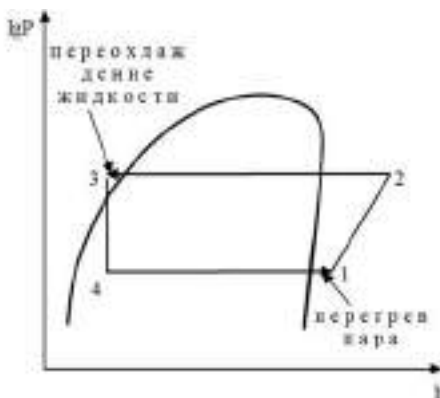


Рисунок 1 – Цикл парокомпрессионного теплового насоса с промежуточными теплообменниками

Переохлаждение жидкости и перегрев пара возможно осуществить в дополнительном промежуточном теплообменнике, где горячий фреон после конденсатора нагревает холодный фреон после испарения (рис. 2). Для повышения стабильности теплообмена в теплообменнике используется холодная вода подлежащая нагреву и воздух картофелехранилища. Так как горячий теплоноситель вырабатывается для горячего водоснабжения, то есть поступает на вход много холодней, чем выходит из теплового насоса, переохлаждение жидкости возможно в дополнительном теплообменнике-переохладителе, который установим после конденсатора.

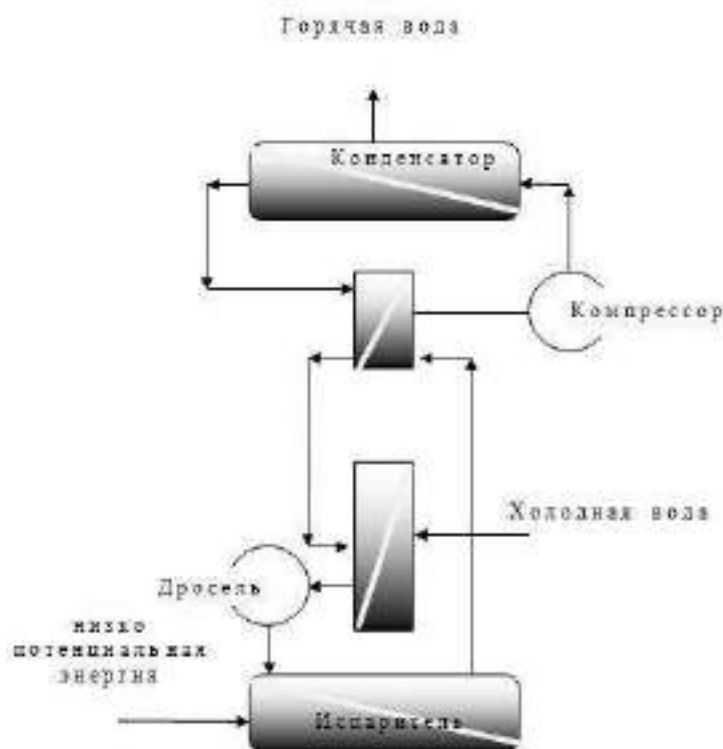


Рисунок 2 - Схема парокомпрессионного теплового насоса с промежуточными теплообменниками

Была рассмотрена и рассчитана ТНУ в которой для улучшения её энергетических параметров введено два дополнительных теплообменника, которые позволяют достигнуть желаемого результата.

Для оценки эффективности теплового насоса используются коэффициенты преобразования теплоты COP и электроэнергии η и удельные затраты электроэнергии $\mathcal{E}$ и первичной энергии ПЭ на единицу полученной теплоты.

Коэффициент преобразования теплоты COP – это отношение теплоты, переданной горячему теплоносителю к работе, затраченной на сжатие:

$$COP = \frac{q}{A} \quad (1)$$

Энергетическую эффективность теплового насоса удобно оценивать с помощью p , h -диаграммы. На этой диаграмме значения q_{in} , q , A соответствуют размеру проекций соответствующих процессов на ось абсцисс (рис. 3). Поэтому коэффициент преобразования теплоты будет равен отношению разностей энтальпий $h_2 - h_3$ и $h_2 - h_1$.

Рассмотрим два случая с одинаковой температурой испарения, но разной температурой конденсации. Удельная тепловая нагрузка теплового насоса $q_{тн}$ – это теплота, переданная горячему теплоносителю: для схем без переохладителя $q_{тн} = q_k$; для схемы с переохладителем $q_{тн} = q_k + q_{по}$, где q_k , $q_{по}$ – удельная тепловая нагрузка в конденсаторе и переохладителе, кДж/кг или ккал/кг фреона.

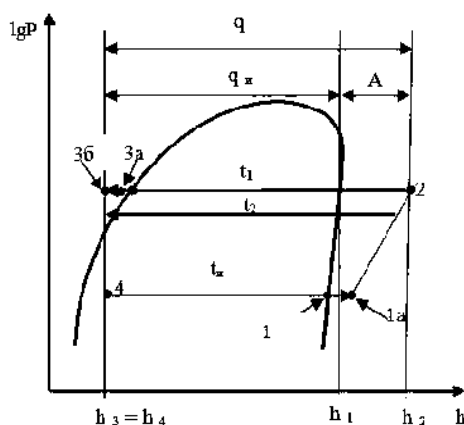


Рисунок 3 - Энергетические потоки в парокомпрессионном тепловом насосе

Из рис. 3 видно, что при уменьшении температуры конденсации величина A будет уменьшаться быстрее, чем величина q_k . Поэтому коэффициент преобразования энергии COP будет возрастать. Можно сделать вывод, что работа теплового насоса тем эффективнее, чем меньше разность температур испарения и конденсации и чем дальше цикл удаляется от критической точки.

Нами был проведен расчет парокомпрессионного теплового насоса схема которого представлена на рис. 2, цикл в p , h -диаграмме парокомпрессионного теплового насоса представлены на рис. 3.

В испарителе теплота от низкопотенциального теплоносителя (воздух из картофелехранилища) передается фреону. По температуре $t_{н2}$ и температурному перепаду $\Delta t_{и}$ была определена температура испарения фреона:

$$t_{и} = t_{н2} - \Delta t_{и} \quad (2)$$

По таблицам термодинамических свойств хладагента (R124) в состоянии насыщения определена точка 1, для которой найдена энтальпия h_1 и давление испарения $p_{и}$ [3].

В конденсаторе теплота передается от более горячего фреона к воде, по температуре воды на выходе $t_{в2}$ и температурном перепаде $\Delta t_{к}$ определена температура конденсации фреона:

$$t_{к} = t_{в2} - \Delta t_{к} \quad (3)$$

По температуре конденсации t_k на правой пограничной кривой найдена точка 3, для которой была определена энтальпия h_3 и давление конденсации p_k .

Далее была определена точка 3а и найдена температура нагреваемой воды $t_{вн}$ между переохладителем и конденсатором. Согласно заданному температурному перепаду в переохладителе $\Delta t_{п}$ на выходе из него должно выполняться условие:

$$\Delta t_{п} = t_{3а} - t_{вн} \quad (4)$$

Правильность расчета проверялась определением теплового баланса переохладителя:

$$C_{в}(t_{вн} - t_{в1}) = C_{ф}(t_{к} - t_{3а}) \quad (5)$$

где $C_{в}$ – теплоемкость воды [Дж/кг °C];

$C_{ф}$ – теплоемкость фреона [Дж/кг °C].

Далее для нахождения точки 2 был определен адиабатный КПД компрессора:

$$\eta_k = \frac{h_{2a} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (6)$$

Из которого, определена энтальпия h_2 :

$$h_2 = \frac{h_1 + (h_{2a} - h_1)}{\eta_k} \quad (7)$$

По значению h_2 и давлению p_k определяется точка 2. По диаграмме определяется энтальпия h в точке 2а.

По значению энтальпии $h_3 = h_4$ и давлению p_i определяется точка 4.

Были также определены удельные тепловые нагрузки в узлах теплового насоса: $q_i = h_1 - h_4$; $q_k = h_2 - h_3$; $COP = h_2 - h_1$.

Правильность расчета проверялась определением теплового баланса:

$$q_i + COP = q_k \quad (8)$$

Дополнительно определялись.

Коэффициент преобразования теплоты:

$$\mu = \frac{q_k}{COP} \quad (9)$$

Степень повышения давления в компрессоре:

$$\varepsilon = \frac{p_k}{p_i} \quad (10)$$

Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1- Результаты термодинамического расчета ТНУ

Параметр	Размерность	Результат
Химическая формула фреона	-	CF ₃ CHClF
Температура окружающей среды	°C	-10
Температура фреона на входе в компрессор	°C	
Температура кипения фреона при атмосферном давлении	°C	-12
Давление фреона в испарителе p_i (точка 1)	МПа	0,17
Давление фреона в испарителе p_i (точка 1а)	МПа	0,17
Энтальпия h_1 (в точке 1)	кДж/кг	350,7
Энтальпия h_{1a} (в точке 1а)	кДж/кг	360,5
Энтальпия h_3 (в точке 3)	кДж/кг	300,6
Энтальпия h_{3a} (в точке 3а)	кДж/кг	275,1
Температура конденсации фреона t_k	°C	55

Давление конденсации p_k	МПа	1, 5
Энтальпия h_2 (в точке 2)	кДж/кг	390
Энтальпия h_{2a} (в точке 2a)	кДж/кг	410
Адиабатический КПД	%	0,77
Удельная тепловая нагрузка конденсатора q_k	кДж/кг	144,9
Работа компрессора, А	кДж/кг	49,5
Удельная тепловая нагрузка испарителя $q_{и}$	кДж/кг	85,6
Удельная тепловая нагрузка переохладителя $q_{п}$	кДж/кг	9,8
Удельная тепловая нагрузка промежуточного теплообменника q_t	кДж/кг	25,5
Удельная тепловая нагрузка теплового насоса q_n	кДж/кг	195
Коэффициент преобразования теплоты COP без дополнительных теплообменников		2,9
Коэффициент преобразования теплоты COP с учетом дополнительных теплообменников		3,6

Выводы

Как следует из таблицы, использование низко потенциальной энергии выделяемого картофелем достаточно, для получения горячей воды на технические нужды, использование двух дополнительных теплообменников позволяет повысить коэффициент преобразования теплоты в тепло насосной установки в 1,2 раза. Это объясняется тем, что удельная тепловая нагрузка повышается за счет подвода дополнительной энергии и снижения потерь на трение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] К. А. Пшеченков, В. Н. Зейрук, С. Н. Еланский, С. В. Мальцев. Технология хранения картофеля. Научные труды МГУ. 2007. – С.192.
- [2] Бородин М. В. Современное техническое состояние ВЛ 35 КВ в филиале ПАО "МРСК центра"- "Орелэнерго" / М. В. Бородин, Р. П. Беликов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 128-140.
- [3] Трубаев П.А. Тепловые насосы: учеб. пособие / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – С. 143.
- [4] Аширалиев А. Теплогенератор с компактной паровой камерой и эффективным теплообменником - путь к энергоэффективности / А. Аширалиев, К. А. Кокумбаева, З. К. Ташиев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 1(49). С. 107-117.
- [5] Термодинамические диаграммы $i - \lg p$ для хладагентов. М.: АВИСАНКО, 2003. – С. 50.
- [6] Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М., Табачникова Т.В., Шумихина О.А, Гибудуллин Р.Р. Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 3-15.
- [7] Соловьева О.В. Исследование влияния пористости волокнистого материала на значение энергетической эффективности / О. В. Соловьева, С. А. Соловьев, А. Р. Талипова

USE OF LOW-POTENTIAL HEAT OF POTATOES

V.K. Ilyin, A.I. Haibullina, M.A. Vlasova

Kazan State Power Engineering University

e-mail: ilyinvk@mail.ru, haybullina.87@mail.ru, vlasovarita1999@gmail.com

Annotation. The article considers the prospect of using air from a potato storage as low-grade heat, which can be used by a heat pump. A heat pump installation was considered and calculated in which two additional heat exchangers were installed to improve energy performance. The energy efficiency of the heat pump was assessed using the p, h-diagrams, the heat conversion coefficients COP and electricity η_e were used.

Key words: heat pump, energy saving, hot water supply, low-grade heat, heat exchanger, potatoes.

МРНТИ 68.85.39

УДК 631.3:621.3.036.5

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДНОГО ПАРОВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ АПК

Мукашева Р.Т., Алдибеков И.Т., Кожасов Е. О.

НАО «Алматинский университет энергетики и связи им.Гумарбека Даукеева»

e-mail: r.mukasheva@aes.kz, i.aldebekov@aes.kz, dreamerxd815@gmail.com

Аннотация. В АПК широко применяют специализированные электротепловые установки разных типов для горячего водоснабжения, отопления и производства пара низкого давления. Большинство из этих установок имеет сравнительно низкие коэффициенты использования и загрузки, что снижает эффективность использования вложенных капитальных затрат. Одним из путей повышения эффективности использования электротепловых установок в сельском хозяйстве является разработка комбинированных электротепловых установок (пароводонагревателей), предназначенных для получения пара низкого давления и горячей воды в одном устройстве. Проведен краткий анализ принципов работы и недостатков пароводонагревателей, разработанных в разных научных организациях. В статье описаны конструкция, принцип действия и режимы работы компактного пароводонагревателя с новой электродной системой и двумя встроенными теплообменниками. Приведены конструктивные параметры основных элементов установки мощностью 25 кВт, результаты лабораторного исследования экспериментального образца и основные технические показатели. Благодаря использованию электродной системы с переменным межэлектродным расстоянием обеспечивается нормальное функционирование установки в режиме выработки пара в широком диапазоне изменения удельного электрического сопротивления котловой воды без применения продувки. Наличие двух встроенных пароводяных теплообменников позволяет использовать установку для одновременного и раздельного нагрева теплоносителей систем отопления и горячего водоснабжения. В установке реализован гидравлический способ регулирования мощности.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, пароснабжение, горячее водоснабжение, отопление, пароводонагреватели, электродные системы, теплообменники

Введение

Производство и переработка сельскохозяйственной продукции связаны с потреблением тепловой энергии, которая используется для нагрева воды и производства пара для технологических и санитарно-гигиенических нужд, а также для создания требуемого микроклимата в производственных помещениях [1,2].

В настоящее время основными производителями сельскохозяйственной продукции стали многочисленные фермерские хозяйства. Они в большинстве случаев имеют небольшие по размеру отапливаемые производственные здания (животноводческие помещения, доильно-молочные блоки, мини-цеха по переработке сельхозпродукции, мини-цеха по приготовлению кормов, ветеринарные пункты и т.п), в которых установлены технологические установки.

Большинство производственных зданий в сельском хозяйстве имеют мини-котельные, где установлены электроводонагреватели емкостного типа для нагрева воды на технологические нужды, проточные водонагреватели для отопления помещений, а также, при необходимости, электродные парогенераторы для производства пара. Каждая из этих установок имеет собственное тепловыделяющее устройство, чаще всего, неунифицированное по типу и мощности с тепловыделяющими устройствами остальных, а также собственный щит управления. Коэффициенты загрузки и использования большинства из них очень низки (0,2...0,5), что снижает эффективность использования вложенных капитальных затрат на приобретение теплогенерирующего оборудования [2,3].

В связи с этим повышение эффективности использования электротепловых установок в сельском хозяйстве является актуальной задачей, что послужило основанием для разработки комбинированных электротепловых установок (пароводонагревателей), предназначенных для получения пара низкого давления и горячей воды в одном устройстве.

При разработке пароводонагревателей учитываются специфические особенности суточных графиков потребления пара и горячей воды на животноводческих фермах и мини-цехах, которые имеют ярко выраженный неравномерный характер. Это позволяет в перерывах в потреблении пара перевести электротепловую установку в режим нагрева воды.

Анализ конструкций и режимов работы известных электродных пароводонагревателей показывает, что в одних установках их теплогенерирующие устройства могут работать поочередно как парогенератор, так и как водонагреватель [3,4].

В других пароводонагревателях их теплогенерирующие устройства (электродные парогенераторы) работают только в режиме генерации пара. При этом горячую воду получают либо смешиванием поступающего от парогенератора пара и холодной воды в специально предусмотренном нагревателе струйного типа [5], либо нагревают воду в специальном бойлере путем подачи пара в его пароводяной теплообменник [6].

В первом случае конденсат в парогенератор не возвращается, и поэтому постоянно требуется подпитка свежей водой. Однако при этом имеет место ускоренное образование накипи на поверхностях электродов, что негативно влияет на работу установки.

Во втором случае также имеют место определенные трудности, связанные с возвратом в парогенератор конденсата и обеспечением устойчивой работы установки.

В пароводонагревателе, разработанном в КазНИИМЭХе, предусмотрены для нагрева технологической воды встроенные теплообменники, размещенные в пространстве над электродной системой [7]. При этом конденсат, образовавшийся на поверхности теплообменников, стекает прямо в котловую воду в межэлектродном пространстве. Однако он имеет недостатки, связанные с несовершенством электродной системы и несоответствием ее конструктивной схемы цилиндрической форме корпуса установки. Это приводит к образованию в водогрейной части корпуса балластных объемов с водой, не

участвующих в электродном нагреве, что обуславливает неоправданное увеличение габаритных размеров и времени выхода установки в режим парообразования.

Пароводонагреватель, разработанный в ФГБНУ ВИЭСХ, дополнительно снабжен предварительным нагревателем воды. В нем в качестве нагревательных элементов используются ТЭНы. Не предусмотрена возможность подключения к системе отопления [3].

Основная часть

На рисунке 1 а и 1 б показана конструкция предлагаемого нами компактного пароводонагревателя с новой электродной системой и двумя встроенными теплообменниками, обеспечивающая выполнение в одной установке выработку пара, нагрев воды для технологических и санитарно-гигиенических нужд и теплоносителя системы отопления.

Он содержит герметичный корпус 1 в виде прямоугольного параллелепипеда и съемную крышку 2. Корпус снабжен патрубками 3,4,5 соответственно для подвода питательной воды, продувки засоленной воды и для отбора пара. В нижней части полости корпуса 1 размещена трехфазная электродная система, образованная из двух нулевых 6 и трех фазных электродов 7.

Конструктивной особенностью предлагаемой электродной системы является следующее. Каждый фазный электрод выполнен из двух углообразующих пластин 7, расходящихся в направлении крышки 2 и приваренных друг к другу со стороны нижних торцов под определенным углом. Нулевые электроды 6 выполнены из плоских пластин и расположены вертикально вдоль двух длинных внутренних боковых стенок, покрытых диэлектрическим материалом 22. Фазные электроды 7, установленные в один ряд по длине корпуса и электрически изолированные друг от друга электроизоляционными перегородками 14, размещены между нулевыми электродами с зазором относительно их и жестко закреплены на крышке 2 при помощи токовводов 15 с проходными изоляторами 16. Благодаря этому расстояние между фазными и нулевыми электродами плавно увеличивается в направлении их нижних торцов от l_1 до l_2 , т.е. межэлектродное расстояние выполнено переменным.

Нулевые электроды 6 жестко закреплены на вышеупомянутых токовводах 15 при помощи кронштейнов 17 из электроизоляционного материала.

