

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Министерство образования и науки Республики Татарстан
Академия наук Республики Татарстан
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»

**XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ «ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ»**

23–26 апреля 2019 г.

Материалы конференции

В трех томах

Том 2

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Часть 2

*Под общей редакцией ректора КГЭУ
Э.Ю. Абдуллазянова*

Казань
2019

УДК 371.334
ББК 31.2+31.3+81.2
Ч54

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «КНИТУ» А.Н. Николаев;
канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «КГЭУ» Э.В. Шамсутдинов

Редакционная коллегия:

Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор),
Э.В. Шамсутдинов (зам. гл. редактора), А.В. Леонтьев,
Н.Д. Чичирова, И.В. Ившин, И.Г. Ахметова, А.Г. Арзамасова

Ч54 **XIV Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения».** В 3 т. Т. 1. Электроэнергетика и электроника: матер. конф. (Казань, 23–26 апреля 2019 г.) / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. – Ч. 2. – 391 с.

ISBN 978-5-89873-550-0 (т. 2, ч. 2)
ISBN 978-5-89873-546-3

Опубликованы материалы конференции, в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области тепло- и электроэнергетики, ресурсосберегающих технологий в энергетике, энергомашиностроения, инженерной экологии, электромеханики и электропривода, фундаментальной физики, современной электроники и компьютерных информационных технологий, экономики, социологии, истории и философии.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Тексты докладов публикуются в авторской редакции. Ответственность за их содержание возлагается на авторов.

УДК 371.334
ББК 31.2+31.3+81.2

ISBN 978-5-89873-550-0 (т. 2, ч. 2)
ISBN 978-5-89873-546-3

© Казанский государственный
энергетический университет, 2019

Секция 4. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

УДК 620.953

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Л.А. Абзалова¹, Э.И. Гиниятуллина², Б.И. Миннуллин³

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

^{1,2,3}abzalova.leisan@gmail.com

Науч. рук. д-р техн. наук Э.Г. Нуруллин

Аннотация. В статье рассмотрен один из перспективных направлений энергосберегающих технологий. Определен наиболее эффективный тип биогазовых установок.

Ключевые слова: биогаз, биогазовые установки, энергообеспечение, нетрадиционная энергия, биоэнергетика, переработка отходов.

На сегодняшний день стратегия современной нетрадиционной энергии находит все более широкое применение. Особенно это актуально в агропромышленных комплексах, которые сталкиваются с проблемой утилизации биологических отходов, а также заинтересованы в энергосберегающих технологиях. Одно из перспективных направлений, энергосберегающих технологий – это развитие биогазовой энергетики в сельскохозяйственных регионах России.

Биоэнергетика может оказать существенную помощь в решении проблем энергосбережения. Поэтому целью наших исследований является, энергообеспечение сельскохозяйственных предприятий на основе биогазовой установки.

Ранее нами были рассмотрены актуальность, проблемы и перспективы развития биогазовых технологий, обзор, анализ конструкций и классификация существующих биогазовых установок, анализ систем их автоматического управления, перспективные нетрадиционные виды энергии для сельского хозяйства [1–6].

При исследованиях были использованы труды в области биоэнергетики отечественных и зарубежных ученых [7–9] и собственные исследования, проведенные ранее [1–6]. Проведен патентный поиск и литературный обзор. При выполнении исследований применялись общенаучные и специфические методы.

В результате проведенных исследований было выявлено, что наиболее эффективным является вертикальная биогазовая установка

с барботажным перемешиванием. Эти установки наиболее выгодны, с экономической и экологической точки зрения, использование их является наиболее эффективным, они отличаются удобством в обслуживании и эксплуатации.

Конструктивно все биогазовые установки практически не отличаются друг от друга и представляют собой герметично закрытую емкость, в которой при определенных условиях происходит сбраживание органического субстрата с образованием биогаза и биоудобрений. Основными компонентами биогазовой установки являются биореактор, в котором происходит сбраживание, и газгольдер для сбора получаемого биогаза, также установка может содержать системы подогрева, перемешивания, устройства КИП и автоматики.

По типу конструкции биогазовые установки бывают следующих типов:

– без обогрева и без промешивания ферментируемой органики в реакторе;

– без обогрева, но с промешиванием органической массы;

– с обогревом и промешиванием;

– с обогревом, с промешиванием и с прибором, позволяющими контролировать и управлять процесс ферментации [10].

Кроме того, то биогазовая установка не требует строительства и обслуживания газопровода, необходимого для подведения природного газа, а сама стоимость установки не превышает 30 % от всех расходов на ее эксплуатацию. Так как биогазовая установка автономна, то может использоваться в любых условиях, притом, что потребность в автономных энергетических системах в России крайне высока: не более 40 % фермерских хозяйств в нашей стране имеют сегодня доступ к магистральному газу и не более 20 % – к тепловым сетям.

Биогаз – один из самых рентабельных видов топлива. 1 м³ биогаза эквивалентен по теплоте сгорания 0,8 м³ природного газа, 0,6 кг бензина, 0,7 кг мазута, 1,5 кг дров или 3 кг брикетированного биотоплива. При этом не следует забывать, что сырьем для биогаза являются не дорогостоящие и дефицитные природные ресурсы, а воспользуемые отходы: переработка 1 т навоза дает до 50 м³ биогаза. Из 1 м³ биогаза можно получить 2 кВт·ч электроэнергии. По статистике объем сельскохозяйственных отходов в России составляет около 770 млн т биоотходов в год, соответственно, это позволяет получить около 66 млрд м³ биогаза, или свыше 100 млрд кВт·ч электроэнергии.

Удельная стоимость биогазовых установок снижается с увеличением их мощности. Себестоимость производства электроэнергии на биогазовых

установках зависит от расходов на биомассу. При этом наименьшее значение себестоимости наблюдается у биогазовых установок мощностью от 1250 до 1750 кВт. Для современных условий наиболее оптимальными являются биогазовые установки мощностью 1500 кВт. Нами была составлена собственная классификация биогазовых установок [4].

Заключение. В результате проведенных исследований, в сельскохозяйственных предприятиях наиболее выгодно использовать биогазовую установку с мощностью 1500 кВт.

За счет внедрения такой установки в сельскохозяйственных предприятиях решается ряд проблем:

- переработка различных органических отходов;
- получение высококачественного топлива;
- биогаз позволяет снизить потребление дорогостоящего природного газа;
- наименьшее значение себестоимости производства электроэнергии.

Источники

1. Абзалова Л.А. Обоснование актуальности биогазовых технологий // XXI Аспирантско-магистерский научн. семинар: тез. докл. Казань, 2017. Т. 2. С. 104–105.

2. Абзалова Л.А. Проблемы и перспективы развития биогазовых технологий // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. III Поволжской науч.-практ. конф. Казань, 2017. Т. 2. С. 189–190.

3. Абзалова Л.А. Обзор и анализ конструкций существующих биогазовых установок [Электронный ресурс] // Поволжский научный вестник 2018. С. 10–17. URL: <http://ntvp.ru/ru/archive-vypuskov> (дата обращения: 23.11.2018).

4. Абзалова Л.А. Классификация биогазовых установок // XXII Аспирантско-магистерский науч. семинар: тез. докл. Казань, 2019.

5. Абзалова Л.А. Анализ систем автоматического управления биогазовыми установками // XXII Аспирантско-магистерский науч. семинар. Казань, 2019.

6. Гиниятуллина Э.И., Абзалова Л.А., Миннуллин Б.И. Перспективные нетрадиционные виды энергии для сельского хозяйства // Тинчуринские чтения: тез. докл. XIII Молод. науч. конф. Казань, 2018. Т. 2. С. 317–319.

7. Гайфуллин И.Х., Рудаков А.И., Курочкин П.С. Сравнительный анализ процессов ферментации органических субстратов // Матер. 72-й студ. (регион.) науч. конф. Казань, 2014. Т. 1. С. 47–49.

8. Нуриев З.З., Рудаков А.И. Переносная малогабаритная биогазовая установка // Вестник Казанского ГАУ. 2012. № 4. С. 37–40.

9. Установка БГУ-8л / С.А. Зимин [и др.] // Сб. матер. науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых. 2005. С. 522.

10. Костромин Д.В., Медяков А.А., Яблонский Р.В. Биогазовая установка для исследования каталитических и барботажных процессов при анаэробной переработке органических отходов в АПК // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2015. № 2 (26). С. 1–5.

УДК 697.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УТЕПЛЕНИЯ ФАСАДА НА ФАКТИЧЕСКОЕ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ ЗДАНИЯ

Е.М. Аленина¹, А.М. Грибкова²

^{1,2}ИГЭУ, г. Иваново

^{1,2}dvr04@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук Д.В. Ракутина

Аннотация. В данной работе выполнен расчет тепловых потерь через наружные ограждения жилого дома до и после его утепления. Определен теоретический и фактический расход природного газа на отопление дома. Алгоритм расчета реализован в виде компьютерной программы. Проведено исследование влияния утепления фасада на теплотребление здания.

Ключевые слова: тепловые потери, тепловая защита зданий, энергосбережение, теплотребление, расход газа, отопление, экономия тепловой энергии.

В связи с постоянным ростом тарифов на природный газ вопросы энергосбережения при отоплении жилых домов не теряют своей актуальности. Современные теплоизоляционные материалы позволяют значительно сократить теплотребление здания. Целью данной работы является определение тепловых потерь через ограждающие конструкции здания без тепловой изоляции и с тепловой изоляцией, а также сравнение теоретического и фактического теплотребления здания до и после утепления.

Исследуемый объект – двухэтажный жилой дом с индивидуальным отоплением площадью 185 м², расположенный в городе Иваново. Стены дома выполнены из газобетонных блоков толщиной 400 мм. Фундамент представляет собой утепленную бетонную плиту. Межэтажное перекрытие 1 этажа – бетонное, 2 этажа – деревянное с базальтовыми плитами. Утепление фасада выполнено пенополистиролом толщиной 50 мм.