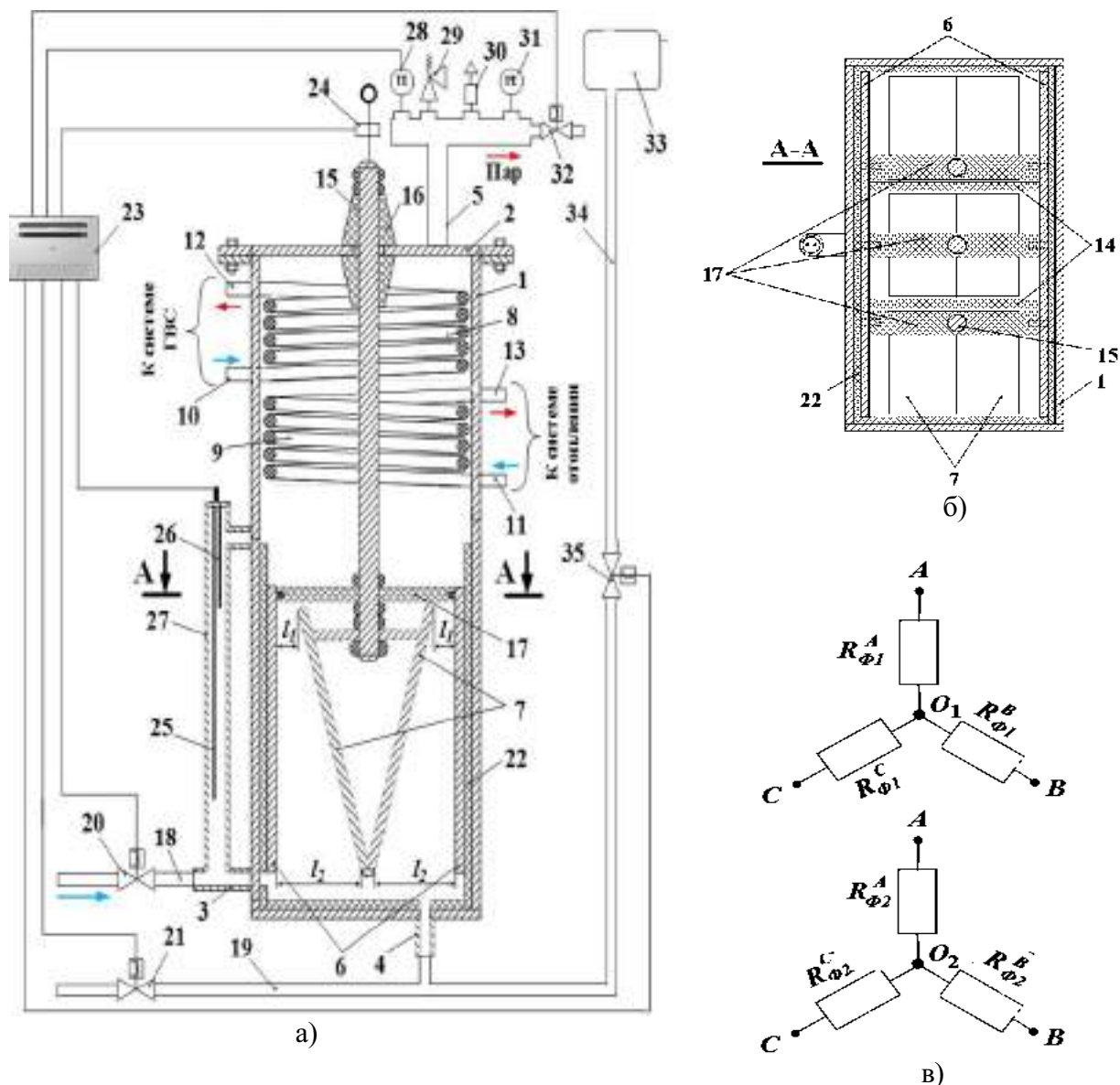
Эквивалентной электрической схемой соединения взаимодействующих электродов является двойная «звезда» (рисунок 1, в). Первую «звезду» образуют фазные сопротивления $R_{\phi 1}^A, R_{\phi 1}^B, R_{\phi 1}^C$, характеризующие взаимодействия «левых» пластин фазных электродов с первым нулевым электродом, являющимся нулевой точкой O_1 схемы.

Электрические взаимодействия «правых» пластин фазных электродов со вторым нулевым электродом 8 представлены фазными сопротивлениями $R_{\phi 2}^A, R_{\phi 2}^B, R_{\phi 2}^C$, которые образуют вторую «звезду» с нулевой точкой O_2 . Таким образом, обе нулевые электроды 7 являются нулевыми точками в схемах «звезда».

Другой конструктивной особенностью установки является наличие двух встроенных пароводяных теплообменника 8,9 с входными 10,11 и выходными 12,13 патрубками, которые размещены в верхней части полости корпуса друг над другом и на некотором расстоянии от верхних торцов электродов.

В общем случае верхний спиралевидный теплообменник (ТО1) 8 с меньшим числом витков подключают к подающим и обратным трубопроводам системы горячего водоснабжения, нижний спиралевидный теплообменник 9 (ТО2) с большим числом витков - к трубопроводам системы отопления.

На трубопроводах 18 и 19, соответственно, подвода питательной воды и отвода продувочной воды, установлены электромагнитные вентили 20 и 21.



а) и б) – продольный и поперечный (по А-А) разрезы конструкции пароводонагревателя; в) – эквивалентная электрическая схема соединения электродов

Рисунок 1 - Конструкция электродного пароводонагревателя

Предусмотрен щит 23 управления, к которому подключены датчик мощности 24 и датчики 25 и 26 контроля нижнего и верхнего уровней котловой воды соответственно, которые установлены в трубке 27, сообщающейся с внутренней полостью корпуса 1.

Парогенератор снабжен также датчиком давления 28, предохранительным клапаном 29, воздухоотводчиком 30, манометром 31 и электромагнитным вентилем 32.

Следующей конструктивной особенностью пароводонагревателя является то, что он оборудован компенсационным бачком 33, соединенным с нижней частью 1 корпуса через соединительную трубу 34 и электромагнитный вентиль 35.

Корпус, выполненный в виде параллелепипеда, наиболее точно соответствует геометрической форме электродной системы с переменным межэлектродным расстоянием, благодаря этому пароводонагреватель получается компактным, чем при использовании цилиндрического корпуса.

Пароводонагреватель может работать в следующих режимах:

- пароснабжение технологических процессов;

- нагрев воды для системы горячего водоснабжения (ГВС), для этого используется верхний встроенный теплообменник ТО1 8;
- нагрев теплоносителя системы отопления (СО), при этом используется нижний встроенный теплообменник ТО2 9, соединенный с трубопроводами СО;
- одновременный нагрев воды ГВС и теплоносителя СО.

Электродный пароводонагреватель в режиме пароснабжения работает следующим образом. При этом электромагнитный клапан 32 находится в открытом, а клапан 35 в закрытом состоянии. После подачи трехфазного напряжения на установку по сигналу от щита управления 23 открывается электромагнитный вентиль 20, и вода поступает в нижнюю часть полости корпуса и постепенно заполняет межэлектродное пространство. Одновременно подается напряжение на фазные электроды 7. В результате этого происходит нагрев котловой воды.

С течением времени уровень котловой воды в межэлектродном пространстве и, соответственно, мощность установки непрерывно увеличиваются. При достижении уровня воды верхних торцов электродов по сигналу датчика верхнего уровня 26 щит управления 23 закрывает электромагнитный вентиль 20 и поступление воды в пароводонагреватель прекращается. Если удельное электрическое сопротивление воды равно расчетному значению, установка через некоторое время развивает заданную номинальную мощность. Котловая вода закипает и начинается процесс выделения пара, т.е. установка выходит в режим парообразования. Отбор пара осуществляется через патрубок 5 и клапан 32.

Так как процесс парообразования сопровождается с непрерывным понижением уровня котловой воды и увеличением ее солесодержания и, как следствие, уменьшением ее удельного сопротивления, то для поддержания заданной мощности по сигналу датчика мощности 24 электромагнитный вентиль 20 поддерживает требуемый уровень.

Поскольку расстояние между взаимодействующими электродами увеличивается в направлении днища корпуса 1, то понижение уровня котловой воды приводит не только к уменьшению площади взаимодействующих плоскостей электродов, но и к одновременному увеличению расстояния между ними. Это создает благоприятные условия для нормальной и безопасной работы установки в широком диапазоне изменения солесодержания котловой воды без продувки, что способствует повышению эффективности ее работы.

При достижении котловой водой критического уровня, соответствующего максимально допустимому значению солесодержания котловой воды, по сигналу датчика 25 нижнего уровня открывается электромагнитный вентиль 21 и происходит продувка засоленной воды.

При работе пароводонагревателя в режиме нагрева воды ГВС или СО, проходящей через теплообменник, электромагнитный клапан 32 находится в закрытом состоянии, а клапан 35 - открытым. Вода нагревается за счет теплового потока, передаваемого от накопившегося в верхней части корпуса пара при его конденсации на наружной поверхности теплообменника. Образовавшийся конденсат стекает непосредственно в котловую воду. В случае возникновения дисбаланса между тепловой мощностью $Q_{эс}$, выделяемой в межэлектродном пространстве, и мощностью $Q_{то}$, передаваемой через теплообменник к технологической воде, часть количества пара не конденсируется. Как следствие, в паровом пространстве создается избыток пара. Это, в свою очередь, с течением времени приводит к повышению давления над котловой водой и последующему вытеснению некоторую часть котловой воды из межэлектродного пространства в компенсационный бачок 33 до тех пор, пока не наступит равновесное состояние по давлениям. При этом понижение уровня котловой воды в межэлектродном пространстве приводит к снижению мощности установки до величины, соответствующей значению $Q_{то}$ в данный момент времени.

Таким образом, в данном пароводонагревателе имеет место гидравлический способ автоматического регулирования мощности в соответствии с динамикой изменения мощности тепловой нагрузки потребителя.

На основании результатов проведенных теоретических исследований определены основные конструктивные параметры электродной системы и теплообменников пароводонагревателя мощностью 25 кВт: длина нулевого электрода – 362 мм; высота нулевого электрода - 262 мм; длина фазного электрода – 120 мм; высота фазного электрода – 240 мм; минимальное межэлектродное расстояние $l_1=20$ мм; максимальное межэлектродное расстояние $l_2=50$ мм; диаметр медной трубки теплообменников $d_m=19$ мм; число витков первого теплообменника $n_{\text{в1}}=5$; площадь поверхности первого теплообменника $S_{\text{т1}}=0,28$ м²; число витков второго теплообменника $n_{\text{в2}}=4$; площадь поверхности второго теплообменника $S_{\text{т2}}=0,21$ м²; объем полости корпуса - 25 л.

На рисунке 2 приведены общие виды основных конструктивных элементов экспериментального образца, на рисунке 3 – общий вид пароводонагревателя.

На рисунке 4 приведены результаты экспериментального исследования работы установки в режиме нагрева воды в баке-аккумуляторе ГВС вместимостью 500 л.

Как видно из графика, после подачи напряжения в течение первых 5 минут мощность установки возрастает от 12 до 21,5 кВт. При этом происходит быстрый нагрев котловой воды с последующим интенсивным парообразованием. Часть объема пара, конденсируясь на поверхности теплообменника, нагревает проходящей через него технологическую воду. В результате несоответствия вырабатываемой установкой и потребляемой теплообменником мощностей образуется избыток пара. Повышается давление в верхней части корпуса, что приводит к вытеснению определенного количества котловой воды в компенсационный бачок и понижению уровня воды в межэлектродном пространстве. Это обуславливает резкое снижение мощности до 13,2 кВт, при котором наступает равенство мощностей. Дальнейшее постепенное снижение мощности до 4,75 кВт вызвано уменьшением температурного напора в результате повышения средней температуры нагреваемой воды.

Анализ данных показывает, что продолжительность нагрева воды в баке-аккумуляторе от 20 °С до 74 °С составляет примерно 4 часа. Проведенные исследования показали, что пароводонагреватель имеет следующие технические характеристики: номинальная мощность - 25 кВт; номинальный ток -38 А; продолжительность выхода в режим стабильного парообразования – 5 мин; паропроизводительность -33 кг/ч; температура пара – до 105 °С; давление пара -0,07 МПа; рабочий диапазон изменения удельного сопротивления котловой воды -26...4 Ом·м; К.П.Д – 0,985.

Выводы

Разработан компактный пароводонагреватель с новой электродной системой и двумя встроенными теплообменниками, обеспечивающий выполнение в одной установке выработку пара, нагрев воды для технологических и санитарно-гигиенических нужд и теплоносителя системы отопления. При приведенных в статье конструктивных параметрах основных элементов паропроизводительность установки составляет 33 кг/ч, а мощность - 25 кВт. Продолжительность нагрева воды в баке-аккумуляторе от 20 °С до 74 °С равна примерно 4 часа. Благодаря использованию электродной системы с переменным межэлектродным расстоянием установка может нормально функционировать в широком диапазоне изменения удельного электрического сопротивления котловой воды без применения продувки. Наличие двух встроенных пароводяных теплообменников расширяет функциональные возможности установки и позволяет использовать ее для одновременного и раздельного нагрева теплоносителей систем отопления и горячего водоснабжения.



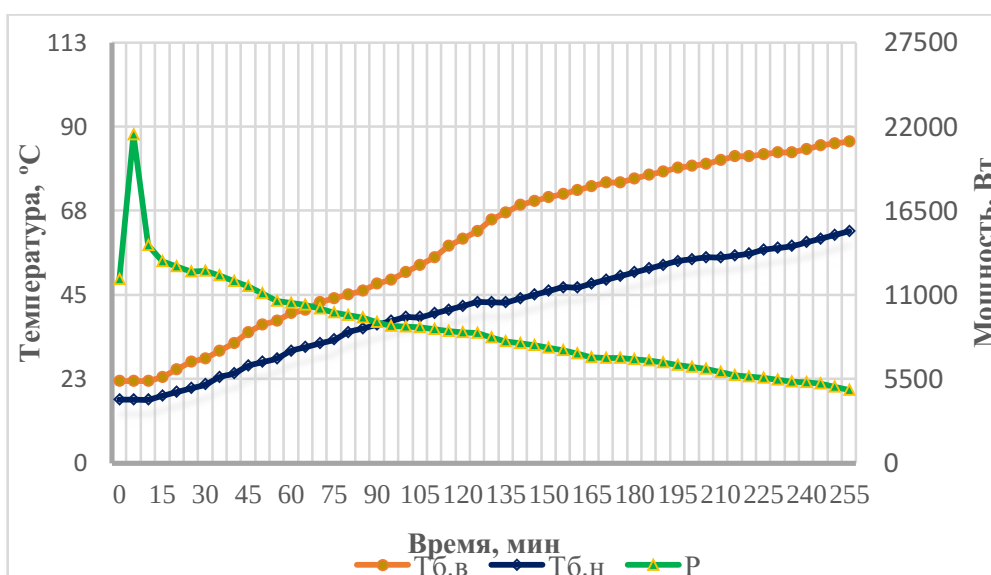
- 1, 2 - нулевой и фазный электрод;
3, 4 – теплообменники; 5 – крышка; 6 – проходной изолятор

Рисунок 2 – Общий вид электродной системы и теплообменников



- 1 – пароводонагреватель; 2 – бак-аккумулятор ГВС; 3 – щит управления

Рисунок 3 – Общий вид пароводонагревателя



$T_{б.н}$ - температура воды в нижней части БА; $T_{б.в}$ - температура воды в верхней части БА;
 P - мощность

Рисунок 4 – Динамика изменения температур воды в баке-аккумуляторе (БА) и мощности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Расстригин В.Н. Основы электрификации тепловых процессов в сельскохозяйственном производстве. – М.: Агропомиздат, 1988. – 255 с.
- [2] Кешуов С. А., Алдибеков И. Т., Барков В. И. Ресурсосберегающие системы и установки для электротеплообеспечения в малом молочном животноводстве. Алматы: Нұр-ДиАс, 2012. 320 с.
- [3] Тихомиров, Д.А. Обоснование энергетических параметров электропароводонагревателей // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 5. – С. 25-28.
- [4] Лосянович А.В. Результаты испытаний электрического пароводонагревателя электродного типа // Научно-технический бюллетень по электрификации сельского хозяйства, вып.2 (63). – М.: ВИЭСХ, 1988. – С. 32-38.
- [5] Баранов Л.А. Новые электронагревательные устройства для животноводства Казахстана. – Алматы: КазНИИНТИ, 1993. – 77 с.
- [6] Сестричко Б.С., Слушкин П.Н., Сербин В. Электродный паровой котел типа ЭКП-1 // Техника в сельском хозяйстве. – М., 1975. – №1. – С. 39-40.
- [7] Кешуов С.А., Алдибеков И.Т., Хасанов А.Р. Обоснование режимов работы пароводонагревателя с двумя встроенными теплообменниками // Исследования, результаты. – 2014. – №3, С. 251...259.

DEVELOPMENT OF ELECTRODE STEAM HEATER FOR AIC OBJECTS

R.T. Mukasheva, I.T. Aldibekov, E.O. Kozhasov

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev

e-mail: r.mukasheva@auess.kz, i.alidibekov@auess.kz, dreamerxd815@gmail.com

Annotation. In the agro-industrial complex, specialized electrothermal installations of various types are widely used for hot water supply, heating and the production of low-pressure steam. Most of these plants have relatively low utilization and utilization rates, which reduces the efficiency of capital investment. One of the ways to increase the efficiency of using electrothermal plants in agriculture is the development of combined electrothermal plants (steam water heaters) designed to produce low-pressure steam and hot water in one device. A brief analysis of the principles of operation and shortcomings of steam water heaters developed in various scientific organizations is carried out. The article describes the design, principle of operation and modes of operation of a compact steam water heater with a new electrode system and two built-in heat exchangers. The design parameters of the main elements of the installation with a power of 25 kW, the results of a laboratory study of an experimental sample and the main technical indicators are given. Due to the use of an electrode system with a variable interelectrode distance, the normal functioning of the plant in the steam generation mode is ensured in a wide range of changes in the electrical resistivity of boiler water without the use of blowdown. The presence of two built-in steam-water heat exchangers allows using the unit for simultaneous and separate heating of heat carriers of heating and hot water supply systems. The plant implements a hydraulic method of power control.

Keywords: agro-industrial complex, steam supply, hot water supply, heating, steam water heaters, electrode systems, heat exchangers

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЛИНЕЙНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМОВ В ВОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

¹Юнусов Р.Ф., ¹Байзаков Т.М., ²Имомназаров А.Б., ¹Сатаров Н.Э.

1 - Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства –
Национальный исследовательский университет, г.Ташкент, Республика Узбекистан,

2 – Каршинский инженерно-экономический институт, г.Карши, Республика Узбекистан.

Аннотация. *Агропромышленный комплекс включает в себя систему предприятий – производство средств производства для сельскохозяйственных предприятий и различных отраслей промышленности, а также сферу переработки, транспортировки и сбыта сырья и готовых продуктов. Разработка рациональных электроприводов, соответствующих приводным характеристикам производственных машин решает проблему энерго- и ресурсосбережения. Методы определяются решаемыми задачами при исследовании линейного асинхронного двигателя электропривода тихоходных механизмов поступательного движения.*

Ключевые слова: *Агропромышленный комплекс, отрасль, машина, рабочий орган, привод, линейный асинхронный электродвигатель, математическая модель, характеристика.*

Актуальность проблемы. Агропромышленный комплекс – один из самых крупных межотраслевых комплексов. В его состав включены разноплановые области экономики, в том числе, сельское хозяйство и отдельные смежные отрасли народного хозяйства (лёгкая и пищевая промышленности, машиностроение, энергетика и др.), связанные с сельскохозяйственным производством. В тоже время Агропромышленный комплекс (АПК) является одним из крупных потребителей электроэнергии. На рис.1 приведена взаимосвязь некоторых основных отраслей АПК, производств и используемого электрооборудования с разработкой мероприятий по сбережению электроэнергии. При этом существенную долю в используемой АПК электроэнергии составляют затраты, направленные на эксплуатацию электроприводов различных механизмов и машин АПК [1-6]. Поэтому энерго- и ресурсосбережение электрооборудования и производств, а также максимальная экономия электроэнергии в различных отраслях АПК – важная задача в области энергетики.

Электромеханизированное технологическое оборудование гидротехнических сооружений – это комплекс установок и приспособлений, предназначенных для добывания воды, улучшения её качества, доставки и распределения между водопотребителями. Водоснабжение объектов Агропромышленного комплекса (АПК) имеет отличительные особенности – необходимость подачи воды на большие расстояния и на обширные территории с неравномерно размещёнными водопотребителями и с неравномерным водопотреблением как в течение суток, так и в течение года. Поэтому мероприятия по совершенствованию водоснабжения объектов АПК имеют крупнейшее народнохозяйственное значение [1,2].

В состав механического оборудования входят: затворы, подвижные конструкции для перекрытия и регулирования расходов, уровней, перепадов уровней, объёмов воды в бьефах сооружений; сороудерживающие решётки и другие заграждения; подъёмно-транспортные механизмы и захватные балки для подъёма и транспортирования затворов, решёток и др., монтажа и демонтажа оборудования и его транспортирования; устройства и системы маневрирования затворами и решётками; устройства для очистки решёток и вывоза сора.

Достаточно полная классификация затворов различных гидротехнических сооружений приведена в [1,2]. Наиболее используемые из них по различным конструктивным, эксплуатационным и технико-экономическим показателям, являются

плоские затворы. Их используют как основные, аварийные, ремонтные и строительные. Плоские металлические затворы перекрывают пролёты до 40 м. В мелиоративной практике получили распространение задвижные плоские затворы на скользящих опорах площадью до 6 м² [1]. Затворы выпускаются с ручным приводом или электроприводом. Затворы с электроприводом имеют вертикально расположенный вал электропривода. Тип применяемого электропривода: червячный редуктор-электродвигатель.

Рис. 1. Взаимосвязь отраслей АПК и электрооборудования при разработке мероприятий по энергосбережению.

Постановка цели и задач исследования. Использование в технологических процессах АПК большого количества различных электрифицированных рабочих машин требует постоянного совершенствования их электропривода.

Для плоских затворов вместо редукторного электропривода предлагается использовать ресурсосберегающий электропривод на базе линейного асинхронного двигателя. Они дают возможность упростить кинематику, уменьшить электромеханические потери, повысить надёжность и быстродействие электропривода в целом.

В водном хозяйстве как технологические средства применяются различные электромагнитные устройства, принцип работы которых основан на использовании взаимодействия бегущего магнитного поля и различной вторичной среды. Это линейные

индукционные двигатели, индукционные насосы, лотки для перекачивания жидких сред электромагнитные устройства для их перемешивания, оперативного контроля и управления различными параметрами и другие [5-13].

В настоящее время наряду с разработкой и широким использованием индукционных двигателей с разомкнутым магнитопроводом в различных областях народного хозяйства (металлургии, транспорте, робототехнике, текстильной промышленности и других), они находят всё большее применение и в сельском хозяйстве с учётом его особенностей производства и их условий работы. В [5-15] достаточно подробно приведены приводы на базе индукционных двигателей с разомкнутым магнитопроводом, разрабатываемые для сельскохозяйственных машин, весьма разнообразные по мощности, скорости, режимам работы, конструкций.

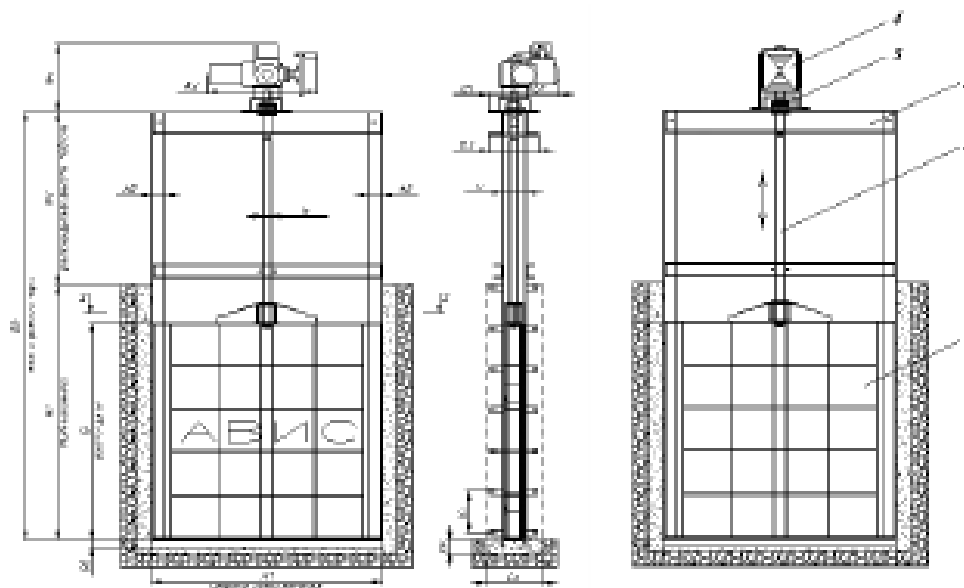


Рис. 2. Конструктивные схемы редукторного и линейного электропривода плоского затвора: 1 – затвор; 2 – стержень затвора; 3 – рама; 4 – индуктор линейного асинхронного двигателя; 5 – фиксационный механизм.

Основным недостатком электроприводов на базе индукционных двигателей с разомкнутым магнитопроводом, препятствующим их широкому внедрению в производство являются низкие энергетические показатели, обусловленные их конструктивными особенностями. Совокупность явлений, связанных с конечной длиной первичной магнитной цепи и обмоточной зоны индукционной машины с разомкнутым магнитопроводом приводят, в конечном счёте, к искажению волны бегущего магнитного и электрического поля и оказывают существенное влияние на её характеристики [5-17].

При исследовании индукционных двигателей с разомкнутым магнитопроводом исследователями используются различные оптимизационные критерии их оценки (удельные, энергетические, тяговые показатели и др.). Всё же основными доминирующими критериями большинство исследователей считают энергетические (КПД, коэффициент мощности или их произведение) и тяговые показатели.

Методика исследования. Современная практика проектирования электрических машин предполагает использование на разных стадиях проектирования математических моделей различной степени сложности. Более простые модели, облегчающие многовариантные расчёты, применяются при оптимизации машин. В дальнейшем при проверочных расчётах для уточнения параметров и характеристик используются сложные математические модели, позволяющие учесть реальные условия работы активных частей машины в различных режимах [11-17].

В большинстве случаев задание на проектирование ЛАД содержит: необходимое тяговое усилие F (пусковое или в рабочем режиме), номинальную скорость перемещения

подвижной части v_2 , напряжение U_1 и частоту f_1 питающей сети. Иногда оптимальная частота f_1 подлежит выбору. Задается или ограничивается один из главных размеров ЛАД: длина ℓ или ширина $2b$ активной зоны. Условия эксплуатации определяют минимальный немагнитный зазор δ . Задаются также перегрузочная способность двигателя и кратность пускового усилия, график нагрузки, сопряжение фаз обмотки индуктора, конструктивный тип по способу защиты от воздействия окружающей среды и предполагаемый способ охлаждения. Техническое задание на проектирование ЛАД должно содержать также требования к эксплуатационным характеристикам машины, позволяющие выбрать критерии оптимальности и ограничения для оптимизации двигателя.

На первом этапе проектирования в ходе поисковых расчётов определяются электромагнитные нагрузки (A_1, B_δ), главные размеры машины ($\delta, \tau, \ell, 2b$) и размеры зубцовой зоны индуктора ($t_z, b_z, b_n, h_n, k_{11}, k_{12}$). В основу методики оптимизационных расчётов положены выражения, приведённые в [13,16]. Входящие в указанные выражения коэффициенты могут быть заданы или рассчитаны предварительно. Коэффициенты k_{11} и k_{12} , определяющие геометрию зубцовой зоны индуктора, могут быть приняты равными рекомендуемому для вращающихся машин: $k_{11} = 2,5...4$ и $k_{12} = 0,4...0,6$. Для ЛАД с относительно большими воздушными зазорами значения коэффициентов могут быть повышены: $k_{11} = 3...5$ и $k_{12} = 0,5...0,65$. Коэффициент заполнения пакета магнитопровода сталью $k'_c = 0,95...0,97$. Коэффициент заполнения паза медью $k_{з.м} = 0,32...0,36$ (для вольфрамовых обмоток). Коэффициент насыщения магнитной цепи $k_\mu = 1,03...1,05$. Обмоточный коэффициент $k_{об} = 0,94...0,96$. Коэффициент воздушного зазора определяется по выражению

$$k\delta = k'_\delta k''_\delta, \quad (1)$$

где коэффициент Картера

$$k'_\delta = t_z / (t_z - \frac{b_n^2}{5\delta + b_n}) , \quad (2)$$

и коэффициент, учитывающий рассеяние основного магнитного потока в воздушном зазоре [16],

$$k''_\delta = sha\delta / (a\delta) . \quad (3)$$

Коэффициент k_n , определяющий ослабление индукции магнитного поля на поверхности вторичного элемента (ВЭ) по сравнению с ее значением на поверхности индуктора, рассчитывается по формуле [16]

$$k_n = cha\delta . \quad (4)$$

Для двустороннего ЛАД с немагнитным высокопроводящим ВЭ в выражениях (2)-(4) δ – это половина общего немагнитного зазора.

Коэффициент $k_{лоб}$, определяющий длину лобовой части обмотки индуктора, зависит от размеров паза и способа укладки обмотки. Если охарактеризовать размеры паза произведением коэффициентов $k_{11} \cdot k_{12} = 0,16...0,36$, то ориентировочно можно принять: для пазов относительно малой площади ($k_{11} \cdot k_{12} = 0,16...0,26$) $k_{лоб} = 1,9...2,0$ (однослойная обмотка) и $k_{лоб} = 1,6...1,7$ (двухслойная обмотка), а для пазов относительно большой площади ($k_{11} \cdot k_{12} = 0,26...0,36$) – соответственно $k_{лоб} = 2,0...2,1$ и $1,7...1,8$.

Остальные величины в выражениях, связывающих показатели ЛАД с электромагнитными нагрузками и размерами, задаются в проектном задании либо

подлежат определению в ходе оптимизации ЛАД. Расчёты могут проводиться по одному из следующих путей: 1) исходная величина – фактор нагрева AJ ; 2) исходная величина – максимально допустимая индукция магнитного поля в основании зубца $B_{z\max}$. В первом случае задается значение AJ и определяется линейная токовая нагрузка A_1 по формуле

$$A_1 = k_{12} \sqrt{AJ k_{3.M} k_{11} t_z} \quad . \quad (5)$$

Затем по [13] находится индукция магнитного поля в воздушном зазоре B_δ и проверяется индукция магнитного поля в основании зубца $B_{z\max}$. Например, для ЛАД с прямоугольными открытыми пазами индуктора $B_{z\max}$ рассчитывается по формуле:

$$B_{z\max} = \frac{B_\delta k_n}{k_c (1 - k_{12})} \left(\frac{1,05 k_\delta \delta k_{11}}{k_{ob} \tau I_{m*}} + 1 \right) \quad . \quad (6)$$

Если $B_{z\max} < B_{z\partial on} = 1,7 \dots 1,9$ Тл, то можно увеличить значения коэффициентов k_{11} и k_{12} . Если $B_{z\max} > B_{z\partial on}$, то необходимо снизить величины AJ либо уменьшить коэффициенты k_{11} и k_{12} .

При втором подходе по заданному значению $B_{z\max}$ из выражения (6) находят B_δ и далее по [15] и (5) значения A_1 и AJ . Фактор нагрева AJ сравнивается с максимально допустимым значением для данного класса нагревостойкости изоляции. При необходимости корректируются значения k_{11} и k_{12} либо $B_{z\max}$.

После уточнения электромагнитных нагрузок рассчитываются технико-экономические показатели ЛАД, определяются необходимое число полюсов индуктора и поправочные коэффициенты для учёта продольного краевого эффекта. Формуляр предварительного расчёта ЛАД приведён в [13,16]. Простота описанного алгоритма расчёта позволяет использовать его как при ручном счёте для оценки конкретного варианта ЛАД, так и с применением ЭВМ для оптимизационных расчётов. При этом расчёт не требует больших затрат машинного времени даже при использовании простейших методов нелинейного программирования.

После окончания оптимизационных расчётов находятся обмоточные данные индуктора ЛАД. Число витков в фазе

$$w_1 = \frac{k_E U_{ном}}{4 \sqrt{3} k_{ob} k_B \alpha_\delta f_1 B_\delta \tau 2b} \quad ; \quad (7)$$

число проводников в пазу

$$u_n = a w_1 / (pq) \quad ; \quad (8)$$

ток индуктора

$$I_1 = A_1 t_{za} / u_n \quad ; \quad (9)$$

плотность тока

$$J = AJ / A \quad ; \quad (10)$$

расчётное сечение эффективных проводников

$$S_{np} = I_1 / J \quad (11)$$

После определения реального сечения проводников обмотки индуктора уточняется коэффициент заполнения паза медью:

$$k_{з.м} = S_{np} u_n / (b_n h_n) \quad (12)$$

и при необходимости расчёт повторяется с формулы (5).

По окончании предварительных расчётов уточнение характеристик и показателей ЛАД, а в ряде случаев и корректировку некоторых их параметров можно проводить по более сложным математическим моделям, позволяющим учесть как конструктивные особенности ЛАД, так и особенности режимов их работы.

Для поверочного расчёта многополюсных ЛАД, в которых влияние продольных краевых эффектов невелико, рациональным может оказаться описанный в [13,16] метод аналогового моделирования. При этом появляется возможность анализировать характеристики ЛАД со сложным вторичным элементом, уточнять размеры зубцовой зоны индуктора при различной конфигурации паза, исследовать двигатели нетрадиционных конструкций, в том числе с измельченной зубцово-пазовой структурой, с магнитопроводами, полученными по безотходной технологии, и т.п.

Наибольшими возможностями при анализе характерно ЛАД обладает метод, использующий развёрнутые схемы замещения электрических и магнитных цепей, позволяющий рассчитывать двигатели при произвольной схеме обмоток индуктора и различных схемах питания (например, питания от тиристорного преобразователя) с учётом дискретности ВЭ, в том числе в нестационарных режимах работы.

Известно, что выбор той или иной расчётной методики ограничивается возможностями вычислительной техники, предлагаемые в [15-17] методы расчёта ЛАД в этом плане выгодно отличаются от других, поскольку позволяют менять степень дискретизации математической модели, а значит, изменять трудоёмкость расчётов.

Результаты исследования. Результаты расчётов характеристик ЛАД для различных производственных механизмов с соответствующими приводными характеристиками производств АПК приведены в [1,13-15].

На рис. 3...6 приведены зависимости $F, I, \eta, \cos \varphi = f(s)$ при различных значениях числа витков в катушке обмотки индуктора ЛАД с ферромагнитным экранированным вторичным элементом ($d_2 = 1 \text{ мм}; \delta = 1 \text{ мм}$).

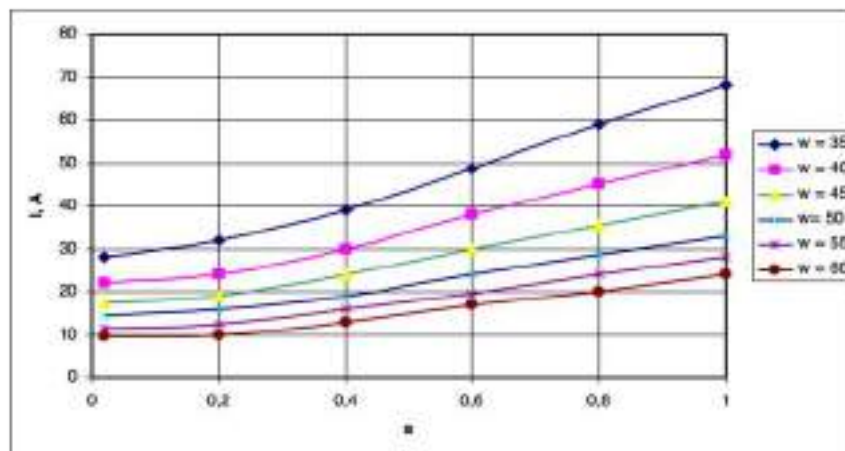


Рис. 3. Зависимость $i = f(s)$ при различных значениях числа витков в катушке.

Уменьшение числа витков в катушке приводит к росту тока (рис.3). По расчётным данным кривые η , $\cos\varphi = f(s)$ при изменении числа витков катушки весьма незначительно отличаются друг от друга, поэтому на рис.4 и рис.5 они изображены одной кривой при всех значениях числа витков в катушке.

На основании анализа кривых (рис.6) можно видеть, что тяговое усилие двигателя, при постоянных конструктивных размерах, зависит от числа витков в катушке. Уменьшение числа витков увеличивает тяговое усилие лад. увеличение среднего фазного тока и тягового усилия по мере уменьшения числа витков в катушке объясняется тем, что увеличивается сечение провода при постоянных значениях геометрических размеров и коэффициента заполнения медью паза индуктора и незначительном изменении значения плотности тока.

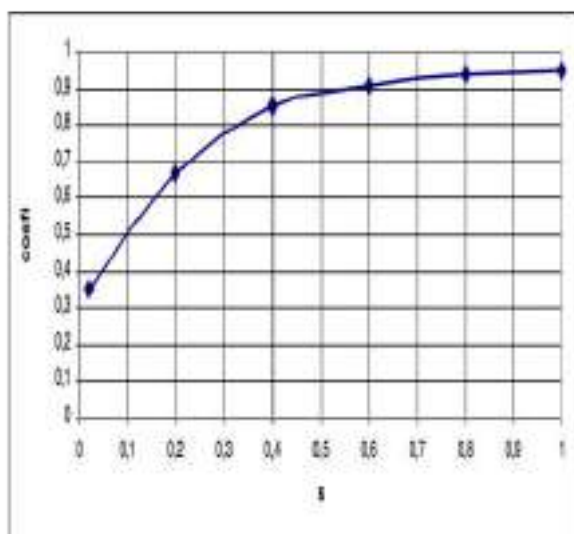


Рис. 4. Зависимость $\cos\varphi = f(s)$.