Тепловые потери здания найдены как сумма тепловых потерь через наружные ограждения Q_H и тепловых потерь на вентиляцию Q_B :

$$Q = Q_H + Q_B. \quad (1)$$

Тепловые потери через наружные ограждения рассчитаны по формуле:

$$Q_H = k \cdot F \cdot (t_{вн} + t_{нар}), \quad (2)$$

где k – коэффициент теплопередачи; F – площадь ограждения; $t_{вн}$ – температура воздуха в помещении; $t_{нар}$ – температура наружного воздуха.

Тепловые потери на вентиляцию определены с учетом кратности воздухообмена:

$$Q_B = V_{п} \cdot c \cdot \rho (t_{вн} + t_{нар}) \cdot \beta, \quad (3)$$

где $V_{п}$ – объем помещения; c – удельная теплоемкость воздуха; ρ – плотность воздуха; β – кратность воздухообмена.

Коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций рассчитаны по известным формулам теплопередачи через плоскую стенку [3]. При этом значения коэффициентов теплоотдачи и теплопроводности найдены по нормативным документам [1, 2].

Данный алгоритм расчета реализован в виде компьютерной программы Microsoft Excel. Исходными данными являются коэффициенты теплопередачи и размеры наружных и внутренних стен, окон, дверей, потолка и пола. В результате расчета получаем значение тепловых потерь для данного помещения, а затем и для всего дома.

Расчет тепловых потерь до и после утепления выполнен для минимальной расчетной температуры окружающего воздуха для Ивановской области -30°C [4]. В результате установлено, что максимальная тепловая нагрузка на отопление дома без утепления составляет 12885 Вт, с утеплением – 10828 Вт. Таким образом, после утепления тепловые потери через ограждающие конструкции должны уменьшиться на 16 %.

Далее выполнено сравнение теоретического и фактического расхода природного газа на отопление дома. Для этого рассчитан расход тепловой энергии на отопление здания за каждый месяц отопительного периода:

$$Q_{\text{мес}} = Q \frac{t_{вн} - t_{\text{ср}}^{\text{мес}}}{t_{вн} - t_{нар}} \Pi_{\text{мес}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{ср}}^{\text{мес}}$ – средняя температура наружного воздуха за месяц в отопительном периоде [4]; $\Pi_{\text{мес}}$ – продолжительность отопительного периода в рассматриваемом месяце.

Теоретический расход природного газа найден по формуле:

$$B = \frac{Q_{\text{мес}}}{Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot \eta}, \quad (5)$$

где Q_{H}^{P} – теплота сгорания топлива; η – коэффициент полезного действия котла.

Фактический расход природного газа до и после утепления определен по показаниям счетчика, установленного в доме. Так как действительная среднемесячная температура наружного воздуха отличается от принятой в нормативных документах [4], поэтому расчет также выполнен для действительных температур (по данным сайта gismeteo.ru). Результаты расчета представлены на рис. 1 и 2.

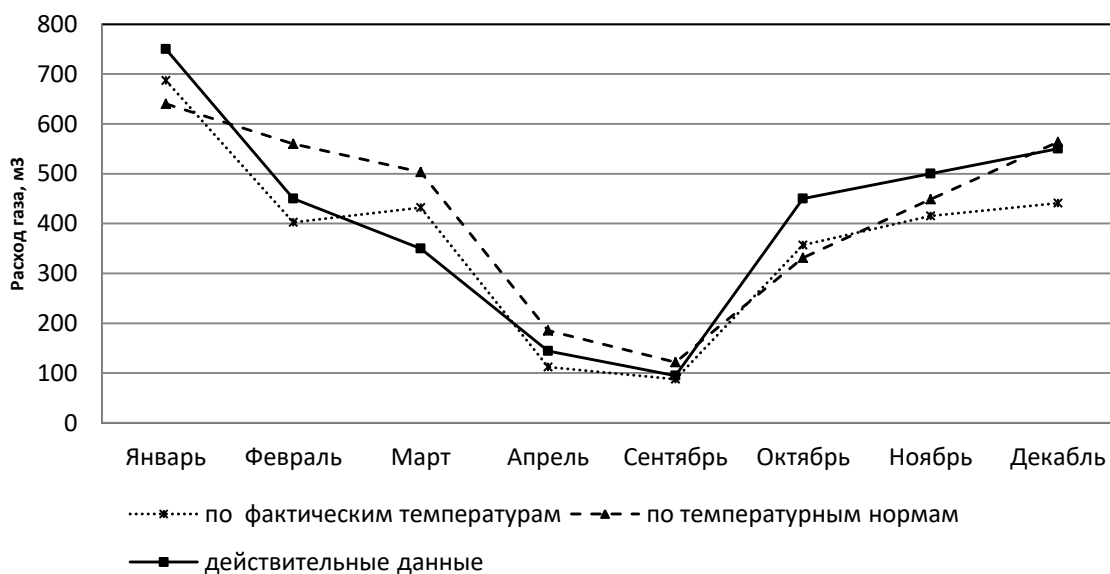


Рис. 1. Сравнение расчетного и фактического расхода природного газа на отопление здания до утепления фасада

Из анализа данных, представленных на рис. 1 и 2, видно, что после утепления фасада расход газа на отопление здания уменьшается в среднем на 100–300 м³ в месяц.

Суммарный годовой расчетный и фактический расход газа на отопление показан на рис. 3.

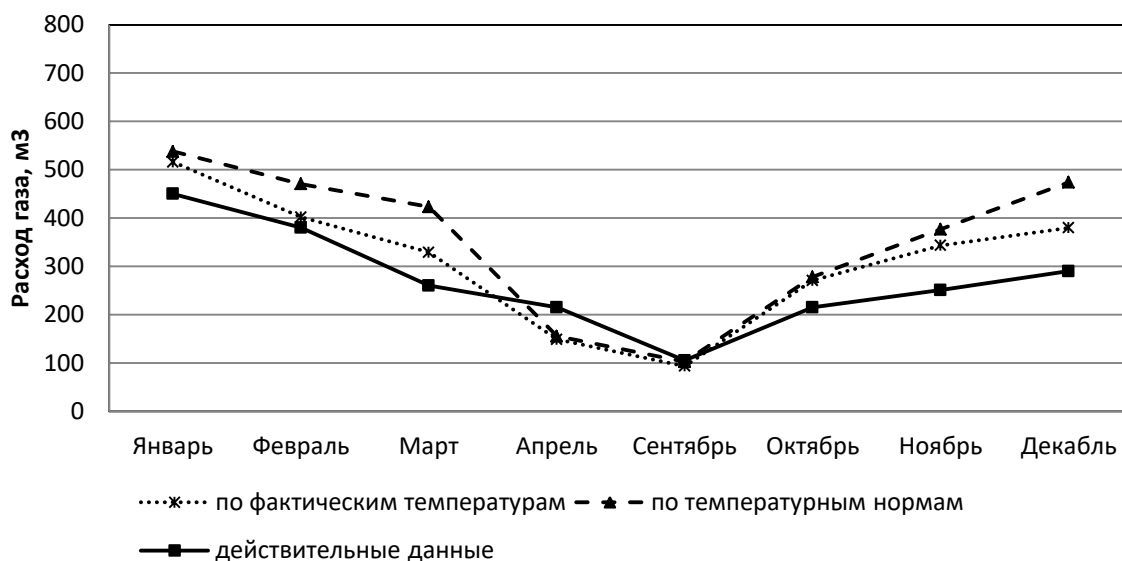


Рис. 2. Сравнение расчетного и фактического расхода природного газа на отопление здания после утепления фасада

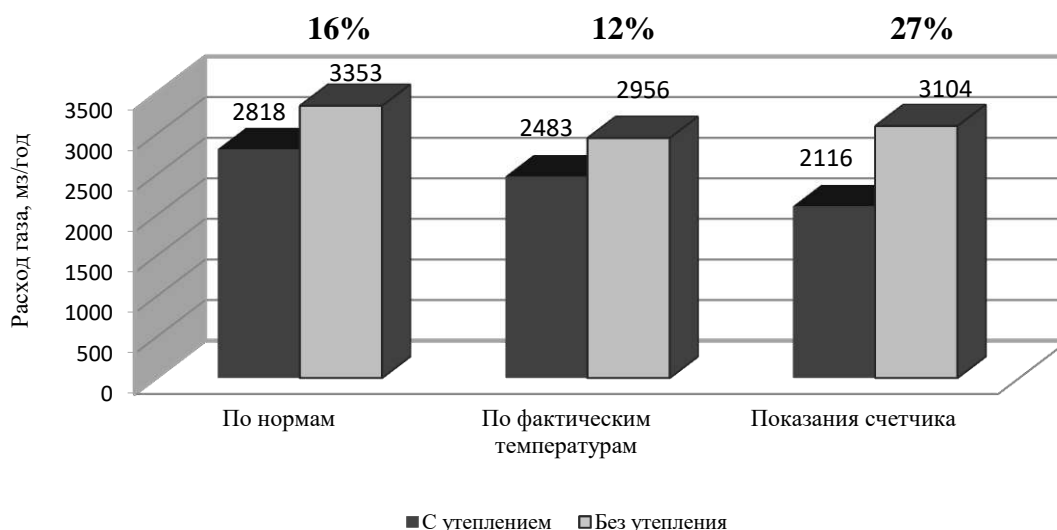


Рис. 3. Суммарный расчетный и фактический расход газа на отопление дома до и после утепления

Из рис. 3 видно, что после утепления расчетный расход природного газа на отопление должен уменьшиться на 12–16 %, при этом фактическое уменьшение составило 27 %. Таким образом, проведенное исследование подтверждает эффективность утепления фасада с целью уменьшения тепловых потерь, а разработанная компьютерная программа дает корректные результаты и может быть использована для расчета теплопотребления зданий.

Источники

1. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М., 2004. 33 с.
2. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. М., 2005. 21 с.
3. Тиатор И. Отопительные системы. М.: Техносфера, 2006. 272 с.
4. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. М., 2000. 91 с.

УДК 66.047.7

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТМОСФЕРНОЙ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ

А.Р. Аляутдинов
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва
aidar1292@gmail.com
Науч. рук. канд. техн. наук Г.П. Власенко

Аннотация. В рамках исследований в Московском энергетическом институте проведены эксперименты по сублимационному обезвоживанию при атмосферном давлении различных продуктов питания. Определена продолжительность процесса сушки для различных продуктов (капуста, мясо, банан, болгарский перец и др.), технико-экономические характеристики, зависимость пищевой ценности от температуры эксперимента.