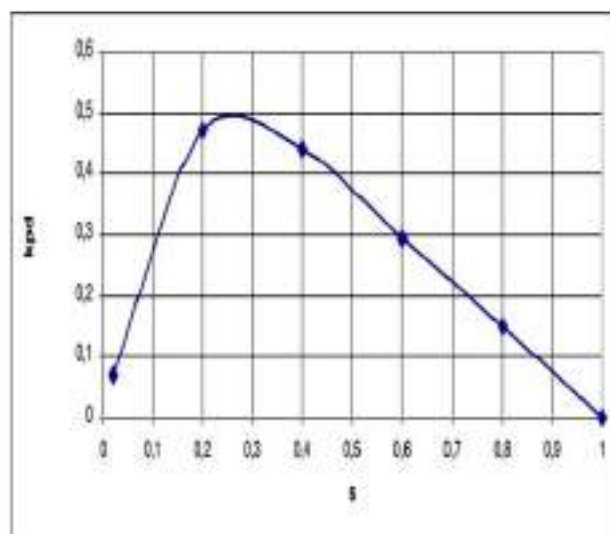


Рис. 5. Зависимость $\eta = f(s)$.

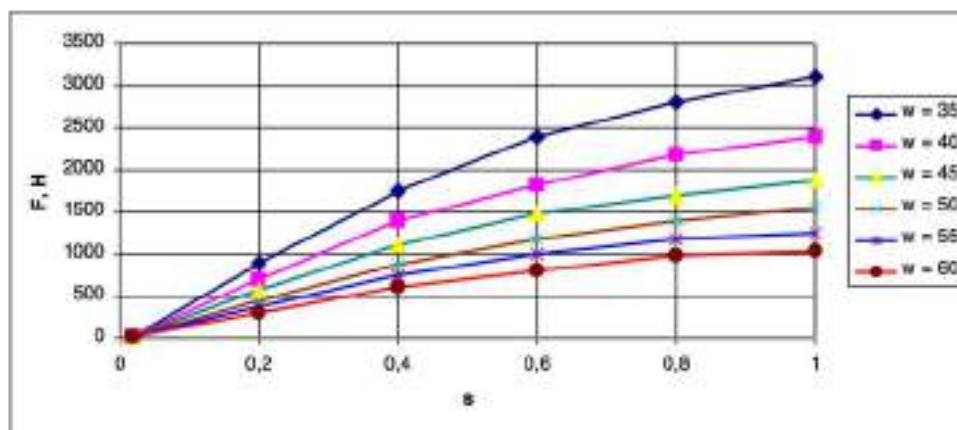


Рис. 6. Тяговая характеристика лад при различных значениях числа витков статорной обмотки.

При проектировании необходимо учитывать режим работы и условия пуска двигателя в приводах механизмов. как видно из рис.6, для привода механизмов с большим пусковым тяговым усилием кратковременным режимом работы эффективнее использовать ЛАД с малым числом витков и большим сечением провода катушки обмотки индуктора. Однако, при частых включениях таких механизмов необходимо иметь запас двигателя по нагреву.

Результаты численного анализа проверены при помощи физических экспериментов на специальных макетных образцах и показали хорошее совпадение с опытными данными.

Выводы. Структура агропромышленного комплекса довольно условна и включает в себя различные отрасли и их производства, начиная от [подготовки к производству](#) и заканчивая переработкой и транспортировкой сырья и готовой сельскохозяйственной продукции. Проблемы энерго- и ресурсосбережения являются доминирующими в наиболее применяемых электропотребителях – асинхронных электродвигателях в системе электропривода. Линейные асинхронные двигатели отвечают комплексу критериев при разработке электроприводов машин с тихоходными и линейными перемещениями рабочих органов. Предложенная методика расчёта полно определяет особенности линейных асинхронных двигателей и позволяет оценить их энергетические и тяговые показатели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yunusov R., Imomnazarov A., Mirnigmatov B., Ozodov E., Abduganiyev A., Nazarov O. Modelling of liner electro drive in the watergate of hydrotechnical constructions. International Conference «Applied Physics, Information and Engineering Technologies (APITECH-2019)» in September 25-27, 2019 Krasnoyarsk, Russia. Journal of Physics: Conference Series. 1399 (2019) 044104. IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1399/4/044104.
2. Гидротехнические сооружения / Н.П.Розанов, Я.В.Бочкарёв, В.С.Лапшенков и др.; Под ред. Н.П.Розанова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.
3. Юнусов Р.Ф. Электропривод сельскохозяйственных машин / ЧИМЭСХ. Челябинск, 1988, 15 с. – (Рукопись деп. во ВНИИТЭИагропром 16.01.89, № 73 ВС-89 Деп).
4. Курбатова Г.С. Электродвигатели для сельского хозяйства.- М.: Энергоатомиздат, 1983.- 64 с.- (Промышленность – селу).
5. Электропривод на базе двигателей с разомкнутым магнитопроводом для машин Агропромышленного комплекса: Отчёт / ЧИМЭСХ; Рук. темы Пястолов А.А. Отв. Исполнитель Юнусов Р.Ф. – № ГР 01860022328; Инв. № 02880002765. – Челябинск, 1987. – 49 с.
6. Фоменков А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. – М.: Колос, 1984. – 192 с.
7. Амиров С.Ф. Электромагнитные расходомеры воды с кольцевым каналом для напорных трубопроводов. – Т.: Фан, 1996. – 103 с.
8. Ефимов И.Г., Соловьев А.В., Викторов О.А. Линейный электромагнитный привод. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1990. – 264 с.
9. Круминь Ю.К. Основы теории и расчёт устройств с бегущим магнитным полем. – Рига: Зинатне, 1983. – 278 с.
10. Bayzakov T.M., Yunusov R.F., Yusupov Sh.B., Kilichev Z., Xasanova Y. Methods of using ecological sources of clean energy in the cultivation of bell pepper seedlings // 2nd International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2021 (ICECAE 2021). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 939 (2021) 012007. doi: 10.1088/1755-1315/939/ /1/012007.
11. Ямамура С. Теория линейных асинхронных двигателей: Пер. с англ. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. – 180 с.
12. Свечарник Д.В. Электрические машины непосредственного привода: Безредукторный привод. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.
13. Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н. Линейные асинхронные двигатели. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
14. Yunusov R.F., Bayzakov T.M., Sattarov N.E., Xaliqnazarov U.A., Nazarov O.A., Dinikulov D.U. Linear electric actuator of a sectional plane shut-off of hydrotechnical structures // 1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2020 (ICECAE 2020). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012017.
15. Muhammadiev A., Yunusov R.F., Bayzakov T.M., Sattarov N.E., Yusupov Sh.B., Xaliqnazarov U.A., Sattarov M.N. Liner motor drive of cattle farm feeders // 1st International

16. Вольдек А.И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1970. – 272 с.

17. Вилнитис А.Я., Дриц М.С. Концевой эффект в линейных асинхронных двигателях. Задачи и методы решения. – Рига: Зинатне, 1981. – 258 с.

МРНТИ 68.85.35,

УДК 67.620.4

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХЛОПКОВОГО МАСЛА ИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СЕМЯН

А.А. Турдибаев¹, Ж.С. Шыныбай², М.Ш. Сакитжанов², А.Ж. Сапарғали³

¹Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»,

²НАО «Алматинский университет энергетики и связи им.Гумарбека Даукеева»,

³АО «Алматинский технологический университет»

e-mail: turdiboev1983@mail.ru, zh.shynybay@aes.kz, m.sakitzhanov@aes.kz

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы повышения энергетической эффективности при получении масла из хлопковых семян. Показана взаимосвязь количества получаемого масла со степенью поражения мезги хлопковых семян. Электроимпульсной обработкой семян хлопчатника предполагается повысить количество получаемого масла и снизить затраты энергии в технологическом процессе. В результате применения предлагаемой технологии процесс прессования и отжим масла из семян хлопчатника, снижения продолжительности обжаривания семян в свою очередь даёт возможность снижению экстрагированного технического масла.

Ключевые слова: технологические линии, семена, процесс пресса, хлопковое масло, измельченная масса, структуры клетки, электроимпульсная обработка.

Введение

Проблема создания энергоэффективной электротехнологии технических средств для получения хлопкового масла из технических семян по всему миру остается актуальной. Если учесть, что «Ежегодно в мире выращивается 23 млн. тонн хлопкового сырья, и из него получают 30-35 процентов семян хлопка, также получают более 5,5 млн. тонн хлопкового масла», разработка и внедрение энергоэффективных технологий и технических средств получения хлопкового масла из технических семян является важным узлом переработки хлопка сырца. На мировом уровне растет потребность к хлопковому маслу для удовлетворения спроса на качественную продукцию растительного сырья, также уделяется должное внимание на использование современных энергоэффективных технологий и технических средств в технологических процессах масло-жир производства [1].

В процессе исследований электроимпульсной обработки применены современные методы и теории. При изучении и анализе причин и последствий электроимпульсной обработки семян применены методы анализа, основанные на системном подходе. При проведении теоретических и экспериментальных исследований, применены математический анализ, теория вероятности, математическая статистика, методы планирования эксперимента. При определении экономической эффективности технического устройства был сделан аналитический расчет результатов испытаний. Чтобы установить взаимосвязь между основными факторами электроимпульсной обработки (U, C,

п) и показателей степени повреждения материала S необходимо определить степень повреждения клеток и ткани растительного продукта и закономерность электроимпульсной обработки.

Основная часть

А.Х. Вахидов в своих исследованиях получил уравнения процесса электроимпульсной обработки в воде растительного материала (для косточковых плодов) и определил выражение степени повреждения (S) растительного материала при электроимпульсной обработке в следующем виде:

$$S = S_0 e^{\left[-\frac{(W_k - W_c) \cdot n}{K} \right]} + S_m \left[1 - e^{\left[-\frac{(W_k - W_c) \cdot n}{K} \right]} \right], \quad (1)$$

где: S_0 и S_m - начальные и максимальные значения степени повреждения растительного материала; n - количество импульсов, штук; K_i - коэффициент, характеризующий ослабление эффекта повреждения при последующем импульсе относительно предыдущего; W_k - энергия накопленная в конденсаторе; W_c - энергия проходящая через объем материала, которые определяется следующим образом:

$$W_k = \frac{1}{2} \cdot C U^2; \quad (2)$$

$$W_c = \int_0^T \frac{\delta^2(t)}{\gamma_c} dt = \frac{E_0^2 \cdot \gamma_c \cdot T}{2} \left(1 - \frac{1}{e^2} \right), \quad (3)$$

где: δ - плотность электрического тока; γ_c - удельная электропроводимость обрабатываемого материала; T - постоянное времени разряда.

$$\delta(t) = \delta_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad \text{и} \quad \delta_0 = E_0 \cdot \gamma_c, \quad (4)$$

где E_0 - напряженность электрического поля; t - продолжительность протекания разряда.

Обобщая уравнения (1, 2, 3) получено выражение степени повреждения продукции косточковых плодов в следующем виде:

$$S = S_0 e^{\frac{n}{K} (0,87 E_0^2 \gamma_c \cdot T - C U^2)} + S_m \left[1 - e^{\frac{n}{K} (0,87 E_0^2 \gamma_c \cdot T - C U^2)} \right] \quad (5)$$

Как видно из этого выражения, степень повреждения клеток продукции косточковых плодов при предварительной их электроимпульсной обработке зависит от напряжения разряда – (U), емкости конденсатора – (C), удельной электропроводимости обрабатываемого материала – (γ_c), напряженности электрического поля – (E_0), постоянной времени разряда – (T) и количества импульсов – (n).

В выражении (5) напряженность электрического поля E для диэлектрических материалов зависит от напряжения импульса (U) и расстояния между электродами (h):

$$E = \frac{U}{h}. \quad \text{В/м} \quad (6)$$

При этом расстояние между электродами h зависит от толщины обрабатываемого материала.

Учитывая вышеизложенное выражение (5), использованное А.Х Вахидовым, определяющее степень повреждения клеток материала при электроимпульсной обработке можно записать в следующем виде:

$$S = S_0 e^{\frac{n \cdot f}{K \cdot h} (E_0^2 \gamma_c^* T - C U^2)} + S_m \left[1 - e^{\frac{n \cdot f}{K \cdot h} (E_0^2 \gamma_c^* T - C U^2)} \right] \quad (7)$$

где: S_0 и S_m - начальное и максимальное значение степени повреждения растительного материала; K_i - коэффициент характеризующий ослабление эффекта повреждения при последующем импульсе относительно предыдущего, это зависит от количества импульсов и вида обрабатываемого продукта. Для измельченных технических семян значение этого коэффициента определено в пределах K_i 0, 35-0,52; f - степень увлажнения обрабатываемого материала, %; h - толщина слоя обрабатываемого материала [2, 3, 4, 5].

Из последнего выражения видно, что степень повреждения клеток измельченной массы семян, поддерживающих масло в растительном материале зависит от напряжения разряда (U), емкости конденсатора (C), количества импульсов (n).

Приведенное теоретическое выражение характеризует эффективность предварительной электроимпульсной обработки перед получением масла из измельченной массы технических семян.

В качестве основных факторов воздействия электроимпульсной обработки приняты следующие параметры: напряжение разряда (U), емкость конденсатора (C), количество импульсов (n), степень увлажнения обрабатываемого материала (f) и толщина слоя обрабатываемого материала (h). Для оценки эффективности электроимпульсной обработки измельченной массы семян и для характеристики обрабатываемого продукта принята степень повреждения (S) клеток и тканей, поддерживающая масло в материале.

Из анализа кривых, приведенных в графике (рис.1) были определены следующее. При достижении напряжения разряда обрабатываемого материала до 6 кВ, степень повреждаемости клеток, поддерживающее масло в измельченной массе семян, возрастает. При дальнейшем увеличении напряжения разряда эффект степени повреждаемости клеток остается неизменным. При достижении напряжения разряда до 6кВ, степень повреждаемости клеток измельченной массы семян доходит до 80-85% и рост воздействия электроимпульсного разряда на материал останавливается [6, ..., 16].

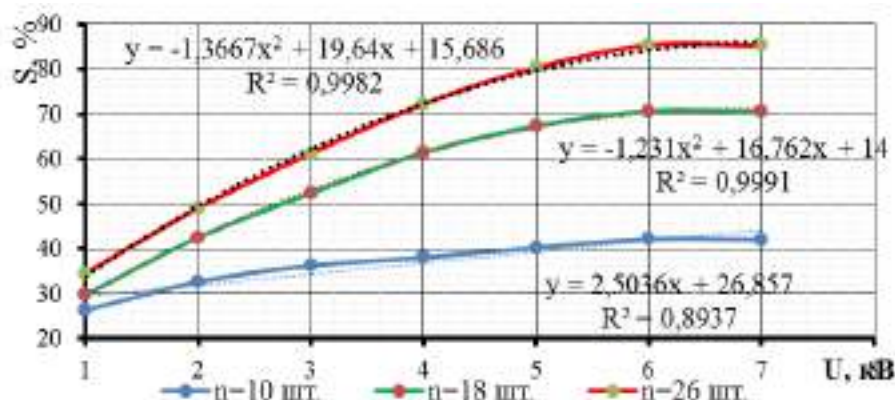


Рисунок 1 - График зависимости степени повреждения клеток, поддерживающее масло в измельченной массе материала от напряжения импульсного разряда ($C=0,8\text{мкФ}$)

Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что при увеличении количества импульсов, степень повреждаемости клеток резко возрастает до количества импульсов 18-20 штук, при дальнейшем увеличении количества импульсов повреждаемость клеток остается постоянной, лишь увеличивается расход энергии на процесс обработки (рис.2).

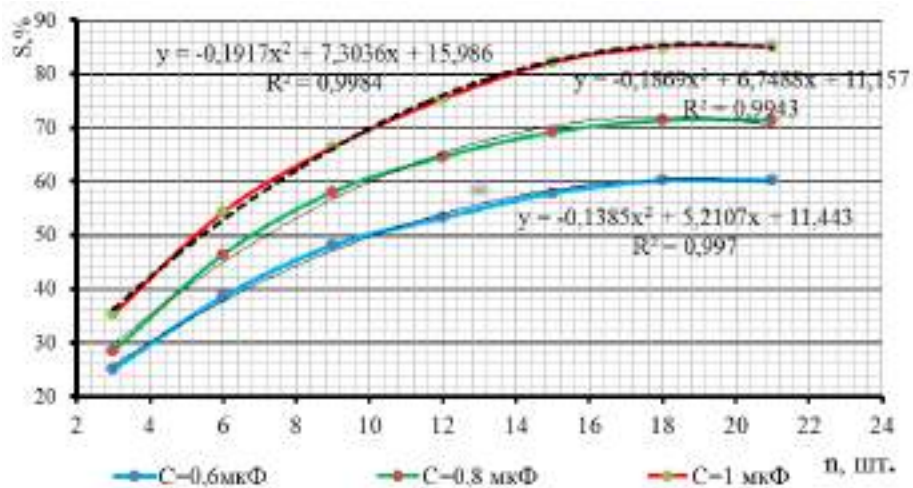


Рисунок 2 - График зависимости степени повреждения клеток, поддерживающее масло в измельчённой массе материала от количества импульсов ($U=6\text{кВ}$)

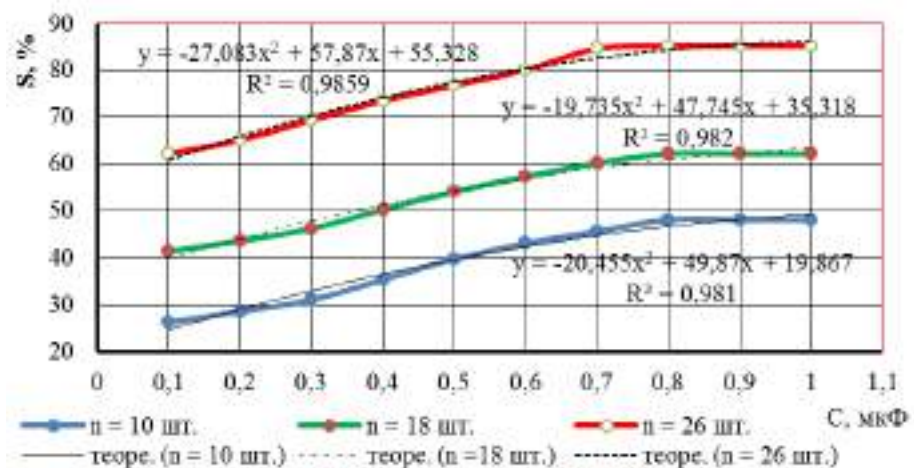


Рисунок 3 - График зависимости степени повреждения клеток поддерживающее масло от емкости конденсатора

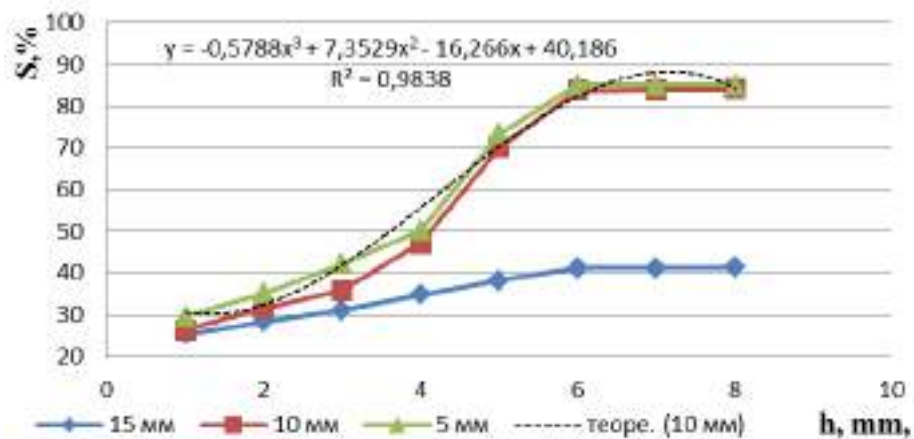


Рисунок 4 - График зависимости степени повреждения клеток от толщины массы измельчённого материала

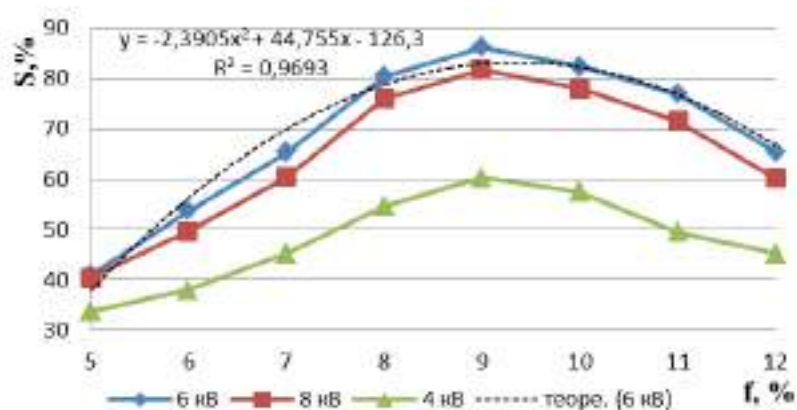


Рисунок 5 - График зависимости степени повреждения клеток поддерживающее масло в материале от влажности измельчённой массы

В экспериментальных исследованиях были определены, доводимость степени повреждения клеток измельчённой массы семян, поддерживающее масло в объеме до 80-85% при электроимпульсной обработке, достаточной считается емкость конденсатора, равная 0,8 мкФ. При дальнейшем увеличении емкости конденсатора более 0,8 мкФ, степень повреждения клеток измельчённой массы семян, поддерживающее масло в объеме остается неизменным (рис.3).

При электроимпульсной обработке продуктов, содержащие растительное масло, особое значение имеет толщина обрабатываемой измельчённой массы. Результаты проведенных экспериментальных исследований показывают, что для доведения степени повреждения клеток измельчённой массы семян, поддерживающее масло в объеме до 80-85% при электроимпульсной обработке, необходимая толщина массы измельчённого материала должна составлять 9-10 мм. При увеличении толщины массы измельчённого материала, степень повреждения клеток снижается (рис.4).

Полученные в результате экспериментальных исследований, кривые зависимостей степени повреждения клеток измельчённой массы семян, поддерживающее масло в объеме от влажности обрабатываемого материала показывают, что наилучшая степень повреждения клеток получена при влажности материала 9-10%. При увеличении влажности материала более 10% снижается степень повреждения клеток измельчённой массы (рис.5).

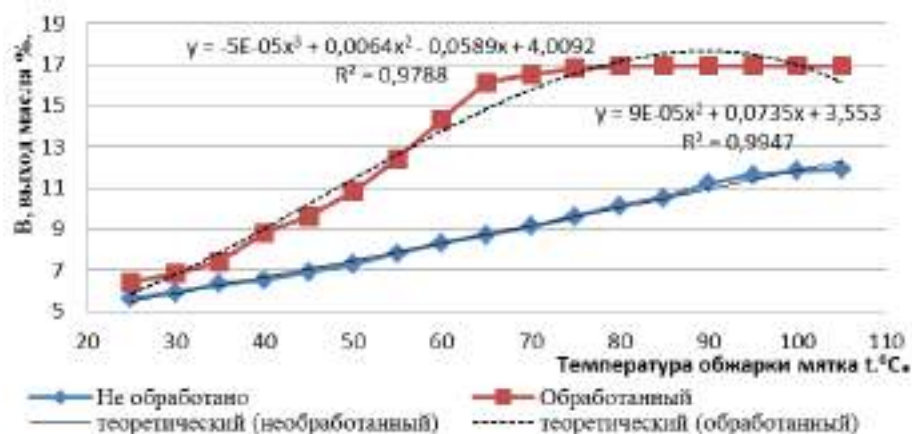


Рисунок 6 - График зависимости выхода масла в процессе прессования электроимпульсно обработанной массы измельчённых семян от температуры обжаривания

В экспериментальных исследованиях определено, что при обжаривании материала до температуры 70-75°C, после электроимпульсной обработки повышается выход

растительного масла до 17%. При этом для снижения липкости масла необходима температура 70-75⁰С. При дальнейшем повышении температуры, величина выхода масла остается неизменной (рис.6)

На практике при обжаривании, температура материала доходит до 105-110⁰С, снижением температуры обжаривания можно съэкономить излишнюю расходуемую энергию. Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что чем больше степень повреждения клеток измельчённой массы семян, поддерживающее масло в объеме, тем больше будет количество выхода масла (рис.7).

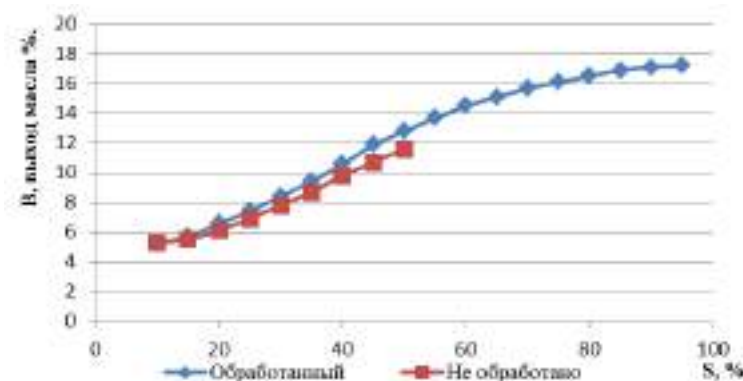


Рисунок 7 - График зависимости выхода масла в процессе прессования электроимпульсно обработанной массы измельчённых семян от степени повреждения клеток материала

По существующим технологиям с механической и тепловой обработкой, добиваются степень повреждения клеток измельчённой массы семян, поддерживающее масло в объеме практически до 45-50%, и при этом количество выхода масла из сырья составляет в пределах 11-12%. После электроимпульсной обработки материала степень повреждения клеток измельчённой массы семян доводится до 80-85% и за счет этого количество выхода масла из сырья увеличивается до 16-17% (рис.7).

Математическая модель процесса получения масла из измельчённой массы семян после электроимпульсной обработки имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 S = & 35,78 + 1,6 \cdot U^2 + 1,03 \cdot n^2 + 35,55 \cdot C^2 + 2,15 \cdot f^2 + 1,78 \cdot h^2 - 2,84 \cdot U - 3,84 \cdot n - \\
 & - 297,7 \cdot C - 9,92 \cdot f + 0,04 \cdot U \cdot n - 3,82 \cdot U \cdot C - 0,11 \cdot U \cdot f - 0,01 \cdot U \cdot h + 2,39 \cdot n \cdot C + \\
 & + 0,07 \cdot n \cdot f + 0,08 \cdot n \cdot h - 2,8 \cdot C \cdot f + 2,75 \cdot C \cdot h + 0,03 \cdot f \cdot h
 \end{aligned} \quad (8)$$

Регрессионный и дисперсионный анализ математической модели показал, что все коэффициенты значимы и математическая модель выражена адекватно. По результатам экспериментальных исследований получения масла из измельчённых семян, после электроимпульсной обработки, получены следующие оптимальные параметры степени повреждения клеток ($S_{\text{опт}}$) измельчённой массы семян, поддерживающее масло в объеме: напряжение разряда электроимпульсной обработки измельчённых семян - 6 кВ, количество импульсов - 18, емкость конденсатора - 0,8 мкФ, влажность измельчённой массы семян - 9%; толщина слоя измельчённой массы при электроимпульсной обработке - 10 мм, при которых увеличивается количество выхода масла из материала и снижается расход энергии на технологический процесс.

Выводы

1. Электроимпульсная обработка измельченной массы семян в процессе извлечения хлопкового масла из технических семян позволила значительно повысить степень повреждения ткани и клеток семян по сравнению с другими электрофизическими эффектами.

2. Получена возможность достаточного повреждения клеток и тканей технических семян при электроимпульсной обработке измельченной массы семян с оптимальными параметрами обработки, как напряжение разряда, емкость конденсатора, количество импульсов, влажность и толщина слоя обрабатываемого материала.

3. При получении масла из технических семян с электроимпульсной обработкой измельченной массы семян, высокая степень повреждения клеток поддерживаемого масла в массе материала получается при напряжении разряда 6 кВ, количества импульсов 18 штук, емкости конденсатора 0,8 мкФ, влажности измельченной массы семян 9% и толщины слоя материала при электроимпульсной обработке 10 мм.

4. При электроимпульсной обработке измельченной массы семян высокая степень повреждения клеток поддерживающее масло в массе материала позволяет снизить температуру тепловой обработки с 100-105⁰С до 70-75⁰С, что обеспечивает снижение расхода энергии приведенной на количество получаемого хлопкового масла.

5. Предлагаемая технология получения хлопкового масла из технических семян и разработанная установка для практической реализации способа в технологических процессах производства хлопкового масла, позволяет увеличить выход масла на 4,5-5% относительно существующей технологии, сократить расход электрической энергии на производство масла на 35% и получить годовой экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Бажал М.И., Нгади М.О., Рагаван Ж.С. Синергическое воздействие давления и импульсного электрического поля на прессование растительной ткани // Электронная обработка материалов. 2003. № 3. - С. 59–66.

[2] Березовская О.М. Технология производства высококачественных растительных масел // Материалы V Международной научно-практической конференции «Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства», г. Челябинск, 2007. 30 марта. - С. 17-19.

[3] Бойко Н.И., Бондина Н.Н., Михайлов В.М. Моделирование воздействия электрического поля на объекты, имеющие многослойную структуру // Электронное моделирование. 2002. Т. 24. № 1. - С. 70–82.

[4] Василенко В.Н. Математическая модель движения сырья в шнековом канале маслопресса // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2013. № 3. - С. 18-22.

[5] Вахидов А.Х. Повышение эффективности сушки косточковых плодов предварительной электроимпульсной обработкой. Диссертация на соискании ученой степени кандидата технических наук. Москва, 1989. – С. 223.

[6] Турдибаев А.А., Акбаров Д.М. Electro Technology for Increasing Energetic Efficiency in Cotton. International Scientific Agricultural Journal.-Волгоград. 2018. V. 2. – Р. 61-65.

[7] Турдибаев А.А., Акбаров Д.М. Ёф-мой корхоналарида энергия истеъмоли ва энергия тежаш усуллари кўллаш. // Қишлоқ ва сув хўжалигининг замонавий муаммолари мавзусидаги анъанавий XVII-ёш олимлар, магистрантлар ва иқтидорли талабаларнинг илмий-амалий анжумани. - Тошкент, ТИҚХММИ 12-13 апрел, 2018. – Б. 143-146.

[8] Турдибаев А.А., Акбаров Д.М. Техник чигитдан пахта мойи олишда энергетик самарадорликни оширишнинг электротехнологияси // Агро илм журнали. – Тошкент, 2018. Махсус сон. – Б. 71-72.

[9] Лисицын А.Н., Григорьева В.Н. Научно обоснованные тенденции переработки масличного сырья // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. 2015. №. 1–2. - С. 5–16.

[10] Ляпин В. Г. Исследование электрических свойств растительной ткани в электромагнитном поле // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2008. №4.

[11] Турдибаев А.А., Вахидов А.Х., Хуррамова З. Техник чигитдан пахта мойи олишда электрофизик усулларнинг таъсири // Агро илм журнали. – Тошкент, 2012. №2. – Б. 77-78.

[12] Турдибаев А.А., Таджибекова И.Э., Акбаров Д.М. Применение электротехнологических методов при получении хлопкового масла из технического семян. // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования Сборник научных статей III Международной научно-практической Интернет-конференции. - ФГБНУ «ПНИИАЗ, 28 февраля, 2018. С. 1154-1160.

[13] Турдибаев А.А., Юсупов Ш.Б., Акбаров Д.М. Техник чигитдан пахта мойи олишда мавжуд муаммолар ва уларни чишда электротехнологик усуллардан фойдаланиш // Иригация ва мелиорация журналы. – Тошкент, 2019. Махсус сон. – Б. 118-122.

[14] Турдибоев А.А. Техник чигитдан пахта мойи олишда энергия харажатлари ва энергия самарадорлигига эришишнинг электротехнологияси. // Агросаноат мажмуаси учун фан таълим ва инновация, муаммолар ва истиқболлар” мавзусидаги халқаро илмий-амалий анжуман. – Тошкент, 2019. - Б. 107-110.

[15] Турдибоев А.А., Акбаров Д.М. Новая электротехнология производства хлопковое масло // Илмий тадқиқот ва кадрлар тайёрлаш тизимида инновацион ҳамкорликни ривожлантиришнинг муаммолари ва истиқболлари мавзусида халқаро илмий-амалий анжуман. - Бухоро, 2017. –Б. 404-406.

[16] <https://www.businesswire.com/news/home/20191015005872/en/World-Cotton-Seyed-Oil-Market-Analysis-Forecast-Size>

ТЕХНИКАЛЫҚ ТҰҚЫМДАРДАН МАҚТА МАЙЫН АЛУ ҮШІН ЭНЕРГИЯ ТИІМДІ ЭЛЕКТР ТЕХНОЛОГИЯСЫ

А.А. Турдибаев¹, Ж.С. Шыныбай², М.Ш. Сакитжанов², А.Ж. Сапарғали³

¹«Ташкент суару және ауыл шаруашылығын механикаландыру инженерлері институты» Ұлттық зерттеу университеті,

²«Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті»
КеАҚ,

³«Алматы технологиялық университеті» АҚ

e-mail: turdiboev1983@mail.ru, zh.shynybay@aes.kz, m.sakitzhanov@aes.kz

Аңдатпа. Мақалада мақта тұқымынан май алуда энергия тиімділігін жоғарылату мәселелері қарастырылған. Алынған май мөлшері мен мақта тұқымының целлюлозасының зақымдану дәрежесі арасындағы байланыс көрсетілген. Мақта тұқымын электропульсті өңдеу алынған майдың көлемін ұлғайтады және технологиялық үдерісте энергия шығынын азайтады деп болжануда. Ұсынылған технологияны қолдану нәтижесінде мақта тұқымынан майды пресстеу және сығу үдерісі, тұқымды қуыру ұзақтығын қысқарту, өз кезегінде, алынатын техникалық майды азайтуға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: технологиялық желі, тұқым, пресстеу үдерісі, мақта майы, ұсақталған масса, клетка құрылымы, электр импультік өңдеу.

ENERGY EFFICIENT ELECTRICAL TECHNOLOGY FOR PRODUCING COTTONSEED OIL FROM TECHNICAL SEEDS

A. Turdiboev¹, Zh. Shynybay², M. Sakitzhanov², A. Sapargali³

¹"Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University,

²Noncommercial joint-stock company «Almaty University of Power Engineering & Telecommunications named after G. Daukeev»,

³ Joint-stock company «Almaty Technological University»

e-mail: turdiboev1983@mail.ru, zh.shynybay@aes.kz, m.sakitzhanov@aes.kz

Annotation. The article discusses the issues of increasing energy efficiency in the production of oil from cotton seeds. The relationship of the amount of oil obtained with the degree of damage to the pulp of cotton seeds is shown. Electric pulse treatment of cotton seeds is supposed to increase the amount of oil produced and reduce energy costs in the technological process. As a result of the application of the proposed technology, the process of pressing and squeezing oil from cotton seeds, reducing the duration of roasting seeds, in turn, makes it possible to reduce the extracted technical oil.

Keywords: processing lines, seeds, press process, cottonseed oil, crushed mass, cell structures, electric pulse processing.

УДК 621

"ЖЕЛ - КҮН" ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ КЕШЕНІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ҚОЙ ШАРУАШЫЛЫҒЫ НЫСАНДАРЫН ЭЛЕКТРМЕН ЖАБДЫҚТАУ

Хизат Сағынғали Алтайұлы
Сағындиқова Айгуль Журсиновна
Қазақ Ұлттық Аграрлық Зерттеу Университеті
e-mail: sagyngali.khizat@bk.ru

Аннотация: Бұл статъяда "жел - күн" энергия жүйелерінің кешенін қолдана отырып, қой шаруашылығы нысандарын электрмен жабдықтау қарастырылған. Жердің энергия ресурстарын бағалау үшін жел энергиясы мен күн потенциалдары көрсетілген.

Қазақстан Республикасының ауыл шаруашылығы мемлекет экономикасының негізгі салаларының бірі болып табылады. Бір қызығы, ол жыл сайын жалпы ұлттық табыстың 38% - ын әкеледі. Бұл ретте осы салада мемлекеттің жұмыс күшінің шамамен 16% - ы жұмыс істейді. Бұл механикаландыру мен автоматтандырудың жоғары деңгейіне байланысты. Айта кету керек, елімізде 31 000-нан астам ауылшаруашылық кәсіпорындары, сондай-ақ 32 000-ға жуық шаруа қожалықтары жұмыс істейді. Айта кету керек, Қазақстанның ауыл шаруашылығы жан басына шаққанда 967 килограмм көрсеткішпен астық дақылдарын өндіру бойынша әлемде екінші орын алады (Канада көшбасшы болып табылады, онда бұл көрсеткіш 1 168 кг құрайды). Сонымен қатар, бұл посткеңестік кеңістіктегі Республикалардың бірі, нан экспортымен айналысады. Дегенмен, Қазақстанда мал шаруашылығының өнімділігі мен өнімділігі төмен деңгейде (парадоксалды емес). Осы көрсеткіш бойынша мемлекет әлемде 142-орынды алады. Ауыл шаруашылығы министрлігінің деректері бойынша республикада 255-ке жуық ауылдық елді мекен және 9 мың шаруа қожалығы бар, олар қашықтан орналасқан және орталықтандырылған электрмен жабдықтауға қол жеткізе алмайды. Бұл мемлекеттік мақсаттағы объектілер үшін, атап айтқанда телекоммуникация құралдары үшін, ұялы байланыс жүйесі үшін проблема. Сондай-ақ электрмен жабдықтау сенімділігі бойынша бірінші санаттағы тұтынушылар үшін, атап айтқанда магистральдық құбырларға қызмет көрсетуді қамтамасыз ететін жүйелер және қозғалыс қауіпсіздігі пункттері. Мұндай ауылдардың ең көп саны Оңтүстік Қазақстан облысында-38, Қызылорда облысында - 18, Қарағанды облысында - 17 және Шығыс Қазақстан облысында - 16. Республиканың 7093 ауылының 1734-і, бұл 24,5%, Электржелілік жабдықтардың тозуы. Мұндай ауылдардың ең көп саны Батыс Қазақстан облысында-446 (94%), Қостанай облысында - 512 (77%), Шығыс Қазақстан облысында - 268 (33%) және Алматы облысында-100 (13,6%). 8 Электрмен жабдықтаудың болмауына байланысты тағы бір маңызды мәселе-ауыз сумен қамтамасыз ету. Мысалы, Маңғыстау облысында 28 мыңға жуық халқы бар 35-тен астам елді мекен бар және Оңтүстік Қазақстанда 100-ден астам фермерлік шаруашылық орталықтандырылған электрмен жабдықтау жүйесінен 7 км-ден астам қашықтықта орналасқан, 500-ден астам шаруашылық 3-5 км қашықтықта

орналасқан. ауылдық жерлердегі даму және халықтың көп болуына, қалалардағы әлеуметтік жағдайдың күрделенуіне алып келеді.