Ключевые слова: сублимация, энергетическая эффективность, атмосферная сублимационная сушка, хранение продуктов, математическая модель, пищевая ценность.

Одним из наиболее эффективных и перспективных способов переработки продукции является их сублимационная сушка. Благодаря высокому качеству получаемых продуктов сублимационная сушка получила широкое применение в разных отраслях: пищевая промышленность, фарминдустрия, прикладная биотехника. Сушка сублимацией в ряде случаев не имеет альтернативы в связи с тем, что позволяет обрабатывать большое количество дисперсных материалов до заданной влажности и при этом сохраняет максимальное количество полезных веществ в готовом продукте. Данный метод имеет ряд преимуществ: позволяет сохранить до 90–95 % основных витаминов, питательных веществ, белковых комплексов, вкуса, цвета, запаха. На сегодняшний день известны следующие физически реализуемые способы сублимационной сушки:

– при низком общем давлении (вакуум – сублимационная сушка ВСС) – сублимационная сушка при общем давлении парогазовой смеси ниже тройной точки;

– при нормальном общем давлении (атмосферная сублимационная сушка АСС) – сублимационная сушка при нормальном расчетном давлении парогазовой смеси (парциальное давление водяного пара при этом ниже тройной точки);

– при пониженном общем давлении – промежуточный вариант между вакуумной и атмосферной сублимационной сушкой (парциальное давление водяного пара при этом ниже тройной точки);

– при повышенном общем давлении – сублимационная сушка при общем давлении парогазовой смеси выше нормального атмосферного давления (парциальное давление водяного пара при этом ниже тройной точки) [1,2].

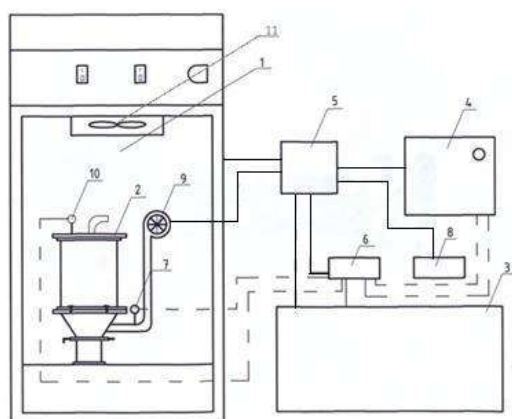


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторного стенда. Экспериментальный стенд атмосферной сублимационной сушки: 1 – низкотемпературная камера; 2 – бункерная сушка; 3 – морозильный ларь; 4 – инфракрасная тепловая сушка; 5 – электрический щит; 6 – прибор для непрерывного измерения, регулирования и регистрации относительной влажности и температуры; 7 – датчик относительной влажности и температуры на входе в бункер; 8 – измеритель влажности весовой; 9 – вентилятор; 10 – датчик относительной влажности и температуры на выходе из бункера; 11 – испаритель низкотемпературной камеры»; — — линия электропровода; - - - линия электрода

Для изучения процесса сублимационной сушки при атмосферном давлении в ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» на кафедре ТМПУ создан лабораторный комплекс (рис. 1–4), предназначенный для обезвоживания замороженных продуктов и позволяющий исследовать теплофизические свойства влагосодержащих объектов, обрабатываемых путем замораживания, сублимации и высушивания.

С использованием данной установки проведены различные опыты по сушке капусты (рис. 5) , мяса (рис. 6), банана (рис. 7).

Основной целью проводимых исследований являлось определение времени сушки продуктов питания различной структуры. Полученные результаты предоставлены ниже на графиках (рис. 8).

Проанализировав вышеприведённые графики можно сделать вывод, что в среднем процесс сушки выбранных продуктов от исходного состояния до состояния конечной влажности в 5 % занимает от 24 до 27 ч. Сушка состоит из двух этапов. Первый этап – сушка в атмосферной сублимационной установке по времени составляет от 23 до 25 ч. Второй этап сушки – досушка в инфракрасной сушилке составляет от 1 до 3 ч.



Рис. 2. Морозильный ларь, сушильный шкаф



Рис. 3. Сублимационный бункер



Рис. 4. Анализатор влажности весовой МВ-23



Рис. 5. Высушенная капуста



Рис. 6. Высушенное мясо (корейка)



Рис. 7. Высушенный банан

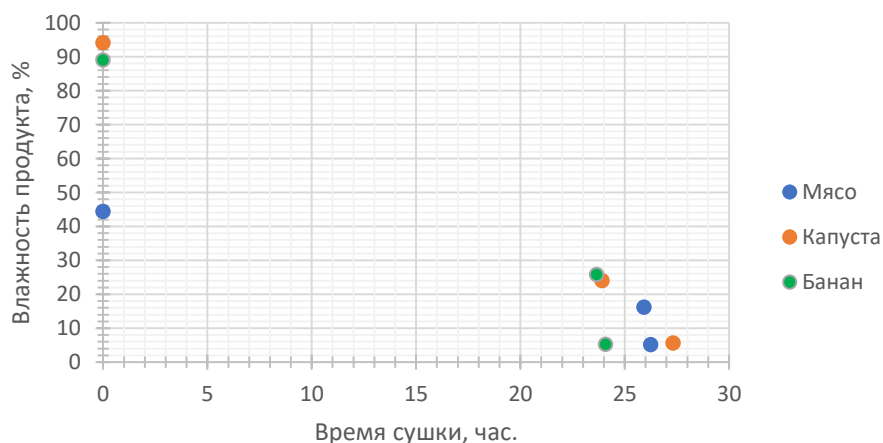


Рис. 8. Зависимость значения влажности от времени сушки

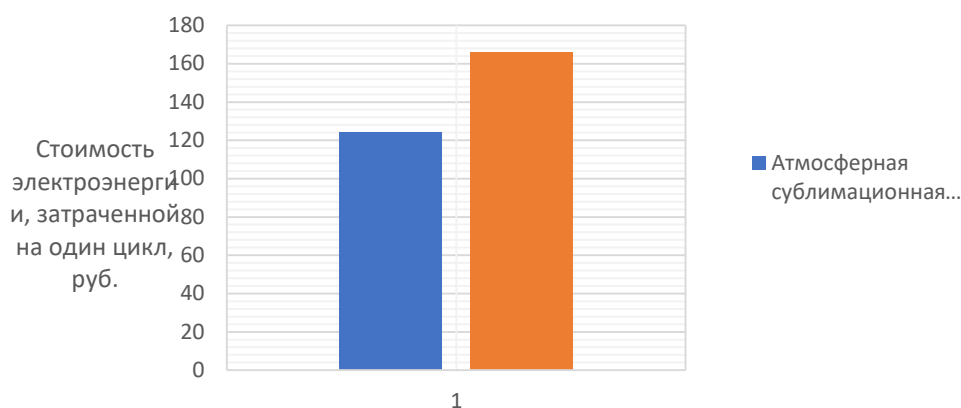


Рис. 9. Значения экономических затрат на электроэнергию в одном цикле сушки



Рис. 10. Высушенный перец

Также в рамках исследований оценивался такой немаловажный факт, как технико-экономические показатели. Сравнение производилось с другими распространенными видами сушильных аппаратов: вакуумная сублимационная сушка (со схожими физическими процессами в основе работы), инфракрасная сушка (с сильно различающимися физическими процессами в основе работы) (рис. 9).

Оценка качества и сохранения питательных свойств получаемых продуктов произведена при сушке болгарского перца (рис. 10). Качественным методом определено содержание витамина С в зависимости от температуры сублимации (рис. 11).

В рамках проводимых исследований на установке для атмосферной сублимационной сушки определены такие важные параметры, как время сушки, технико-экономические характеристики, пищевая ценность полученных продуктов.

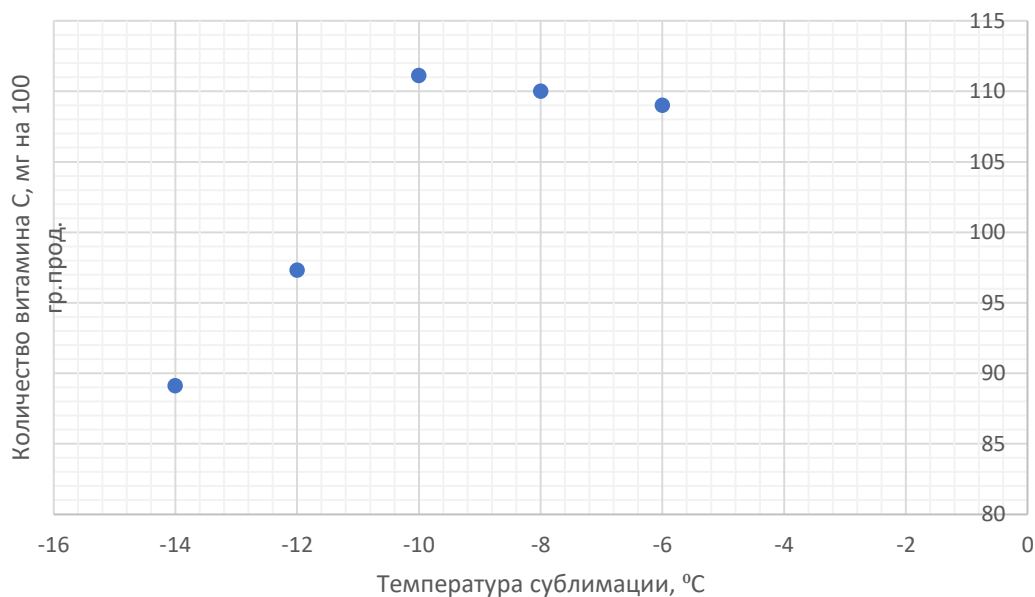


Рис. 11. Зависимость содержания витамина С от температуры сублимации

Дальнейшим этапом является проведение мер для повышения энергетической эффективности установки на разных этапах сушки: этап заморозки, сушки в сушильном шкафу и досушки в инфракрасной сушилке.