Негізгі сөздер: қой шаруашылығы, жел энергиясы, күн энергиясы, автономды дербес объект

1.1 Шаруашылық өміріне қажетті энергия

Жайылым аумағында қойлар бағылады. Орташа алғанда, әр қойға күніне шамамен 7 литр су қажет. Бұл жануарларды сумен қамтамасыз ету үшін қандай да бір су көзі қажет екенін білдіреді, біздің жағдайда бұл жақын жерде ағып жатқан өзен. Адамның қалыпты өмірін қамтамасыз ету үшін адамға ішуге, тамақ дайындауға, жууға, душқа кем дегенде 50 литр су қажет, сондықтан Grundfos sp 14A–7 шығарған ұңғымалық сорғылар қолданылады. Әрбір сорғының орнатылған қуаты 2 кВт.

Сондай-ақ, сорғылар өшірілген немесе электрмен жабдықтау болмаған жағдайда су мұнарасы орнатылды, ол артық сумен жабдықтауды жинайды, ал сумен жабдықтау деңгейі тұтыну деңгейінен төмен болған кезде су мұнарасынан су жұмсалады.

Өзен бойында жануарларды үнемі сумен қамтамасыз ету үшін шөмішті су көтергіш орнатылған, ол өзен ағысы есебінен ағады және суағарлар арқылы су жануарларға ішуге жеткізіледі.

Жайылымдарда және ашық қораларда қойды қорғауды қамтамасыз ететін және жануарлардың шаруашылықтан қашып кетуіне жол бермейтін электр қоршаулары пайдаланылады.

Электр энергиясын тұтынушылар үшін тамақтанудың үш нұсқасын қарастыруға болады: орталықтандырылмаған, орталықтандырылған және біріктірілген. Орталықтандырылмаған электрмен жабдықтауды кеңінен қолдану үшін Қазақстанда бірқатар проблемалар бар: жұмыс істеп тұрған қазандықтар, елдің әртүрлі өңірлеріндегі шамамен 5500 дереу жөндеуді талап етеді; қашықтан және қол жеткізу қиын жерлерде орналасқан көптеген фермалар мен елді мекендер орталық энергия жүйесіне қол жеткізе алмайды; тарату желілерінің апатты жай-күйі. Қой шаруашылық объектілерінің электрмен жабдықтау үшін ЖЭК дамыту бірқатар маңызды мәселелерді шешуге мүмкіндік береді: автономды энергиямен жабдықтау объектісін құру арқылы электрмен жабдықтау үшін шалғай аудандардың жел мен күн энергиясын тиімді пайдалану; ЖЭК негізінде екі немесе одан да көп энергия қондырғыларының жүйелі жұмысы есебінен өндірілетін энергияны өндіру мен тұтынудың үздіксіз процесін қамтамасыз етуге; қолданыстағы энергия қондырғыларының экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге. Энергетикада "жел-күн" кешенді энергия жүйесінің технологиясын қолдану бірқатар артықшылықтарға ие: отын үнемдеу, оны дәстүрлі тәсілмен энергия өндіру шығындарымен салыстыру кезінде аз болады; белгіленген қуаттарға үлестік капитал салу; өндірілетін қуаттың өзіндік құны; жоғарыда аталған артықшылықтардан тек бірінші көрсеткіш техникалық болып табылады. Ол ЖЭК технологиялары қолданылатын елге тәуелді емес. Басқа артықшылықтар энергетикалық жабдықтар нарығымен, отын құнымен, электр энергиясы мен жылу тарифтерімен және т. б. анықталады.

1.2 ВРТБ Кешенді энергетикалық жүйесі

Жел энергиясын қолдану. Аймақтың өзіне тән ерекшеліктерін, дәлірек айтқанда, желдің жылдамдығы мен бағытының динамикалық өзгеруін ескере отырып, сенімді электрмен жабдықтау және осы аймақта жеткілікті мөлшерде электр энергиясын өндіру үшін тек "КазЖелКуат-ВРТБ" (бұдан әрі - "ВРТБ") тік жел роторлық турбинасын орнатқан жөн деп қорытынды жасауға болады. ВРТБ-ның айрықша ерекшелігі: электр энергиясын өндірудің жел бағытының өзгеруінен тәуелсіздігі және жұмыс жылдамдығының кең ауқымы (2 м/с-тан 45 м/с-қа дейін).

Турбина жеке модульдерден қалыптасады, бұл оларды сынау арқылы бүкіл көп модульді ВРТБ жел турбинасының эксперименттік сенімді динамикалық және энергетикалық сипаттамаларын алуға мүмкіндік береді. Тік осьтік "жел турбинасы" мынадай

көрсеткіштермен сипатталады: ВРТБ Роторлық турбинасы " жел энергиясының шоғырлануын арттыратын бағыттаушы аппараттың болуы және оның турбина роторының қалақтарына оңтайлы бағыты; әртүрлі диаметрлі және биіктіктегі модульдердің аэродинамикалық ұқсастығы, қуаттардың кең класындағы турбиналарды дайындау мүмкіндігі; турбина роторларының тәуелсіз айналу мүмкіндігі және ротор мен генератор статорының қарама-қарсы бағытта айналуы және төмен жел жылдамдығы кезінде номиналды кернеуге шығу мүмкіндігі; шағын және орташа жел жылдамдығы саласындағы әрбір есептелген қуат киловаты басқа типтегі жел агрегаттарының киловатт қуатынан көп энергия өндіреді. Желдің жоғары жылдамдығы саласында бұл артықшылық одан да арта түседі. ВРТБ-жоғары санитарлық талаптарға сәйкес келетін сыртқы айналмалы бөліктері жоқ, назарды тітіркендіретін әсерлері жоқ электр энергиясының көзбен шолып тыныш және қауіпсіз көзі. Оның негізінде жел турбиналары, күн түрлендіргіштері, аккумулятор батареялары, 54 электр энергиясын түрлендіргіштер, контроллерлер мен автоматика және қорғаныс құрылғылары бар VRTB KES Кешенді энергетикалық жүйелері құрылды. Олар ауыспалы ауа райы жағдайларында тұтынушыларға тұрақты энергия өндіруді және жеткізуді қамтамасыз етеді, басқа энергия көздерімен толықтырылуы мүмкін (дизель агрегаттарымен, энергия жүйесімен қатар жұмыс істеу). Елді мекеннің ең жоғары жүктемесі қысқы кезеңдегі тәуліктің күндізгі уақытына келеді және 106 кВт-қа жетеді. Ең жоғары Қуатты жабу және кездейсоқ жүктемелердің пайда болуынан резервтеу үшін біз 10 кВт қуаттылығы бар 6 VRTB қондырғысын таңдаймыз. Қазақстан Республикасының аумағында шалғай объектілерде әр түрлі қуаттылықтағы 50-ден астам ВРТБ сәтті пайдаланылуда, жаңа көздердің құрылысы жалғасуда. Әдетте электр жүйесінің құрамы келесідей:

1. Энергия көзі. Олар бір немесе бірнеше болуы мүмкін. Олар: жұмыс істейтін сұйық отын генераторы (бензин немесе дизель электр қондырғысы); жұмыс істейтін фотоэлектрлік батарея; жел электр қондырғысы. Негізгі ретінде аталған дереккөздердің кез келгені қолданылуы мүмкін. Қалғандарын қосымша немесе резервтік ретінде пайдалануға болады.

2. Қайта зарядталатын батарея. Жаңартылатын энергия көздеріндегі жүйелерде жаңартылатын ресурстың тұрақсыздығына байланысты бұл қажетті элемент. ЖТГ-ның негізгі көзі болса да, аккумулятор батареясының болуы оны күн ішінде қысқа уақытқа қосуға және электр энергиясының үздіксіз болуына мүмкіндік береді.

3. Инвертор, яғни тұрақты токтың айнымалы түрлендіргіші. Егер 220 В кернеуге арналған айнымалы ток тұтынушылары болса немесе тұтынушылар АБ-дан едәуір қашықтықта болса (төмен кернеулі тұрақты ток сымдарындағы шығындар айтарлықтай болуы мүмкін) қажет.

4. АВ зарядтау контроллері. АВ қайта зарядтауды болдырмау үшін қажет. Өте жиі инверторға салынған.

5. Электр техникалық жабдық-қалқандар, ажыратқыштар, автоматтар, сақтандырғыштар, кабельдер, жерге қосу жүйесі және т.б.

6. Жүктеме. Электрмен жабдықтаудың автономды жүйесінде энергия тиімді аспаптарды ғана пайдалану қажет. Мысалы, қыздыру шамдарын пайдалану өте ұсынылмайды, өйткені олар флуоресцентті лампаларға қарағанда 4 есе көп ток тұтынады. Әдетте энергияны үнемдейтін құрылғылар қымбатырақ болғанымен, оларды пайдалану энергия көзі мен АВ сыйымдылығын төмендету арқылы айтарлықтай үнемдеуге әкелуі мүмкін.

Күн энергиясын қолдану. Күн энергиясын электр энергиясына түрлендіру үшін күн фотоэлектрлік батареялар (SB) қолданылады. Күн батареялары күн сәулесін тікелей электр тогына айналдырады; өндірілген электр энергиясын күн ішінде батареяларда сақтауға болады, содан кейін тұрмыстық техника мен жарықтандыру құрылғыларын қуаттандыру үшін пайдалануға болады. Қазірдің өзінде, күн панельдерінің салыстырмалы түрде жоғары құнына қарамастан, үйдегі базалық жүктемені – жарықтандыруды,

тоңазытқышты, радионы, теледидарды, электр құралын және т. б. қамтамасыз ету үшін күн батареяларын маусымдық пайдалану экономикалық жағынан тиімді. - орталықтандырылған электрмен жабдықтау желілері жоқ жерлерде.

ҚазЖелҚуат-ВРТБ Кешенді энергетикалық жүйесіндегі екінші энергия көзі күн панельдері болып табылады. Күн энергиясы-бұл 2,8-ден 3,0 мкм-ге дейінгі то диапазонындағы электромагниттік сәуле. Күн сәулесінің спектрі ультракүлгін – 59 шамамен 2 %, көрінетін – шамамен 49% және инфрақызыл – шамамен 49% сәулеленуден тұрады. Сәулелі ағынның қарқындылығының жоғарылауымен фотокелдің ЭМӨ мөлшері артып, үлкен жарықтарда шегіне жетеді. Кремний элементтеріндегі жарық энергиясын электр энергиясына түрлендіру тиімділігі пластинаға түсетін жарық ағынының қуатының шамамен 16-20% құрайды. Қазіргі заманғы фотоэлементтердегі ұзын толқынды инфрақызыл сәуле электр энергиясын шығармайды, тек жартылай өткізгішті қыздырады. Элемент бір градусқа 25 °С-тан жоғары қызған кезде ол 0,002 вольт кернеуінде жоғалады, яғни 0,4 %/градус. Жарқын шуақты күнде элементтер 60-70 °С дейін қызады, әрқайсысы 0,07-0,09 вольтты жоғалтады. Пәк-ні есептік деңгейде ұстап тұру үшін элементтерді сумен немесе ауамен салқындату қолданылады. Жауын, қар, шаң түріндегі жауын-шашын сонымен қатар қызмет көрсететін персоналдың қажеттілігін анықтайтын Фото түрлендіргіштердің тиімділігін төмендетеді. Күн батареяларымен күнделікті энергия өндірісі үнемі өзгеріп отырады, түске дейін, таңертең және кешке максималды мәнге жетеді. Күн элементінің тиімділігі атмосфераның оптикалық тығыздығына және қараңғыланатын заттардың болуына байланысты. Ауыспалы бұлттылық жағдайында күн элементімен дамитын қуат тұрақсыз болады, ал күннен энергия алу кестесі желден энергия алу кестесіне ұқсайды.

Қорытынды. Бұл жұмыста жаңартылатын энергетиканы дамыту перспективалары көрсетілген, ҚР ЖЭС Кешенді энергетикалық жүйесін пайдалана отырып, автономды нысандарды электрмен жабдықтау нұсқасы қарастырылды. Жұмыста орындалған жел генераторларының негізгі түрлерін зерттеу желдердің көпвекторлы раушанымен сипатталатын Қазақстан Республикасының желдері үшін тік айналу осі бар жел генераторларын пайдалану неғұрлым өзекті екенін көрсетті. Сондықтан таңдалған объект үшін электрмен жабдықтаудың ең тиімді әдісі - ВРТБ интеграцияланған энергетикалық жүйесі. Бұл жүйе толығымен автономды. Тік-осьтік жел генераторы, сондай-ақ кешенді жүйеде орналасқан күн фотоэлектрлік модульдер шығаратын Энергия тұтынушыларды электрмен жабдықтауға және резервтік қуатты қамтамасыз ететін батареяларды зарядтауға жұмсалады. Жақын елді мекеннен желі мен қосалқы станция құрылысының жоғарыда келтірілген есебі орталықтандырылған желіден Электрмен жабдықтаудың бұл әдісі тиімсіз екенін көрсетті. Осылайша, жаңартылатын энергия көздерін кешенді пайдалану қой шаруашылығын электрмен жабдықтау мәселесін өте тиімді және перспективалы шешім деп қорытынды жасалады.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Оразбекова А.К., Лукутин Б.В. Состояние электроснабжения удаленных объектов агропромышленного комплекса в регионах Казахстана и перспектива применения ВИЭ // Инновации в науке: научный журнал. – № 11(87). – Новосибирск., Изд. АНС «СибАК», 2018. – С. 10-13.
2. Гессен В.Ю., Достояние Казахстана – М.: «Колос», 1975.
3. Болотов А. В. – академик, ген. Директор ТОО «Энергомаш», профессор АУЭС. «Энергия Великой степи «КазЖелҚуат- ВРТБ» - энергия для всех».Справка.
4. Болотов А.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии: Учебное пособие АУЭС. Алматы, 2011.-79с.
4. Болотов А. В.– «Одним из приоритетных направлений развития электроэнергетики и решения экологических проблем Казахстана является использование возобновляемых энергетических ресурсов». Журнал «Вестник энергетика союза инженеров – энергетиков Республики Казахстан» Август 2012 № 3(42). Статья:

5. Болотов А. В. – академик, ген. Директор ТОО «Энергомаш», профессор АУЭС. «Энергия Великой степи «КазЖелКуат- ВРТБ» - энергия для всех».Справка. 6. Ветроэнергетика в Казахстане (архив проекта ПРООН/ГЕФ). База данных по ветропотенциалу. <http://www.windblue.kz>

УДК 664.72:621.365.5

АСТЫҚТЫ КЕПТІРУ ПРОЦЕСІН ЖЕТІЛДІРУ

Серік Айзат Мұратқызы
Сагиндыкова Айгул Журсиновна PhD., қауым.профессор
Қазақ Ұлттық Аграрлық Зерттеу Университеті
e-mail: aizatserik57@gmail.com

Аннотация: Астықты, астық өнімдерін және басқа да дақылдарды сапалы кептіру алынған өнімді өңдеудің ажырамас кезеңі болып табылады. Сақтау кезінде астықтың тұрақты жай-күйі бірінші кезекте кептіру арқылы қамтамасыз етіледі. Азық-түлік дәндерінен немесе тұқымдардан бос ылғал алынған жағдайда ғана өнім бірнеше ай бойы жақсы күйде қалуы мүмкін. Жидектер мен жемістер, өз кезегінде, ылғалдың одан да көп мөлшерін қамтиды (80% дейін).

Осы мақсаттар үшін арнайы жасалған элеваторларда сақталатын астық табиғи өнім болып табылады, оның құрамында ылғалдың белгілі бір мөлшері бар. Сонымен қатар, астық оны қоршаған ортадан сіңіре алады. Мысалы, тек 15% ылғалдылыққа дейін кептірілген бидай ұзақ уақыт сақтауға жарамсыз. Астықтың қолайлы ылғалдылығы оны болашақта пайдалануға және сатуға дейінгі сақтау ұзақтығына байланысты. 6 ай мерзімге сақтау үшін бидайдың ылғалдылығы - 14%, ал бір жыл мерзімге-13% болуы керек. Жыл сайын астықты еліміздің оңтүстік аймақтарында да кептіруге тура келеді. Сондықтан бұл процесті толығымен ойластырып, мүмкіндігінше оңтайландыру қажет.

Негізгі сөздер: астық кептіру, астықты кептірудің арнайы жолдар, индукциялық қыздырғыш.

Астықты заманауи кептіру оның сандық және сапалық сақталуын қамтамасыз етудің негізгі шарттарының бірі болып табылады. Кептіру технологиясын жетілдіру астықтың кептіру объектісі ретіндегі қасиеттерін зерттеуден кептіру әдістерін таңдауға, оңтайлы режимдерді негіздеуге және астық кептіргіштердің ұтымды құрылымдарын құруға дейін жүргізілуі керек. Дұрыс ұйымдастырылған кептіру бұл процесті тездетуге мүмкіндік береді, сонымен қатар астық массасының ылғалдылығы мен жетілу дәрежесін теңестіруге, астықтың сыртқы түрі мен технологиялық қасиеттерін жақсартуға көмектеседі.

Астықты кептіру- бұл астықтың ылғалдылығын төмендетудің тәсілі ғана емес, сонымен қатар дұрыс таңдалған режимде астықтың физиологиялық пісуі жүреді, бұл оның сапасын жақсартады, зиянкестерді жояды.

Кептірудің әртүрлі әдістерін салыстыра отырып, дымқыл материалдарды кептіру тек жылу техникасы ғана емес, сонымен қатар ең алдымен технологиялық процесс деп айтуға болады. Астықты кептірудің негізгі мақсаты-жақсы қасиеттері бар астықты алу, сондықтан белгілі бір әдісті таңдау осы материалдың қасиеттерімен және оңтайлы кептіру режимдерімен анықталады.

Үлкен дәнді дақылдарды сақтау кезінде шығындарды азайту мәселесін шешу астық кептіру қондырғыларының жетілдірілген дизайнын жасаумен тығыз байланысты. Астықты кептіру технологиясы негізінен үш әдісті қолдануға негізделген. Бірінші әдіс астықты жылытуды, тығыз белсенді емес қабаттағы ылғалдың булануын қамтамасыз етеді. Екінші әдіс бойынша, астықты құлаған қабатта жылыту (жаңбыр түрінде), ылғалдың булануы да

тығыз отырықшы қабатта болады. Үшінші әдіс бойынша-тығыз белсенді емес қабатта да, сұйылтылған (қайнаған) қабатта да, яғни аралас қабатта да астықты жылыту және ылғалдың булануы. Бірінші әдісті қолдана отырып, астықты кептіру шахта түріндегі астық кептіргіштерде жүзеге асырылады (ДСП-24, ДСП-24сн, ДСП-32, ДСП-32 ОТ, СЗШ-16, А1 ДСП - 50, А1-УЗМ). Бұл әдіс Қазақстанда да, шетелде де кең таралған.