Источники

1. Атмосферная сублимационная сушка пищевых продуктов / Б.П. Камовников [и др.]. М.: Колос, 1994. 253 с.

2. Дондокова С.А. Разработка технологии мясных продуктов с использованием сублимационной сушки при атмосферном давлении: автореф. дис. ... канд. техн. наук. УланУдэ, 2011. 17 с.

УДК 674.816

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСТРАКЦИИ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

Г.Р. Арсланова
 КНИТУ, г. Казань
 94arslanovagulshat@mail.ru
 Науч. рук. д-р техн. наук Р.Г. Сафин

Аннотация. В работе представлена технологическая линия процесса экстракции древесного сырья для получения биологически активных веществ, находящих широкое применение в различных областях промышленности. Разработанная линия позволяет снизить энергозатраты на прогрев оборудования, а также проводить регенерацию экстрагента.

Ключевые слова: экстракция, биологически активные вещества, регенерация, энергозатраты.

В настоящее время в лесохимической промышленности популярным становится получение из древесной биомассы биологически активных веществ [1, 6]. Состав биологически активных веществ зависит от породы и возраста древесины, а также от времени года.

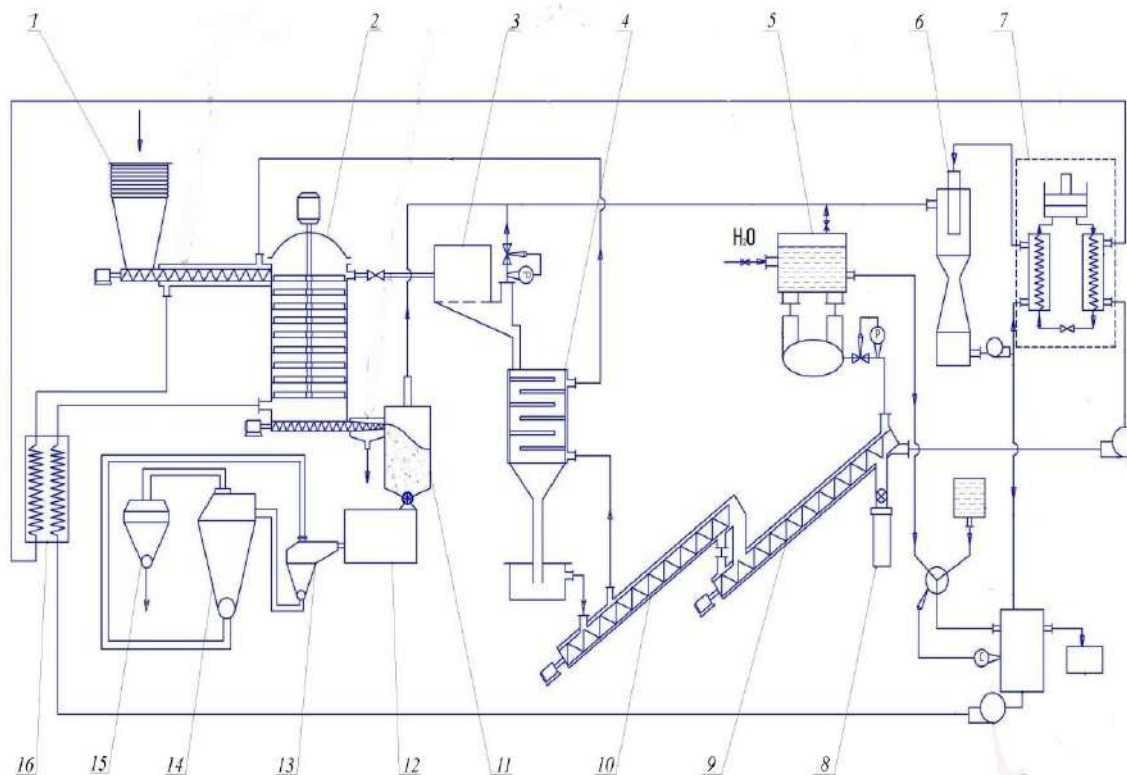
Особый интерес вызывают такие породы как осина и ива. Данные породы включают в себя ценные компоненты, входящие в группу гликозидов, агликоном которых является салицин – заменитель синтетического аспирина [5]. Природный салицин не вызывает раздражающего действия на желудочно-кишечный тракт, в отличие от синтетического. Он обладает противовоспалительными, жаропонижающими, желчегонными, противомикробными, противокашлевыми и антигельминтными свойствами. Сочетание противомикробных и противовоспалительных свойств делает перспективной применение экстрактов из осины и ивы при комплексном лечении различных болезней. Помимо этого, в состав экстрактов также входят витамины различных групп, минеральные вещества и ферменты [9, 10].

Все эти ценные компоненты в больших количествах содержатся в коре, зелени и почках деревьев. Это позволяет более рационально использовать отходы деревоперерабатывающих производств [2, 4, 8].

Процесс экстракции зачастую проходит при соотношении, где количество экстрагента в несколько раз превышает количество древесного сырья, а также требует большого количества энергозатрат [3, 7]. В связи с этим на базе кафедры «Переработки древесных материалов» КНИТУ была разработана технологическая линия для выделения биологически активных веществ, позволяющая уменьшить энергозатраты и регенерировать экстрагент (рис. 1).

Биологически активные вещества на данной линии получают следующим образом. Через загрузочное устройство 1 в экстрактор 2 попадает измельченная древесная биомасса. Туда же снизу поступает нагретый в рекуперативном теплообменнике 16 экстрагент. После проведения процесса экстракции отработанное сырье сушится до 10–15 % в аэрофонтанной сушилке 12. Затем измельчается в измельчителе 13 и сепарируется в циклоне 14. Измельченную древесную биомассу подают в дозатор готовой продукции – кормовой муки 15. Полученный экстракт фильтруется в вакуум-фильтре 3 и сушится в две стадии. На первой стадии экстракт растекается по обогреваемым полкам выпарного аппарата 4 и сгущается за счет удаления, преимущественно, этанола эжекторным

насосом 6. На второй стадии сушку экстракта ведут в вакуум-шнековых сушилках 9, 10, где удаляют, преимущественно, воду вакуумным водокольцевым насосом 5.



Технологическая линия комплексной переработки древесной биомассы: 1 – загрузочное устройство; 2 – экстрактор; 3 – вакуум-фильтр; 4 – выпарной аппарат; 5 – вакуумный водокольцевой насос; 6 – эжекторный насос; 7 – компрессорный агрегат; 8 – сборник готовой продукции; 9, 10 – вакуум-шнековые сушилки; 11 – бункер; 12 – аэрофонтанная сушилка; 13 – измельчитель; 14 – циклон; 15 – дозатор кормовой муки; 16 – рекуперативный теплообменник

Полученные из экстракта биологически активные вещества отправляют в сборник готовой продукции 8. Паровую среду, удаленную при выпаривании экстракта, конденсируют эжекторным насосом 6, а тепловая энергия отнимается компрессорным агрегатом 7 и передается на выпаривание экстракта, на прогрев древесного сырья и экстрагента. Часть сконденсировавшейся паровой среды отправляют в узел подачи экстрагента.

Технологические особенности разработанной линии позволяют комплексно перерабатывать древесную биомассу и получать ценные компоненты в виде биологически активных веществ и кормовой муки, уменьшить энергозатраты на прогрев оборудования, а также повторно использовать отработанный экстрагент.

Источники

1. Исследование извлечения биологически активных веществ из биомассы древесины / Г.Р. Арсланова [и др.] // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. № 3. С. 327–331.
2. Галяветдинов Н.Р., Воронин А.Е. Переработка древесной зелени с последующим получением полезных продуктов // Вестник технологического университета. 2014. Т. 17, № 15. С. 234–236.
3. Экспериментальная установка для получения хвойного экстракта из древесной зелени / Д.Ф. Зиатдинова [и др.] // Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2016. С. 429–431.
4. Сафин Р.Г. Повышение эффективности экстракции эфирных масел водяным паром // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 8. С. 256–258.
5. Экстрагирование флавоноидов из коры и листьев ивы / А.В. Сафина [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. 2016. № 4. С. 46–49.
6. Сафин Р.Г., Зиатдинова Д.Ф., Арсланова Г.Р. Экстрагирование биологически активных веществ из коры осины // Лесной вестник. 2017. Т. 21, № 2. С. 65–70.
7. Повышение энергоэффективности процесса экстракции / Н.Ф. Тимербаев // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19, № 5-6. С. 35–40.
8. Тунцев Д.В. Совершенствование технологии и оборудования процесса термического разложения древесины в кипящем слое: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2011. 193 с.
9. Whigham D.F. Ecology of woodland herbs in temperate deciduous forests // Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics. 2004. Vol. 35. Pp. 583–621.
10. Intensification of the Process of Ultrasonic Extraction of Dehydroquercetin from Wood Waste / E.V. Averyanova [et al.] // 19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). С. 312–317.

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ

Р.Р. Ахмеров
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ramil_akhmerov_1984@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.М. Гусячкин

Аннотация. Энергоэффективность местных систем теплоснабжения во многом определяется показателями работы источников теплоты, которые зависят от их технического состояния, своевременности и качества выполнения регламентных работ. В статье приведены результаты режимных испытаний котельных агрегатов, отработавших свой срок службы, и современных котлов. Показана целесообразность своевременной замены котельных агрегатов устаревшей конструкции.

Ключевые слова: теплоснабжение, котельный агрегат, режимная карта, температура, коэффициент полезного действия, топливо, потери теплоты.

В местных системах теплоснабжения предприятий до настоящего времени еще используются в качестве источников теплоты физически и морально устаревшие котлы типа ПТВМ, ДКВР. Эффективность работы котельных агрегатов оценивают основными показателями их работы: величиной коэффициента полезного действия (КПД) и удельным расходом топлива (физического или условного) на единицу выработанной теплоты.

Практика энергетических обследований показывает, что в реальных условиях эксплуатации эти показатели теплогенерирующих установок часто отличаются от заявленных, что негативно сказывается на энергоэффективности и долговечности теплогенерирующего оборудования.

Основные технико-экономические показатели работы котельных агрегатов можно определить по составу дымовых газов. Состав дымовых газов определяется при проведении режимных испытаний котельного агрегата.

Нами проведен сравнительный анализ результатов режимных испытаний котлов ДКВР 20-13, ПТВМ-30М и современных котлов RS-D2500 на одном из предприятий Республики Татарстан. Режимные испытания проведены после проведения регламентных работ на нагрузках близких к номинальным. Результаты режимных испытаний представлены в табл. 1.

На основании результатов экспериментальных испытаний котельного агрегата по методике М.Б. Равича [1] на основе анализа состава продуктов горения и их температуры можно составить тепловой баланс котла по прямому методу и определить основные технико-экономические показатели работы котельных агрегатов.

Таблица 1

Состав и температура дымовых газов котлов

Параметры	Ед. измерения	Тип котла		
		ПТВМ-30М	ДКВР 20/13	RS-D6000
Температура уходящих газов	°С	149	141	132
Содержание O ₂	%	4,8	5,1	3,7
Содержание трехатомных газов RO ₂	%	12,5	11,6	9,7
Содержание CO	ppm	69	79	----

КПД котла брутто определяется из выражения [1]:

$$\eta_{\text{к}}^{\text{бр}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5)\%, \quad (1)$$

где q_2 – потери теплоты с уходящими газами, %; q_3 – потери теплоты от химической неполноты сгорания, %; q_4 – потери теплоты от механической неполноты сгорания, %; q_5 – потери теплоты в окружающую среду, %.

Основными потерями теплоты при сжигании газообразного топлива являются в большинстве случаев потери с уходящими газами, т.е. физическое тепло продуктов горения q_2 .

Потери тепла с уходящими газами определяются по методике М.Б. Равича [1]:

$$q_2 = \left(\frac{T_{\text{ух}} - T_{\text{в}} \cdot L}{T_{\text{мах}}} \right) \cdot (C^1 + (h - 1) \cdot BK) \cdot 100, \%, \quad (2)$$

где $T_{\text{ух}}$ – температура уходящих газов, °С; $T_{\text{в}}$ – температура поступающего в топку воздуха, °С; $T_{\text{мах}}$ – жаропроизводительность топлива, °С, $T_{\text{мах}} = 2020$ °С; C^1 , K , B – коэффициенты, зависящие от вида топлива, B – соотношение объемов влажных и сухих продуктов сгорания ($C^1 = 0,82$, $K = 0,78$, $B = 0,87$ [1]); h – коэффициент разбавления продуктов сгорания.

Коэффициент разбавления сухих продуктов сгорания определяется по формуле [1]:

$$h = \frac{\text{CO}_{2\text{мах}}}{\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4}. \quad (3)$$

Для газового топлива $\text{CO}_{2\text{мах}} = 11,8$ [1].

Потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива рассчитываются по выражению [1]:

$$q_3 = \left(30,2 \cdot \text{CO} \cdot \frac{h}{p} \right) \cdot 100, \% , \quad (4)$$

где p – максимальная энтальпия продуктов сгорания.

Потери тепла в окружающую среду определяются в зависимости от номинальной нагрузки [1].

При нагрузках отличных от номинальной потери тепла в окружающую среду определяются по выражению [1]:

$$q_5 = q_5^{\text{НОМ}} \cdot \frac{Q_{\text{НОМ}}}{Q_{\text{ф}}} , \quad (5)$$

где $Q_{\text{НОМ}}$ и $Q_{\text{ф}}$ – номинальная и фактическая теплопроизводительность котла, Гкал.

Нами выполнены расчеты потерь теплоты по формулам (2)–(5) котлов ПТВМ-30М, ДКВР20/13, RS-D6000. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Значительное количество теплоты теряется с уходящими газами. Это можно объяснить высокой температурой дымовых газов, подсосами воздуха в газоходах. Уменьшить потери тепла с уходящими газами можно снижением их температуры. Но снижать температуру продуктов сгорания можно только до 120–130 °С, поскольку дальнейшее охлаждение продуктов сгорания приводит к снижению тяги и образованию химически агрессивного конденсата, губительно влияющего на элементы котлов, газоходов и дымовых труб.

Таблица 2

Результаты анализа работы котлов

Параметры		Ед. измерения	Тип котла		
			ПТВМ-30М	ДКВР 20/13	RS-D6000
Потери теплоты	С уходящими газами	%	9,4	9,2	4,8
	С химическим недожогом	%	0,2	0,21	-
	В окружающую среду	%	7,8	7,6	2,35
	КПД брутто	%	82,6	82,9	92,85
Удельный расход условного топлива		кгу.т./Гкал	174,3	172,4	155,4

Удельный расход условного топлива находят по формуле [1]:

$$q_{\text{усл}} = \frac{143}{\eta_{\text{к}}} \text{ кг у.т./Гкал.} \quad (6)$$

Повышенные потери теплоты в окружающую среду котлами старой конструкции можно объяснить, в том числе, и нарушениями целостности обмуровки. В итоге удельный расход топлива котлами старой конструкции превышает этот показатель современных котлов более чем на 10 %.

Таким образом, показатели работы физически и морально устаревших котлов значительно ниже этих параметров современных котлов.

Замена котлов устаревшей конструкции современными источниками теплоты позволит уменьшить себестоимость тепловой энергии и повысить эффективность системы и теплоснабжения.

Источники

1. Равич М.Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. М.: Изд-во АН СССР, 1966. 407 с.

УДК 622.691.4

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОГО КОНВЕРТИРОВАННОГО ГАЗОТУРБИННОГО ПРИВОДА МОЩНОСТЬЮ 25 МВт И КОЭФФИЦИЕНТОМ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ НЕ МЕНЕЕ 36% ДЛЯ ПРИВОДА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Р.И. Ахметшин¹, Е.Д. Зарипов²
^{1,2}КНИТУ-КАИ им А.Н. Туполева, г. Казань
^{1,2}akhmetshinradel21@gmail.com
Науч. рук. канд. техн. наук. С.И. Харчук

Аннотация. В данной работе речь идет о перспективах развития газовой энергетики в России, о роли газоперекачивающих агрегатов в магистральных газовых сетях и возможности применения конвертированных авиационных газотурбинных двигателей в газоперекачивающих агрегатах.

Ключевые слова: энергетика, газовая промышленность, компрессорная станция, газоперекачивающий агрегат, газотурбинный двигатель.

В настоящее время в мире идет активное использование альтернативной энергетики, а также развитие исследования и способов

разработки новых альтернативных источников энергии. Несмотря на это, существующие на сегодняшний день виды топлива, нефть, газ, уголь и атом, сохраняют статус основных видов получения энергии еще надолго.

В данной работе речь идет о газовой промышленности. Актуальность добычи и применения природного газа высока, а также велики дальнейшие перспективы развития газовой промышленности. Это объясняется тем, что роль природного газа в мировом топливном энергетическом балансе высока и продолжает свой рост.

Газовая энергетика занимает особое место в экономике России. Разработки и добыча газа в России, а также поставки его на мировой рынок вывели страну на лидерские позиции. В этом свою роль сыграло большое количество месторождений газа и обширные запасы ископаемых в недрах.

По добыче природного газа Россия занимает второе место, после США, с объемом около 20 % суммарного производства десяти лидирующих регионов. На рис. 1 показаны объемы добычи природного газа стран, лидирующих по этому показателю к 2016 г.

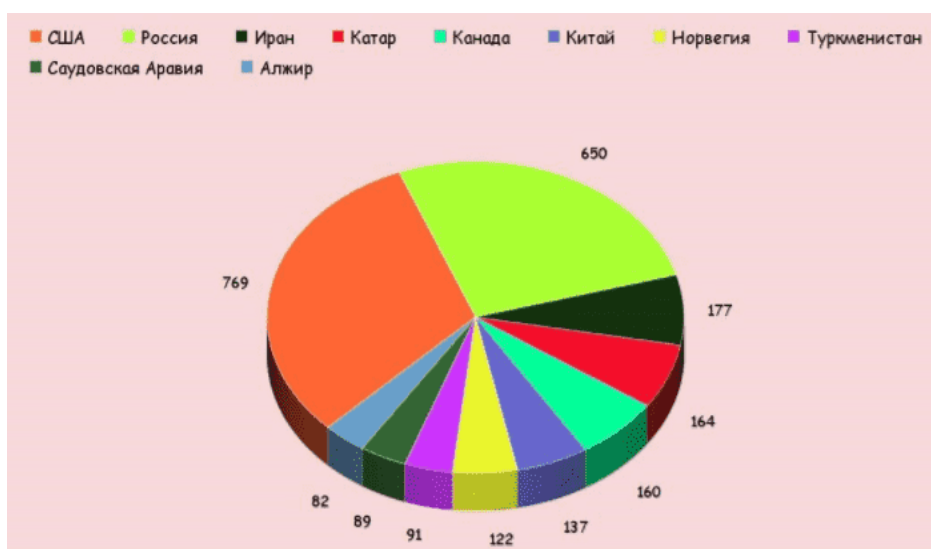


Рис. 1. Мировые лидеры по добыче природного газа по результатам 2016 г., млрд. м³

По сценарию Международного энергетического агентства потребление природного газа к 2035 г. увеличится настолько, что позволит ему выйти на второе место после нефти, и, возможно, стать самым востребованным ископаемым энергоресурсом в период до 2040 г. Ожидаемый в перспективе интенсивный рост потребления природного газа связан с его очевидными преимуществами перед углем и нефтью. Так, затраты труда на добычу газа в 37 раз ниже, чем на добычу такого же количества угля в пересчете на условное топливо; газ отличается высокой

теплотворной способностью; с помощью системы газопроводов газ можно подвести к любому потребителю; он наиболее полно отвечает современным экологическим требованиям; при горении газа не образуется зола; возможна частичная замена традиционных видов моторного топлива природным газом и т.д. Свыше 90 % всего объема добычи газа расходуется как топливо на тепловых электростанциях, промышленных предприятиях и в быту. Расчеты показывают, что себестоимость электроэнергии, вырабатываемой при использовании газа, меньше по сравнению с себестоимостью электроэнергии, вырабатываемой угольными, атомными и другими электростанциями. Запасы природного газа в мире значительно больше, чем запасы нефти, его добыча и различные способы транспортировки с каждым годом становятся все более развитыми, что увеличивает его доступность для всех потребителей.