Шахта кептіргіштерінің негізгі кемшіліктері:

1) кептіру алдында астықты жеңіл және ірі қоспалардан міндетті түрде тазарту. Бұл талапты сақтамау шахталардың бітелуі есебінен астық кептіргіштің өнімділігінің төмендеуіне және шахталарда астықтың жануына әкеледі. Шикі астықты тазалағаннан кейін алынған қалдықтар дереу кептіруді қажет етеді;

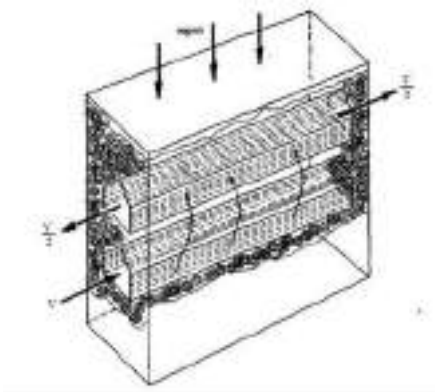
2) бір кептіру циклі үшін астық ылғалдылығын 6% - дан астам төмендету мүмкін еместігі. Сондықтан ылғалдылығы 20% - дан асатын масақты дақылдар астығын 2 және одан да көп рет кептіруге жіберу қажет;

3) бір мезгілде ылғалдылығы әртүрлі астықты кептірудің мүмкін еместігі, бұл қажеттілік туғызады ылғалдылығы бойынша астық партияларын қалыптастыру;

4) бұрғыш қораптардан шыққан кезде астық қабаты арқылы 0,5-ке дейін немесе 5 м/с-қа дейін кептіру агенті мен ауаны сүзу жылдамдығын шектеу, 0,5 м/с-тан астам жылдамдықты арттыру бұрғыш қораптар арқылы шахталардан астықты шығаруға әкеледі.

Кез келген құрылымдағы астық кептіргіштерде кептіру процесін мыналарға байланысты күшейтуге болады: астық қабаты арқылы кептіру агентінің сүзу жылдамдығын арттыру; үрленетін астық қабатының қалыңдығын азайту; беткі ылғалды буландырғаннан кейін астықтың төселуін қолдану; астық қабатын жақсарту

Кептіру агентінің (ауаның) сүзу жылдамдығын арттыру мәселесін шығару қораптарының көлденең қимасын ұлғайту және олардың санын көбейту арқылы шешуге болады, яғни біліктердің қолданыстағы дизайнын өзгерту қажет 1-сурет. Шығару қораптарының көлденең қимасын жеткізу қораптарымен салыстырғанда екі есе көбейтуге болады, осылайша пайдаланылған кептіру агенті қазіргі астық кептіргіштерде ойлағандай, қораптың екі бөлімі арқылы емес, қораптың екі бөлімі арқылы шығады.



1-сурет. Астық қабаты арқылы кептіру агентінің сүзу жылдамдығын арттыру әдісі

Индукциялық қыздыру технологиялық жабдықты (құбырлар, резервуарлар және т.б.) жылыту, сұйықтықтарды жылыту, жабындар мен материалдарды (мысалы, ағаш) кептіру үшін қолданылады. Индукциялық қыздыру қондырғыларының маңызды параметрі жиілік болып табылады. Әрбір процесс үшін (беткі қатаю, қыздыру) ең жақсы технологиялық және экономикалық көрсеткіштерді қамтамасыз ететін оңтайлы жиілік диапазоны бар. Индукциялық қыздыру үшін 50 Гц-тен 5 МГц-ке дейінгі жиіліктер қолданылады.

Индукциялық қыздырудың артықшылықтары келесідей:

- электр энергиясын тікелей қыздыру элементіне беру материалдарды тікелей қыздыруға мүмкіндік береді, осылайша қыздыру жылдамдығын арттырады.

- Электр энергиясын тікелей қыздыру элементіне беру байланыс құрылғыларын қажет етпейді. Бұл автоматтандырылған сызықтық өндіріс үшін пайдалы.

- Қыздыру материалы диэлектрик болған кезде, мысалы, астық, содан кейін қуат қыздыру материалының бүкіл көлеміне біркелкі бөлінеді. Демек, бұл индукциялық әдіс астықты тез қыздыруға мүмкіндік береді.

- Индукциялық қыздыру көп жағдайда өнімділікті арттырып, еңбек жағдайларын жақсартып алады. Индукциялық құрылғыны бастапқы орам (индуктор) айнымалы ток көзіне қосылған кезде трансформатордың бір түрі ретінде қарастыруға болады, ал қыздыру материалы қайталама орам ретінде қызмет етеді.

Астық екі маңызды принципке негізделген әртүрлі тәсілдермен кептіріледі:

1) материалдан оның агрегаттық күйін өзгертпестен ылғалды кетіру, яғни сұйықтық түрінде;

2) материалдан оның агрегаттық күйін өзгерту арқылы ылғалды жою, яғни буға айналдыру жолымен.

Ылғалды кетірудің бірінші әдісі-сорбциялық және механикалық. Сорбциялық тәсіл ылғалды дәннің гигроскопиялық заттармен (натрий сульфаты, белсендірілген көмір, құрғақ астық және т.б.) тікелей жанасуы арқылы жүзеге асырылады. Бұл әдіспен дымқыл материал ылғал сіңіргішпен араластырылып, белгілі бір уақытқа сақталады. Дәл осындай принцип дымқыл астықты сол дақылдың құрғақ дәнімен араластырғанда қолданылады. Бұл әдіспен ылғалдың бір бөлігі ылғалды астықтан аз ылғалдылыққа ауысады, ал бүкіл астық массасының ылғалдылығы теңестіріледі[34].

Механикалық сусыздандыру -бұл бос ылғалды кетірудің әдісі. Бұл жағдайда бос ылғал ауырлық күші мен центрифугалық күшке байланысты жойылады. Агрегаттық күйдің өзгеруімен ылғалды кетірудің екінші әдісі-жылу кептіру. Бұл әдіс судың агрегаттық күйін өзгерту, оны сұйық күйден газ тәрізді күйге айналдыру үшін жылу шығындарымен байланысты.

Индукциялық қыздыру мен дәстүрлі кептіру әдістерінің басты айырмашылығы-көлемді қыздыру. Жылу өнімге (материалға) бетінен енбейді, ол бірден бүкіл көлемде қалыптасады, бұл процесс энергияны аз тұтынатын астықты тиімді кептіруге мүмкіндік береді. Кептірілген материалдағы Индукциялық қыздыру процесінде ылғалдың біркелкі таралуы жүреді. Индукция жылытқыштан материалға жылу беруді қамтымайды. Кептірудің басқа әдістерін қолдану ауаны жылытуды қажет етсе, жылуды ыстық ауадан материалға беру керек.

Қорытынды:

Жоғарыда келтірілген материалды қорытындылай келе, белгілі бір қорытынды жасауға болады:

1) Астық кептіру процесін астық қабаты арқылы кептіру агентінің сұзу жылдамдығын 2 есе немесе одан да көп арттыру арқылы күшейтуге болады;

2) Астықты кептіру процесін біріктірілген қабатта Астықты кептіру технологиясын қолдану арқылы күшейтуге болады.

Пайдаланылған әдебиеттер:

1. Журавлев а.п. біріктірілген қабаттағы Астықты кептіру технологиясы //Нан өнімдері. - 2012. - № 7. – Б.42-43.
2. Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігі // Нан өнімдері. 2005. № 4. Б.60-61.
3. Сагындикова Айгул Журсиновна, Усовершенствование процесса сушки зерна посредством индукционных нагревателей
- 4.Баум А., 1983. Сушка зерна. М.: Колос.
- 5.Гинзбург А., 1973. Основы теории и технологии сушки пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность.

ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ В СИСТЕМЕ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Шерьязов С.К.¹, Тергемес Т.К.², Джаканова Г.Т.²

¹ Южно-Уральский государственный аграрный университет Челябинск, (Россия), e-mail: sakenu@yandex.ru

² Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева. e-mail: k.tergemes@au.es.kz, ashimova.gaukhar@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается электроснабжение объектов сельского хозяйства от выбранной ветроустановки малой мощности из нескольких чисел ветроэнергетических станции малой мощности от 3-х и до 100 кВт. При этом возможно объединение нескольких ветростанций для снижения затрат на передачу электроэнергии. Рассчитанные и выбранные ветроустановки в составе ВЭС могут располагаться на одной территории вблизи друг от друга.

Ключевые слова: ветроэнергетические установки, возобновляемые источники энергии, распределенная инерция, графики нагрузки.

В системе сельского электроснабжения наибольшие затраты приходится на передачу электроэнергии. При этом большая протяженность сельских электрических сетей и сверхнормативный износ приводит к росту перерывов в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей (СХП) до 75 часов в год, ухудшению качества электроэнергии и росту потери электроэнергии до 25% [1]. Наибольшие потери электроэнергии, и соответственно рост удельных затрат на электроснабжение наблюдается для СХП малой мощности, удаленных от централизованной системы электроснабжения.

Выше изложенные обстоятельства требуют совершенствование системы электроснабжения СХП на основе распределенной генерации (РГ) [2]. Малые электростанции можно подключить непосредственно к распределительным устройствам потребителей.

Одним из направлений развития РГ является использование возобновляемых источников энергии, позволяющие экономить органическое топливо не только при выработке электроэнергии, но и при передаче ее по электрическим сетям. В настоящее время, из всех направлений возобновляемой энергетики, ветроэнергетические установки (ВЭУ) являются наиболее конкурентоспособными с традиционными источниками электроэнергии [3].

Анализ стоимостных показателей существующих ВЭУ позволил получить зависимости удельной стоимости ВЭУ от установленной ее мощности (рис. 1) [4].

Анализ приведенных данных показывает, что для эффективного электроснабжения лучше использовать несколько ВЭУ, чем одну большой мощности. Так для СХП с максимальной нагрузкой до 500 кВт экономически выгоднее использовать несколько ВЭУ малой мощности до 50 кВт, в составе ветроэлектрической станции (ВЭС).

Вырабатываемая электроэнергия ВЭУ в составе ВЭС зависит от режима работы электроприемников потребителя, характеризующегося графиком электрических нагрузок. В свою очередь, режим поступления ветровой энергии и соответственно количество вырабатываемой энергии от ВЭС будет носить случайный характер. Тогда, для определения установленной мощности ВЭС необходимо согласовывать суточный график электрических нагрузок СХП с режимом поступления ветрового потока местности.

Важным является выбор мощности ВЭС. Для этого необходимо знать суточный график электрической нагрузки в системе электроснабжения. В нашем случае следует знать график

электрической нагрузки СХП, который должен иметь свои характерные показатели, как любой график нагрузки.

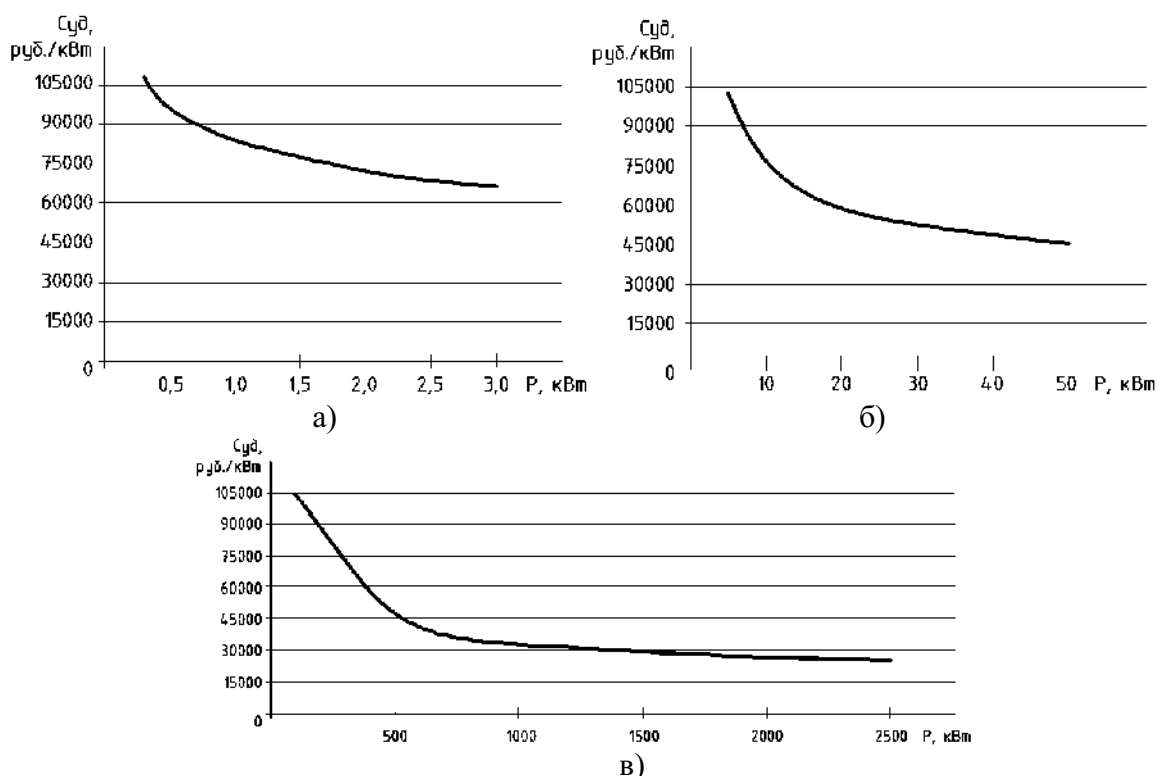


Рисунок 1 – Удельная стоимость ВЭУ:

а) ВЭУ до 3 кВт; б) ВЭУ от 3 до 50кВт; в) ВЭУ более 50 кВт.

В качестве примера на рис. 2 приведен типовой график энергосистемы, где базовая часть графика характеризуется минимальной мощностью ($P_{мин}$). Тогда для полного использования вырабатываемой электроэнергии от ВЭУ можно принять мощность ВЭС, равной базовой части графика электрической нагрузки.



Рис. 2 – Типовой суточный график нагрузки энергосистемы

Для эффективного электроснабжения СХП от ВЭС необходимо минимизировать затраты как на выработку, так и на передачу электроэнергии

$$C_{ВЭС} = C_{выр} + C_{пер} \quad (1)$$

Затраты на выработку электрической энергии от ВЭС можно представить как

$$C_{\text{вып}} = \frac{a_1 \cdot K_{\text{уд.вэу1}}}{W_{\text{уд.1}}} x_1 + \frac{a_2 \cdot K_{\text{уд.вэу2}}}{W_{\text{уд.2}}} x_2 + \dots + \frac{a_i \cdot K_{\text{уд.вэуi}}}{W_{\text{уд.i}}} x_i \Rightarrow \min, \quad (2)$$

где: x_i – количество i -ой ВЭУ в составе ВЭС; $W_{\text{уд.вэуi}}$ – удельная выработка электроэнергии от i -ой ВЭУ, кВт·ч/м²; a – суммарные ежегодные отчисления на содержание ВЭУ; $K_{\text{уд.вэуi}}$ – удельные капиталовложения в i -тую ВЭУ, руб/м².

Решение целевой функции позволяет определить количество и технические показатели ВЭУ в зависимости от ветровых условий местности и характеристики потребителя при следующих ограничениях:

$$\begin{cases} P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + \dots + P_i \cdot x_i \leq P_{\text{нагр}}; \\ 100d_1^2 \cdot x_1 + 100d_2^2 \cdot x_2 + \dots + 100d_i^2 \cdot x_i \leq S; \\ \frac{\pi}{4} d_1^2 \cdot x_1 \cdot W_{\text{уд.вэу1}} + \frac{\pi}{4} d_2^2 \cdot x_2 \cdot W_{\text{уд.вэу2}} + \dots + \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot x_i \cdot W_{\text{уд.вэуi}} \leq 0,01 \cdot S \cdot W_{\text{уд}} \end{cases}, \quad (3)$$

где: P_i – мощность рассматриваемого i -го типа ВЭУ, кВт; d – диаметр ветроколеса i -ой ВЭУ, м; $P_{\text{нагр}}$ – заданная электрическая нагрузка, кВт; S – площадь имеющейся территории, м²; $W_{\text{уд}}$ – ветроэнергетический ресурс с удельной площади занимаемой территории, кВт·ч/м².

При заданной нагрузке равной расчетной (максимальный получасовой пик) следует ожидать излишки вырабатываемой электроэнергии. При этом стоимость электроэнергии от ВЭС следует ожидать высокой [5].

Количество ВЭУ (x) с заданным диаметром ветроколеса ($d_{\text{вк}}$) зависит от площади S территории занимаемой для строительства ВЭС. При этом расстояние между ВЭУ должно быть не менее ($10 d_{\text{вк}}$), а ожидаемая выработка от ВЭС ограничивается ветроэнергетическим ресурсом местности на заданной площади территории [6].

Для ВЭС, представляющей собой несколько ВЭУ объединенных в единую сеть, важна передача электроэнергии с минимальными затратами. Для этого необходимо определить затраты на передачу электроэнергии от ВЭУ в составе ВЭС

$$C_{\text{пер}} = \frac{a \cdot K_{\text{пер}}}{W_{\text{вэс}} - \Delta W} \Rightarrow \min, \quad (4)$$

где: ΔW – потери электроэнергии при передаче, кВт·ч.

Электроснабжение СХП предлагается осуществлять по общей линии. Для этого предлагается в центре электрических нагрузок ВЭС установить необходимое электрооборудование для приема электроэнергии от ВЭУ и преобразования с целью передачи ее потребителям.

Расстояния от ВЭУ до центра ВЭС (ΣL_1), и от центра до потребителя (ΣL_2) с учетом охранной зоны в 300 м можно определить выражениями [6]

$$\Sigma L_1 = 3,3x^{1,5} d_{\text{вк}}; \quad (5)$$

$$\Sigma L_2 = 2,86x^{0,7} d_{\text{вк}} + 300. \quad (6)$$

Суммарная длина линии для передачи электроэнергии определяет необходимые капиталовложения для ее строительства и ежегодные затраты на ее обслуживание. Решение целевой функции по минимизации затрат на передачу электроэнергии позволит определить оптимальное количество ВЭУ с заданным $d_{\text{вк}}$.

Минимальная себестоимость передачи электроэнергии от ветропарка, зависит от количества и мощности единичной ВЭУ, величины напряжения электрической сети.

Приводим результаты исследования параметров ВП в условиях Челябинской области Россия в табл.1.

Анализ данных показывают, что экономически целесообразно в первом ветроэнергетическом районе ВЭУ мощностью 50 кВт, во втором - ВЭУ мощностью 30 кВт, в третьем – ВЭУ мощностью 20 кВт. При потребной мощности 5 кВт использование двух ВЭУ мощностью 3 кВт экономически выгоднее по сравнению с ВЭУ, мощностью 5 кВт.

Таблица 1 – Основные показатели ВП в условиях Челябинской области

Ветроэнергетический район	1	2	3
Рабочая скорость, м/с	12	8,5	7
Диаметр ветроколеса, м	13	18	18
Мощность генератора, кВт	50	30	20
Оптимальное кол-во ВЭУ в составе одного ВП при передаче электроэнергии напряжением 0,4 кВ	4	5	6
Оптимальное кол-во ВЭУ в составе одного ВП при передаче электроэнергии напряжением 6-10 кВ	8	10	12

Таким образом, для эффективного электроснабжения СХП могут быть использованы ветроэнергетические установки малой мощности в системе распределенной генерации. При этом в зависимости от заданной величины электрической нагрузки и ряда местных условий могут быть выбрано несколько ВЭУ. Тогда для снижения затрат на передачу электроэнергии, ВЭУ могут быть объединены сначала в составе ветропарка, а для снижения затрат на выработку возможно объединение несколько ветропарков в составе ветроэлектрической станции.