Перспектива дальнейшего развития газовой промышленности в России, в связи с увеличением потребления природного газа во всем мире возможна за счет обширных запасов ископаемых в недрах.

По оценкам запасы российского газа составляют порядка 200 трлн м³, а к 2030 г. его будет добываться уже более 800 млрд м³ в г. (для справки: за 2016 г. этот показатель равнялся 641 млрд м³), что позволяет и собственные потребности обеспечить, и экспортировать значительное его количество.



Рис. 2. Запасы природного газа в Российской Федерации

Лидером по добыче природного газа остается Западная Сибирь. Это основной район добычи газа в России, важнейшее звено отечественной

газодобычи, где добывается 90 % этого горючего топлива. На рис. 2 показаны запасы природного газа по регионам России.

На территории России расположены крупнейшие в мире месторождения: Уренгойское, Ямбургское, Бованенковское, Штокмановское, Ленинградское, Русановское, Заполярное, Астраханское, Сахалин-3.

Транспортировка сжиженного после добычи природного газа осуществляется 2 способами:

– основным и практически единственным способом транспортировки голубого топлива являются трубопроводы: наземные, надземные, подземные, надводные и подводные. В России этот вариант получил наибольшее распространение. Недостатком данного способа является необходимость обеспечивать постоянное давление в трубопроводах, чтобы бесперебойно передавать газ потребителю;

– использование танкеров для транспортировки актуальна только при перевозке на большие расстояния, при невозможности, либо нецелесообразности прокладки трубопроводов под водой. Недостатком данного способа является необходимость применения специализированных танкеров, риск экологической катастрофы при кораблекрушении, применение дорогостоящих специальных агрегатов на портах для загрузки и разгрузки танкеров, увеличение количества обслуживающего персонала.



Рис. 3. Газопроводы России

В стране построена целая сеть магистральных газопроводов для передачи газа в регионы страны и за рубеж. Первая магистраль «Саратов-Москва», сооруженная в годы Великой Отечественной, была протяженностью в 843 км. На сегодняшний день по территории России

проходило уже более 170 тыс. км магистральных сетей. Строительство магистральных сетей не прекращается, а наоборот появляются новые проекты. На рис. 3 показаны действующие и строящиеся газопроводы России.

Для обеспечения необходимого давления в трубопроводах применяются компрессорные станции (дожимные, линейные, КС подземных хранилищ газа). Линейные КС располагаются по магистральным сетям через каждые 80–120 км.

Основным элементом КС является газоперекачивающий агрегат (ГПА). ГПА – предназначен для компримирования природного газа на компрессорных станциях газопроводов и подземных хранилищ газа.

В свою очередь ГПА состоит из привода и нагнетателя (компрессора). ГПА различают по типу привода – ГПА с газовым двигателем внутреннего сгорания (газомоторные двигатели), с газотурбинным приводом, с электроприводом).

Наибольшее распространение получили ГПА с газотурбинным приводом. В качестве газотурбинного привода могут применяться как стационарные ГТД, так и конвертированные, которые имеют ряд преимуществ по сравнению со стационарными ГТД.

Главное преимущество стационарного ГТД – это то, что он заведомо проектируется для ГПА. Т.е. главной задачей проектировщиков в этом случае является получение максимальных параметров. В итоге такие ГТД получаются громоздкими, в несколько раз превышающими размеры конвертированных ГТД. Также недостатком является невозможность его транспортировки и ремонта на заводе-изготовителе.

Конвертированные авиационные ГТД – это авиационные ГТД, отработавшие свой летный ресурс, но которые нашли применение для привода ГПА, электрогенераторов и т.д. В нашей стране есть огромный опыт использования конвертированных ГТД, таких, например, как НК-12СТ, НК-16СТ, НК-16-18СТ, НК-36СТ, НК-38СТ, ГТУ-12П, -16П, -25П.

Основными преимуществами таких двигателей является:

- низкая стоимость изготовления по сравнению со стационарными двигателями. Это объясняется тем, что двигатель проектируется не с нуля, а изменяется готовый ГТД с сохранением его основных дорогостоящих частей;

- характеристики двигателя лучше, т.к. к авиационным ГТД предъявляются повышенные требования;

- максимальная удельная мощность в 5–7 раз выше, чем у стационарных;

– малые габаритные размеры и масса, что дает возможность использования ГТД на отдаленных, труднодоступных местах размещения, доставка ГТД с помощью вертолетов и грузовых автомобилей;

– возможность ремонта ГТД на заводе изготовителе и замена его другим двигателем, что исключает время простоя ГПА.

Конвертированные авиационные ГТД получили широкое применение в России и СНГ из-за возможности использования в труднодоступных отдаленных территориях и низкой себестоимости. На рис. 4 показан газоперекачивающий агрегат ГПА-16 «Волга» с приводом от ГТД НК-16СТ производства АО «КМПО» г. Казань, который применяется во многих компрессорных станциях России.

В настоящее время ГТД имеют большое применение в компрессорных станциях. В основном применяются ГТД с мощностью 16 МВт, но значительный парк приводов ГПА составляют двигатели, которые начинают не соответствовать требованиям быстро развивающейся газовой промышленности. То есть существует необходимость усовершенствования ГТД, замена устаревших двигателей перспективными ГТД с высокими мощностями, повышенными основными параметрами и высокой эффективностью.

Поэтому в данной работе поставлена цель разработки перспективного конвертированного газотурбинного двигателя мощностью 25 МВт с КПД не менее 36 % для привода ГПА.



Рис.4. Газоперекачивающий агрегат ГПА-16 «Волга» с приводом от ГТДНК-16СТ

Прототипом двигателя был выбран конвертированный газотурбинный двигатель НК-36СТ, мощностью 25 МВт, изготовленный на базе авиационного двигателя НК-25, которые используется в газоперекачивающем агрегате ГПА «Нева-25НК». Конструктивная схема двигателя НК-36СТ показана на рис. 5.

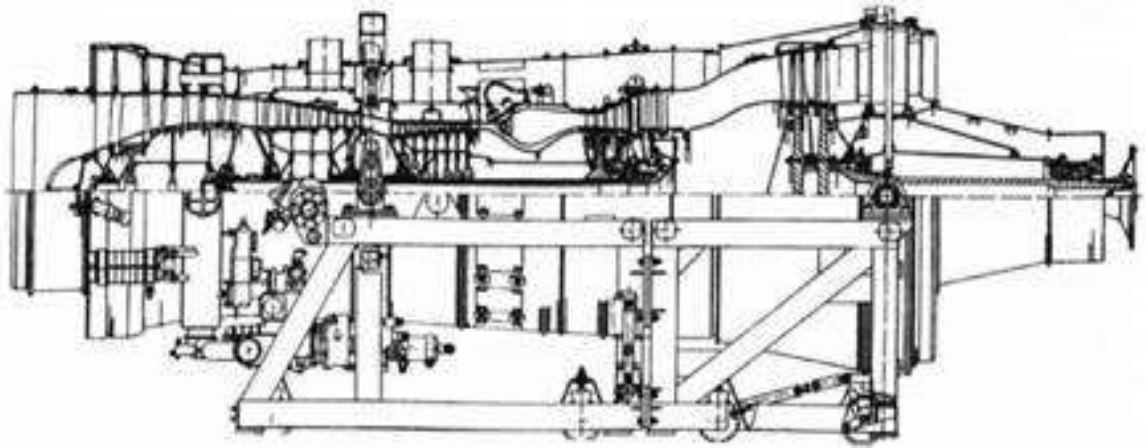


Рис. 5. Конструктивная схема ГТД НК-36СТ (прототип)

Отличительными особенностями данного двигателя по сравнению с другими конвертированными двигателями являются высокая мощность (25 МВт вместо 16 МВт) и его конструктивная схема. НК-36СТ представляет собой трехкаскадный ГТД. Применение 3 каскадов позволяет получить более широкие границы устойчивых работ по сравнению с 2-х каскадным ГТД. Это значит, что возможность возникновения помпажа в компрессоре на нерасчетных режимах значительно ниже, чем у 2-х каскадных ГТД.

В ходе разработки стояла задача улучшения выбранного прототипа, т.е. создание перспективного ГТД с высокими основными параметрами и характеристиками, отвечающими как современным требованиям, так и требованиям ближайшего будущего. Для обеспечения требуемого КПД был произведен предварительный термогазодинамический расчет двигателя. На его основе были получены следующие основные параметры ГТД, которые значительно превышают параметры своего прототипа:

- температура газа перед турбиной 1420 К;
- степень повышения давления в компрессоре 24;
- мощность свободной турбины 25 МВт;
- эффективный КПД двигателя 0,364;
- расход воздуха через двигатель 90,4 кг/с;
- частота вращения ротора низкого давления 6935 об/мин;
- частота вращения ротора среднего давления 8090 об/мин;
- частота вращения ротора высокого давления 9955 об/мин;
- частота вращения ротора силовой турбины 5000 об/мин.

Также на основе предварительного расчета двигателя были получены основные параметры (давление, температура, расход) между узлами ГТУ.

На основе этих параметров были произведены предварительные расчеты узлов ГТУ и определены числа их ступеней.

Компрессор: КНД+КСД+КВД=3+5+7;
Турбина: ТВД+ТСД+ТНД=1+1+1;
Силовая турбина: 2.

Источники

1. Бодунов М.Н., Локай В.И., Щукин А.В. Выбор основных параметров и предварительный термогазодинамический расчет охлаждаемого ГТД. Казань: КАИ, 1985. 32 с.
2. Газотурбинный двигатель НК-36СТ [Электронный ресурс]. URL: <http://ooosga.com/nk36st.html> (дата обращения: 27.11.2018).
3. Гриценко Е.А., Данильченко В.П., Лукачев С.В. Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения: учеб. пособие. Самара: СНЦ РАН, 2004. 266 с.
4. Добыча газа в России: лидер мировых продаж не собирается сдавать позиции [Электронный ресурс]. URL: <https://moneymakerfactory.ru/biznes-plan/dobyicha-gaza-v-rossii/> (дата обращения: 27.11.2018).
5. Российская энергетическая неделя-2018 о перспективах мирового газового рынка [Электронный ресурс]. URL: <http://geoenergetics.ru/2018/10/22/rossijskaya-energeticheskaya-nedelya-2018-o-perspektivax-mirovogo-gazovogo-rynka/> (дата обращения: 27.11.2018).
6. Газоперекачивающий агрегат [Электронный ресурс]. URL: https://neftegaz.ru/tech_library/view/4328-Gazoperekachivayuschiy-agregat-GPA (дата обращения: 27.11.2018).

УДК 631.371:621.311

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ В КРЕСТЬЯНСКО-ФЕРМЕРСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ «АРХАНГЕЛЬСКОЕ» НОВОШЕШМИНСКОГО РАЙОНА РТ

А.Е. Белоглазова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
beloglazova_aleksandra@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук Л.Р. Гайнуллина

Аннотация. В данной работе проведен анализ потребления энергии в крестьянско-фермерском хозяйстве «Архангельское». Предложены энергосберегающие мероприятия, снижающие потребление тепловой энергии и электроэнергии, а также топливных ресурсов.

Ключевые слова: энергосберегающие мероприятия, крестьянско-фермерское хозяйство, электроэнергия, тепловая энергия.

В настоящее время в связи с экономической ситуацией в стране тема энергосбережения является одной из самых актуальных. Мы наблюдаем сегодня ограниченное количество энергетических ресурсов на планете, высокую цену электроэнергии, отрицательное воздействие на природу и наше с вами здоровье. Поэтому целесообразным является введение энергосберегающих мероприятий в крестьянско-фермерском хозяйстве (КФХ), а именно мероприятий по электросбережению и теплосбережению.

Сельское хозяйство в отличие от промышленных предприятий не является очень крупной отраслью по потреблению природных ископаемых. Однако для увеличения объёма производства продукции этих отраслей необходимо повысить потребление тепловой и электрической энергии. Например, если прирост продукции увеличить всего лишь на один процент, то это автоматически приведёт к росту потребления электроэнергии на 2–3 %.

Энергосбережение в сельском хозяйстве является сегодня комплексной проблемой. Оптимальное сочетание энергосберегающих технологий позволит достичь нужного результата.

К мероприятиям по энергосбережению в КФХ относятся:

- установка счётчиков расхода топлива, электроэнергии, воды, тепла;
- утепление ограждающих конструкций и перекрытий зданий;
- установка тепловых отражателей между отопительными приборами и стеной;
- автоматизация управления работой котельной;
- использование систем частотного регулирования в приводах электродвигателей в системах вентиляции, на насосных станциях и других объектах с переменной нагрузкой;
- внедрение метода глубокой утилизации тепла дымовых газов;
- снижение потерь тепла с инфильтрующим воздухом путём уплотнения дверей и оконных стыков;
- промывка трубопроводов внутренних систем отопления зданий;
- снижение потребления за счёт оптимизации расходов и регулирования температуры горячей воды;
- утепление (облицовка) наружных стен, технического этажа, кровли, перекрытий над подвалом теплоизоляционными плитами (пенопласт под штукатурку, минераловатные плиты, плиты из вспененного стекла и базальтового волокна);
- перевод котельных на газовое топливо. В 2–3 раза снижается стоимость 1 Гкал;
- установка биогазогенераторов.

Основные виды энергоресурсов, потребляемые сельским хозяйством – это горюче-смазочные материалы (ГСМ), газ, электроэнергия, тепловая

энергия. В зависимости от направления сельского хозяйства приоритет отдается разным видам энергоресурсов, если, например, для животноводства к таким энергоресурсам относят электроэнергию и ГСМ, для растениеводства приоритетными являются ГСМ, то для закрытого грунта важнее электроэнергия и тепловая энергия.

Одним из перспективных направлений снижения энергопотребления является широкое внедрение частотно-регулируемого электропривода. Однако эффективность его применения во многом определяется обоснованным использованием для конкретных технологических процессов при выборе соответствующего способа управления с учетом специфики сельскохозяйственного производства.

Резервы уменьшения расходов электроэнергии на освещение дает замена ламп накаливания, которые превращают в свет лишь 5–8 % употребленной энергии, люминесцентными лампами, полезная отдача которых 20–30 %.

Около половины экономии энергии можно обеспечить в результате внедрения энергосберегающих машин, технологических процессов и оборудования, в том числе промышленно-освоенных и новых, подлежащих освоению, и около десятой части – за счет повышения уровня использования вторичных энергетических ресурсов.

Снижение затрат на освещение может быть получено за счет усовершенствования систем освещения, использования эффективных источников света, правильного выбора и рационального размещения светильников, применения новых осветительных приборов и устройств, организации эффективного управления освещением и его автоматизации, рационального построения осветительных сетей (солнечные батареи), планомерной и качественной эксплуатации осветительных установок.

Также сохранению не только бюджета, но и природы может поспособствовать переработка вторичного сырья и использование его в качестве топливных ресурсов.

В настоящее время потребление электроэнергии в ООО КФХ «Архангельское» за 2018 г. составляет: за 1 квартал – 121527,58 кВт; 2 квартал – 73817,0149 кВт; 3 квартал – 73816,9537 кВт; 4 квартал – 96278,3418 кВт.

В среднем стоимость потребления электроэнергии в зимний период составляет примерно 60000 кВт в месяц, а в летний – 30000 кВт в месяц (350–400 и 180–200 тыс. рублей в денежном эквиваленте, соответственно). Основной расход электроэнергии приходится на обогрев помещений. При использовании утепления ограждающих конструкций и перекрытий

зданий, утепления оконных и дверных проемов, установки тепловых отражателей, систем частотного регулирования в приводах, замене лампочек экономия электроэнергии составит порядка 15000–16000 кВт, что в денежном эквиваленте будет составлять от 70 до 130 тыс. рублей в месяц.

Проведя небольшое исследование по энергосберегающим мероприятиям в данной области, можно сказать, что применение высокоэффективных технологий, утепление стен, внедрение систем частотного регулирования в приводах электродвигателей, в системах вентиляции, использование вторичного сырья, в качестве топлива – все эти меры являются путем решения для энергосбережения.

Однако с учетом дороговизны данных методов следует провести анализ срока окупаемости, возможности и целесообразности данной установки, по итогам которого можно будет уже более точно сказать, за какой срок данное хозяйство будет иметь значимую экономию в потреблении энергоресурсов.

Источники

1. Гордеев А.С., Огородников Д.Д., Юдаев И.В. Энергосбережение в сельском хозяйстве: учеб. пособие. М.: Лань, 2015. 400 с.
2. Комков В.А., Тимахова Н.С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве. М.: ИНФРА-М, 2016. 320 с.
3. Меркер Э.Э., Карпенко Г.А., Тынников И.М. Энергосбережение в промышленности и энергетический анализ технологических процессов. М.: ООО «ТНТ», 2014. 316 с.
4. Модернизация законодательства европейского союза об охране климата и энергосбережении. М.: ИНИОН РАН, 2015. 265 с.
5. Основы энергосбережения водоподающих систем в жилищно-коммунальном хозяйстве. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2017. 458 с.
6. Оценка экономической эффективности энергосбережения. Теория и практика. М.: Теплоэнергетик, 2015. 400 с.
7. Протасевич А.М. Энергосбережение в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Инфра-М, Новое знание, 2013. 288 с.
8. Семенов В.С. Основы энергосбережения. М.: Книга по Требованию, 2016. 259 с.
9. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Технология энергосбережения. М.: Форум, 2014. 352 с.

10. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». М.: Рид Групп, 2017. 865 с.

11. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». М.: Сибирское университетское издательство, 2015. 1000 с.

12. Энергосбережение в системах промышленного электроснабжения. М.: Интехэнерго-Издат, Теплоэнергетик, 2016. 304 с.

УДК 664.723

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ПРИ ХРАНЕНИИ ЗЕРНА В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИЛОСАХ

Т.С. Березина¹, Ю.Ю. Курбатова²
^{1,2}ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва
^{1,2}berezinatats@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук. Г.П. Власенко

Аннотация. Работа посвящена исследованию теплообмена в металлических силосах и влиянию на него параметров воздушной среды. Исследовано воздействие уровня солнечной радиации при ясном и облачном небе, влияние относительной влажности и температуры наружного воздуха на процесс хранения зерновых культур в металлических силосах. Полученные результаты могут иметь большое значение с точки зрения экономии электроэнергии и повышения энергоэффективности процесса хранения зерна в металлических силосах.

Ключевые слова: энергоэффективность, металлический силос, теплообмен, аэрация, солнечная радиация, облачное небо.

В настоящее время в связи со сложной геополитической обстановкой одной из актуальных задач российской экономики является формирование условий для независимости в сфере АПК, что связано с необходимостью развития предприятий и производств сельскохозяйственной продукции. Приоритетность развития данной отрасли с каждым годом усиливается.

Одна из основных отраслей сельского хозяйства – производство и заготовка зерна. В структуре заготовленных зерновых более 50 % занимает пшеница. Цена на услуги по хранению и складированию зерна не подлежит государственному регулированию, а является суммой спроса и предложения на конкретном товарном рынке в условиях конкуренции. Поэтому крайне важно сократить издержки путем применения энергоэффективных решений при производстве и хранении зерна. Поскольку производство зерна сезонно, а потребление его круглогодично, наиболее важно обеспечить требуемые условия для длительного хранения зерна.

Изучение воздействия факторов, влияющих на хранение зерна, и их минимизация поможет снизить себестоимость продукции и одновременно повысить ее качество. Несмотря на значительное количество работ, посвященных снижению энергозатрат при сушке зерна, недостаточно изучена задача учета внешних факторов, таких, например, как температура, наружного воздуха, интенсивность солнечной радиации, относительная влажность и скорости воздуха наружного воздуха.

В настоящее время ведутся активное строительство и реконструкция предприятий по хранению и переработке зерна, неотъемлемой частью которых являются зернохранилища. Несмотря на то, что существуют различные конструкции зернохранилищ, наиболее востребованными являются металлические силосы большой вместимости (2000–3000 т и более), при строительстве которых срок ввода объектов в эксплуатацию сокращается в 1,5–2 раза, а также значительно снижается трудоемкость работ по сравнению с железобетонными силосами.