Предлагаемые ветропарки в составе ВЭС могут располагаться на одной территории, вблизи друг от друга или на определенном расстоянии в зависимости от наличия территории для их строительства. При этом каждый ВП имеет возможность самостоятельно передавать электроэнергию потребителю или в магистральный участок электрической сети.

Список литературы

1. Черкасова Н.И. Анализ состояния сельских электрических сетей 10 кВ в свете мониторинга отказов // Ползуновский вестник. 2012. №4. С.49-54.
2. Моисеев Л.Л., Сливной В.Н. Распределенная генерация энергии – фактор повышения энергетической безопасности региона // Ползуновский вестник. 2004. №1. С.226-229.
3. Развитие технологий ветроэнергетики в мире. Информационная справка. Октябрь 2013 [Электронный ресурс] // Аналитический центр при правительстве РФ: сайт. <http://ac.gov.ru/publications> (дата обращения: 16.06.2014).
4. Шерьязов С.К., Шелубаев М.В. Техничко-экономические показатели ветропарка в условиях Челябинской области / Материалы ЛП международной научно-технической конференции ЧГАА. Ч. III. Челябинск: ЧГАА, 2014. С. 331-337.
5. Шерьязов С.К. Возобновляемые источники в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей: монография. Челябинск: ЧГАУ, 2008. 300 с.
6. Шерьязов С.К., Шелубаев М.В. Разработка метода определения параметров ветропарка // Вестник КрасГАУ. Красноярск, 2014. Вып. 10. С. 182-187.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ «ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА»	3
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТА РСМ-ИНТЕНСИФИКАТОР НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ ИЗ МЕДНЫХ ГРАНУЛ И МЕДНОЙ СТРУЖКИ Ахметова Ирина Гареевна, Соловьева Ольга Викторовна, Соловьев Сергей Анатольевич, Мурзаев Александр Сергеевич, Шакурова Розалина Зуфаровна, Гилязов Альберт Ильдарович	3
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, СОДЕРЖАЩИЕСЯ В ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ Бадретдинова Гузель Рамилевна, Дмитриев Андрей Владимирович, Гумерова Гузель Хайдаровна	15
ВОЗМОЖНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ В РАБОТУ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЖИЛИЩНО- КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА Варганова Ангелина Михайловна, Закиров Ринат Нургалиевич	22
РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ Г. КАЗАНЬ Вьюгова Ксения Дмитриевна, Зверева Эльвира Рафиковна	28
К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИЙ Гатауллина И.М.	34
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФА В МИРОВОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ Дремичева Елена Сергеевна, Зверева Эльвира Рафиковна, Эминов Абдысердар	38
ПРОБЛЕМА НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА В СИСТЕМЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ Дятлова Д.В., Подыганова К.Е., Савельева Д.С.	42
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ Зверев Л. О., Злобин В. Г., Зверева Э. Р., Липатов Д. В.	46
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СТЕНОК ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ Кондратьев Александр Евгеньевич	50
ВНЕДРЕНИЕ В РАБОТУ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПАССИВНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ Майоров Егор Сергеевич	55
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕХНИЧЕСКУЮ ВОДУ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НАКИПИ НА ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ КОТЕЛЬНЫХ И ТЕПЛООБМЕННЫХ АГРЕГАТОВ Мехтиев А.Д., Сарсикеев Е.Ж., Герассименко Т.С., Нурабай Ж.Б	63

КОГЕНЕРАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ Онгар Булбул, Мергалимова Алмагуль Каирбергеновна, Смагулова Гулдана Кашкинбаевна, Нурмадиева Эльмира Амиржановна	72
ҚАТТЫ ОТЫННАН ЖАНҒЫШ ГАЗ АЛУДЫ ЗЕРТТЕУГЕ АРНАЛҒАН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ҚОНДЫРҒЫ М.Б. Сатымғалиева, Г.Ә. Әкімбек, Б.К. Алияров, М.С. Коробков	81
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ Сафаров И.М., Баймурзин А.Х	92
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНОВКИ ПОРИСТЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПРОДУВКЕ ВОЗДУХОМ Соловьева Ольга Викторовна, Соловьев Сергей Анатольевич, Мурзаев Александр Сергеевич, Шакурова Розалина Зуфаровна, Гилязов Альберт Ильдарович, Голубев Ярослав Павлович	97
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТИПА И РАЗМЕРА ЯЧЕЕК ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ПЕН НА ВЕЛИЧИНУ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ Соловьева Ольга Викторовна, Соловьев Сергей Анатольевич, Мурзаев Александр Сергеевич, Шакурова Розалина Зуфаровна, Гилязов Альберт Ильдарович, Голубев Ярослав Павлович	106
ВНЕДРЕНИЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В СХЕМУ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ Сорокин К.С., Гаврилин В.В	115
MATHEMATICAL MODELING OF THE TURBULENT FLOW OF A VISCOUS INCOMPRESSIBLE FLUID AROUND A CYLINDER Tanasheva N.K., Bakhtybekova A.R., Botpaev N.K., Kabylgani Ch.K.	120
PILOT TESTS OF A WIND POWER PLANT WITH SAIL BLADES UNDER LOW WIND CONDITIONS Tleubergenova A.Zh., Tanasheva N.K., Shaimerdenova K.M., Kyzdarbekova Sh.S.	126
ПОЛУЧЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА ИЗ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ ФРАКЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ Туманова А.А., Идрисова К.С., Колдасова Г.А., Октябр К.А.	131
ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНДЕНСАТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ТЭЦ М.Д. Шавдинова	138
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ТРУБОПРОВОДНОЙ СЕТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ У.Р. Шайхуллин, Р.С. Зарипова	142
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ РЕМОНТ КОМПЕНСАТОРОВ ТРУБОПРОВОДОВ ОТБОРОВ ПАРА СЕТЕВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ТУРБОУСТАНОВОК Т110/120-130 НА НЧ ТЭЦ Р.Т.Шакирзянов, А.Г.Гараев	146

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ	150
Эйтерник А. Ю., Борисова О. В.	
СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»	154
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЫ ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ	154
Дюсембаева А.Н., Танашева Н.К., Тусыпбаева А.С.	
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЗА СЧЕТ УНИФИКАЦИИ ИХ ПАРАМЕТРОВ	157
А.Д. Таслимов	
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛЭП КАЗАХСТАНА	167
Трофимов Г. Г., Тохтибакиев К. К., Саухимов А.А., Гунин А.М.	
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ УРЗА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 110/35/10 КВ	178
Д.Д. Борисов, О.В.Игнатов, А.А. Исламов, Г.Д.Мусапирова	
ҚОЛДАНЫСТАҒЫ КЕРНЕУІ 110/35/10 КВ ҚОСАЛҚЫ СТАНЦИЯНЫҢ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫН КЕЗЕҢ-КЕЗЕҢІМЕН ЖАҢҒЫРТУ БОЙЫНША ТЕХНИКАЛЫҚ ШЕШІМ	185
С.С. Кенжебеков, С.А. Минин, Б.Б. Естібаев, Г.Д. Мусапирва	
НЕСТАНДАРТНЫЕ МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА РЕКОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ	192
А.С. Исламов, А.Т. Сулейменов, Г.Д. Мусапирова, А. Рахметова	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ЦИЛИНДРА В ПОТОКЕ ВОЗДУХА И ПРИМЕНЕНИЕ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ	197
А.Н. Дюсембаева, Н.К.Танашева, Б.Р. Нусупбеков, А.С. Тусыпбаева	
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 6-10КВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	204
М. Е. Волгин, Е. М. Волгина, В.П. Марковский, Н.А. Дубинец	
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГИБКОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4 КВ Г. АТЫРАУ	215
Кенесов Е.К., Михалкова Е.Г., Карибаев Т.Д.	
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	225
Д.И. Семин, Р.Р. Гибадуллин, В.А. Гаврилов	

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	233
Н.Н.Туйтанова, Ф.Ф.Ахметзянова, В.А. Гаврилов	
РАЗВИТИЕ SMART GRID ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГОСФЕРЕ	240
А.С. Хайруллин, В.А. Гаврилов	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЯ	247
И.А.Шкарупа, В.А.Гаврилов	
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЕМ КАК СРЕДСТВО КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ	253
И.И. Цицонь, В.А.Гаврилов	
СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЖИМНОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ	260
Трофимов Г.Г., Саухимов А.А., Живаева О.П., Васильев Д.С.	
ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ КОММУТАЦИОННЫХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ АППАРАТОВ	271
Е.С. Севастьянов, Д.М. Хаткевич, Р.Р. Галиев, К.А. Долотовских, И.С. Антипанова	
МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМНОЙ НАДЕЖНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА РК	277
Тохтибакиев К. К., Гунин А.М., Бектимиров А.Т., Ильясов А.З.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА ONI В ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАЩИТ ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ В ОПАСНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЗОНЫ	289
К.В. Николаев, В.А. Гаврилов	
ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	294
Д.С.Жүнісбеков, Е.К.Умбеткулов	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПИКОВЫХ ЧАСОВ ГАРАНТИРУЮЩИХ ПОСТАВЩИКОВ, ВХОДЯЩИХ В РЕЕСТР АО «АТС»	301
С.Р.Саитов, Б.Р.Карачурин, М.В.Сидоров	
ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА КАК АЛЬТЕРНАТИВА КЛАССИЧЕСКОЙ ВЫРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	311
Чепайкин М. О., Шириев Р. Р.	
РАЗРАБОТКА СУТОЧНОГО БАЛАНСА ЕЭС КАЗАХСТАНА И ОЭС ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КВАЗИДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	317
А.Б. Аман, А.Т. Бектимиров, А.А. Саухимов, Ж.Б. Сагындыкова	
ОБОСНОВАНИЕ ЗАМЕНЫ ГИДРОСИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РАМКАХ МОДЕРНИЗАЦИИ КАСКАДА ГЭС НА РЕКЕ БОЛЬШАЯ АЛМАТИНКА	327

Е.Г. Михалкова, А.А. Мурадилова ОЦЕНКА СОЛНЕЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ СЭС В ЮЖНОМ РЕГИОНЕ КАЗАХСТАНА	337
Михалкова Е.Г., Орлеанский С.А. О ВЫБОРЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ	346
Жусипов С.С., Чныбаева Д. М. ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ФОТО- ДИЗЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИЭ	353
Ж.Д.Толеубеков, Ы.М. Аутбаев, Е.Т. Әмитов ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ АТОМ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫН ЖОБАЛАУ, САЛУ ЖӘНЕ ПАЙДАЛАНУ–УАҚЫТ ТАЛАБЫ	364
Г. Х. Хожин, Т. Н Агимов АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	370
Рахмонов Икромжон Усмонович БАҒДАРЛАМА БОЙЫНША КӨП ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ АСИНХРОНДЫ ЭЛЕКТРЖЕТЕГІНІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ	376
А.Н. Бестерекова, К.Т Тергемес ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДАННЫХ ОБ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ	382
А.А. Дронина, Р.С. Зарипова ОПТИМАЛЬНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ БЛОКА ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОРА В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ	387
А. Альзаккар, Н.П. Местников СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ЗАРЯДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ	395
Кинёв Данил Вячеславович, Лобанов Данил Евгеньевич, Матвеев Александр Сергеевич, Афиногентов Денис Александрович ВЕЛОТРЕНАЖЕРЫ-ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ	401
А.А. Никифорович, Р.С. Зарипова	
СЕКЦИЯ «РАДИОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ»	405
БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ҚАБЫЛДАУ САПАСЫН БАҒАЛАУ ӘДІСІ	405
Хизирова Мухаббат Абдисаттаровна, Байдолла Ернар Жұмабекұлы ЖОҒАРЫ ӨНІМДІ ДЕРЕКТЕР ОРТАЛЫҚТАРЫНДАҒЫ ФОТОНДЫ КОММУТАЦИЯ	416
Берден Абылайхан Берденұлы, Чежимбаева Катипа Сламбаевна	

РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ДЕМОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА И ОПРОСА ОТ ФОТОННОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ	427
В. Вуйчик, А.У. Калижанова, А.Х. Козбакова, А.А. АхсUTOва	
АДАПТИВТІ ҮЙЛЕСТІРУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫНЫҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ӨЗГЕРЕТІН КЕДЕРГІСІ БАР КЕҢ ЖОЛАҚТЫ РАДИОТЕХНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ҮШІН КЕШЕНДІ КРИТЕРИЙ	434
Ержан Асел Ануарқызы, Бойкачев Павел Валериевич, Накисбекова Балауса Рыскожаевна	
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ТЕЛЕТРАФИКА ДЛЯ ПРЯМОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКОЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЯХ	438
Жуманов Еламан Ержанұлы, Кумызбаева Сауле Касымбековна, Коньрова Мадина Жанатовна, Кадылбекқызы Эльвира	
РАЗРАБОТКА МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	445
Жунусов Аян Радиянович, Байкенов Алимжан Сергеевич, Желтаев Тимур Желтаевич, Зиекенов Токталык Айдарханович	
ТАЛШЫҚТЫ БРЭГГ ТОРЛАРЫНЫҢ ПАЙДА БОЛУ ҚАҒИДАЛАРЫ ЖӘНЕ ОНЫ ЖАЗУДЫҢ АРНАЙЫ ӘДІСТЕРІ	457
Кадирбаева Г.К., Чежимбаева К.С.	
МАТЛАВ БАҒДАРЛАМАСЫ ОРТАСЫНДА СЫЗЫҚТЫҚ АНТЕННАЛАРДЫ ЗЕРТТЕУ	466
Р.Н. Каргулов, Б.А. Карибаев, О.А. Мананкова	
АНАЛИЗ МЕТОДА ФАЗОВРАЩАТЕЛЯ ДЛЯ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ	472
Кожяхметова Багдат Абдурашидовна, Чежимбаева Катипа Сламбаевна, Самсоненко Анатолий Иванович	
БАСҚАРУ АРНАСЫНЫҢ АНТЕНАЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫНЫ ЖӘНЕ МҰЗ БАСҚАН ЖАҒДАЙЫНДА ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТЫНЫҢ ҚАБЫЛДАУ-БЕРУ МОДУЛІН ҮЙЛЕСТІРУ	482
Нұржауов Нұрсултан Ерланұлы, Ондырбаев Нұрболат Мырзагелдіұлы, Жұманов Еламан Ержанұлы, Бойкачев Павел Валерьевич	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАФИКА СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ	490
Лещинская Элеонора Мироновна, Туманбаева Кумысай Хасеновна, Ползик Елена Владимировна	
О ВЫБОРЕ ОБЪЕМА БУФЕРНОЙ ПАМЯТИ ДЛЯ СЕРВЕРА ПАКЕТНОЙ СЕТИ	496
Мухамеджанова Альмира Далелханкызы, Туманбаева Кумысай Хасеновна	
A REVIEW OF THE MULTILAYERED MICROSTRIP ANTENNAS FOR IOT APPLICATIONS	502
Gulsaya Nurzhaubayeva, Katipa Chezhibayeva, Norshakila Haris	

АНТЕННАЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫНЫҢ МҰЗДАНУЫ ЖАҒДАЙЫНДА ҰҰА РАДИОБАСҚАРУ АРНАСЫНЫҢ ҚАБЫЛДАУ- БЕРУ ЖОЛЫНДА СӘЙКЕСТЕНДІРУШІ ТІЗБЕКТЕРДІ ПАЙДАЛАНУ ӘДІСТЕМЕСІ	510
Ондырбаев Нурболат Мырзагелдыұлы, Нұржауов Нурсултан Ерланұлы, Жұманов Еламан Ержанұлы, Бойкачев Павел Валерьевич	
РАСЧЕТ ДАЛЬНОСТИ СЧИТЫВАНИЯ RFID СИСТЕМЫ	518
Павлова Татьяна Александровна, Сафин Рафаиль Тлегенович, Гармашова Юлия Михайловна	
ИНТЕРФЕЙСТЕР АРАСЫНДАҒЫ АҚПАРАТТЫ УЛЬТРА КЕҢ ЖОЛАҚТЫ КӨП АНТЕННАЛЫҚ СЫМСЫЗ ТАСЫМАЛДАУДЫ ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ҚҰРУ	528
Қасым Руслан Тоқтасынұлы, Сериков Таңсауле Ғабдыманапұлы, Тұрдыбек Балғынбек, Толегенова Арай Сарсенгалиевна, Нұрланбек Айгерім Ділдәбекқызы, Калбаев Бексултан Назарович, Алмуратова Нургуль Канаевна	
ТИПЫ КОДИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ	538
Хизирова Мухаббат Абдисаттаровна, Серикбай Алишер Айдынулы	
СЕКЦИЯ «ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»	543
ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	543
Омаров Р. А., Демесова С.К., Омар Д.Р.	
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ОСВЕЩЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ	548
Сагындикова А.Ж., Мустагулова Б.Ж., Бекмуратова Н.С.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ТРЕХПРОЧЕСКОГО ЧЕСАЛЬНОГО АППАРАТА	554
Тергемес К.Т., Сагындикова А.Ж., Бердибеков А.О.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЖАЛЮЗИ КАК НОВЫЙ МЕТОД ДЛЯ ВЫРАБАТЫВАНИЯ ЭНЕРГИИ	558
Әмірханов Б.Ә., Сагындикова А.Ж.	
АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ И СУШКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ И КОРМОВ	564
Жұмақан Д.К., Сагындикова А.Ж.	
АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ	567
Караева Н.С., Бикир уулу С.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА КАРТОФЕЛЯ	572
Ильин В.К., Хайбуллина А.И., Власова М.А.	

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДНОГО ПАРОНАГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ АПК	578
Р.Т. Мукашева, И.Т. Алдибеков, Е. О. Кожасов	
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЛИНЕЙНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМОВ В ВОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ	586
Юнусов Р.Ф., Байзаков Т.М., Имомназаров А.Б., Сатаров Н.Э.	
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХЛОПКОВОГО МАСЛА ИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СЕМЯН	594
Турдибаев А.А. Шыныбай Ж.С., Сакитжанов М.Ш. Сапаргали А.Ж.	
«ЖЕЛ-КҮН» ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ КЕШКНІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ҚОЙ ШАРУАШЫЛЫҒЫ НЫСАНДАРЫН ЭЛЕКТРМЕН ЖАБДЫҚТАУ	602
Хизат С.А., Сагындикова А.Ж.	
АСТЫҚТЫ КЕПТІРУ ПРОЦЕСІН ЖЕТІЛДІРУ	606
Серік А.М., Сагындикова А.Ж.	
ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ В СИСТЕМЕ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	609
С.К. Шерьязов, Т.К. Тергемес, Г.Т. Джаканова	
ОГЛАВЛЕНИЕ	613

Научное издание

**ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

Международная научно-техническая конференция
(Алматы, Казань, 20-21 октября 2022 г.)

Электронный сборник научных статей по материалам конференции

В трех томах

Том 1

Корректор Р.С. Зарипова
Компьютерная верстка Р.С. Зарипова

Центр публикационной активности КГЭУ
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51

ISBN 978-5-89873-615-6