Между тем температурно-влажностный режим зерна, хранящегося в металлических силосах, сильно подвержен влиянию суточных и годовых колебаний температуры наружного воздуха и солнечной радиации.

Хранение зерна может быть временным (краткосрочным) и длительным (долгосрочным).

Первое по продолжительности исчисляется в сутках либо до трех месяцев, второе длится от нескольких месяцев до нескольких лет. Как временное, так и долгосрочное хранение должно быть организовано таким образом, чтобы не было потерь в массе (кроме неизбежных) и тем более потерь в качестве [1].



Рис. 1. Металлическое зернохранилище силосного типа

Даже кратковременное хранение партий зерна целесообразнее организовывать в специальных хранилищах, где обеспечивается

стабильное состояние зерновой массы в пределах принятого режима хранения (рис. 1).

Склады с зерном требуют постоянного обслуживания. Персонал должен следить за такими факторами, как:

- влажность зерна;
- температура помещения;
- воздухообмен.

К зернохранилищам предъявляется много разносторонних требований. Все они направлены на то, чтобы можно было обеспечить сохранность зерновых партий с минимальными потерями в массе, без потерь в качестве и с наименьшими издержками при хранении.

Наиболее прогрессивным методом борьбы с повышением влажности зерна является активное вентилирование. Обязательным условием охлаждения зерновой массы является проведение его без увеличения влажности самой массы. Зерно не должно быть подмочено атмосферными осадками, не должна быть также увеличена его влажность в результате сорбции паров воды из воздуха. Поэтому активное охлаждение любой партии зерна необходимо проводить с учетом ее фактической и равновесной влажности, температуры и влажности наружного воздуха.

На кафедре ТМПУ проведены исследования, целью которых является получение критической температуры наружного воздуха, при которой на поверхности крыши зернохранилища силосного типа возникает конденсация. При наступлении данных условий рекомендуется начинать активное вентилирование зернового слоя для удаления избытков влаги [2]. В качестве исходной модели было рассмотрено металлическое зернохранилище силосного типа диаметром 20 м, расположенное в реальных условиях на открытой площадке. Сделано допущение, что крыша силоса представляет собой конус, и расчёт проводился для его поверхности. При фиксированных значениях температуры и относительной влажности воздуха внутри силоса получены зависимости температуры окружающей среды, при которых на внутренней поверхности крыши силоса произойдет влаговываждение. Рассмотрены случаи без учета влияния солнечной радиации, с учетом солнечной радиации при облачном и ясном небе.

Получена математическая модель для определения температуры окружающей среды и температуры крыши силоса, при которых будет происходить образование конденсата на внутренней поверхности крыши. Исследовано влияние солнечной радиации, температуры и относительной влажности воздуха на начало процесса выпадения влаги в силосе. Расчёт

производится в ночное время, так как в это время происходит отвод теплоты в небо (радиационный поток) [3], который приводит к тому, что температура крыши, при которой происходит влаговываждение, повышается. Теплообмен рассматривается только между воздухом и крышей силоса.

Модель для определения конденсации влажного воздуха на крыше силоса имеет вид:

$$\frac{\alpha_{\text{вн}}}{c_p} \cdot \Delta H = \alpha_{\text{н}} \cdot (t_w - t_2), \quad (1)$$

$$\frac{\alpha_{\text{вн}}}{c_p} \cdot \Delta H = \alpha_{\text{н}} \cdot (t_w - t_2) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_w^4 - T_2^4), \quad (2)$$

где $\Delta H = H_1 - H_w$; H_1 – энтальпия при температуре t_1 , кДж; H_w – энтальпия при температуре t_w , кДж; $\alpha_{\text{вн}}$ – внутренний коэффициент теплоотдачи, Вт/м²К; $\alpha_{\text{н}}$ – наружный коэффициент теплоотдачи, Вт/м²К; c_p – коэффициент теплопроводности, Дж/кг К; ε – коэффициент теплового излучения поверхности; σ – постоянная Стефана-Больцмана, $5 \cdot 10^{-8}$ Вт/м² К⁴; t_1 – температура воздуха внутри силоса, °С; T_2 – абсолютная температура атмосферного воздуха, К; T_w – абсолютная температура мокрого термометра, К; t_2 – температура атмосферного воздуха, °С; t_w – температура мокрого термометра, °С; w – скорость воздуха внутри силоса, м/с; φ – относительная влажность воздуха внутри силоса.

Для расчетов определены различные коэффициенты теплоотдачи с дальнейшим использованием наиболее худшего варианта с большим значением коэффициента теплоотдачи, полученного при естественной конвекции.

Из анализа рис. 2 видно, что температура окружающей среды, при которой происходит влаговываждение на кровле, прямо пропорциональна температуре воздуха внутри силоса и сильно зависит от радиационной составляющей.

Из анализа рис. 3 видно, что при снижении влажности воздуха на 10 % значение температуры окружающей среды, например в ясное ночное небо, снижается на 3 °С.

Из анализа рис. 4 можно сделать вывод, что скорость воздуха в рассматриваемом диапазоне незначительно влияет на критическую температуру влаговываждения.

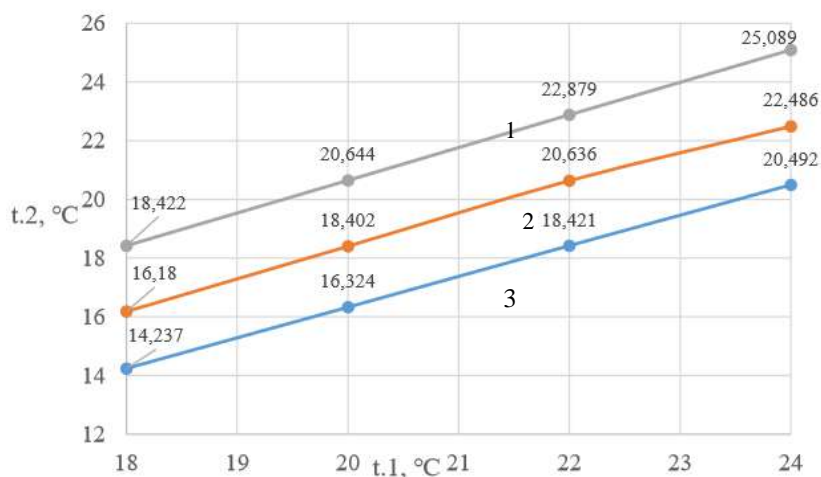


Рис. 2. Критические температуры наружного воздуха в зависимости от температурного режима внутри силоса, данные для скорости воздуха внутри силоса 0,05 м/с, $\varphi = 0,8$:

- 1 – температура конденсации с учётом солнечной радиации при ясном небе;
- 2 – температура окружающей среды с учётом солнечной радиации при облачном небе;
- 3 – температура окружающей среды без учета солнечной радиации

Таким образом, на основании произведенного моделирования, можно сделать вывод о том, что в металлическом силосе самой опасной зоной является воздушное пространство под крышей, так как здесь воздух имеет максимальные влажность и температуру. Проведённые расчёты математических моделей для поверхности крыши металлического силоса показали, что полученные температуры окружающей среды, при которых происходит влаговываждение, выше, чем при расчёте модели для стены силоса [2]. В связи с этим необходимо сосредоточить свое внимание на критических температурах на поверхности крыши силоса и контролировать этот параметр.

Важно отметить, что фактор солнечной радиации имеет негативное воздействие на температурный режим внутри силоса, повышая критическую температуру влаговываждения. Значения температур на 13 % выше при учете облачного неба и порядка 26 % при учете ясной солнечной радиации.

При этом повышение скорости воздуха внутри силоса не дает значительного снижения температуры, из чего следует возможные сокращения затрат электроэнергии на электропривод.

Анализ математической модели и зависимости температуры влаговываждения от относительной влажности и температурного режима внутри силоса позволяют сделать вывод о существенном влиянии на процессы конденсации таких факторов как интенсивность солнечной радиации (при ясном и облачном небе) и температуры наружного воздуха. Выявлены более высокие критические температуры влаговываждения на

крыше силоса по сравнению с боковыми поверхностями. Таким образом, суточное погодное регулирование скорости подачи воздуха вентилятором внутри силоса, а также дополнительные мероприятия по изоляции крыши могут иметь большое значение с точки зрения экономии электроэнергии в течение периода хранения зерна при сохранении его биохимических характеристик.

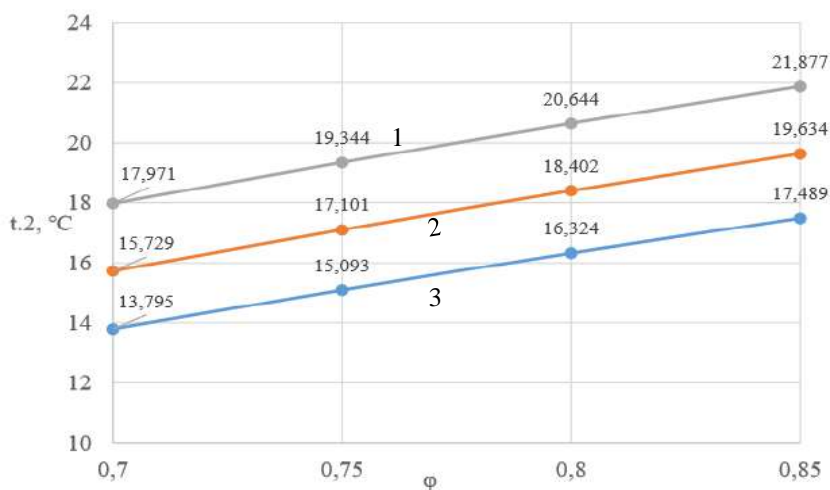


Рис.3. Критические температуры наружного воздуха в зависимости от относительной влажности внутри силоса, данные для $t_1 = 20^\circ\text{C}$, скорость воздуха внутри силоса $w = 0,05$ м/с: 1 – температура конденсации с учётом солнечной радиации при ясном небе; 2 – температура окружающей среды с учётом солнечной радиации при облачном небе; 3 – температура окружающей среды без учета солнечной радиации

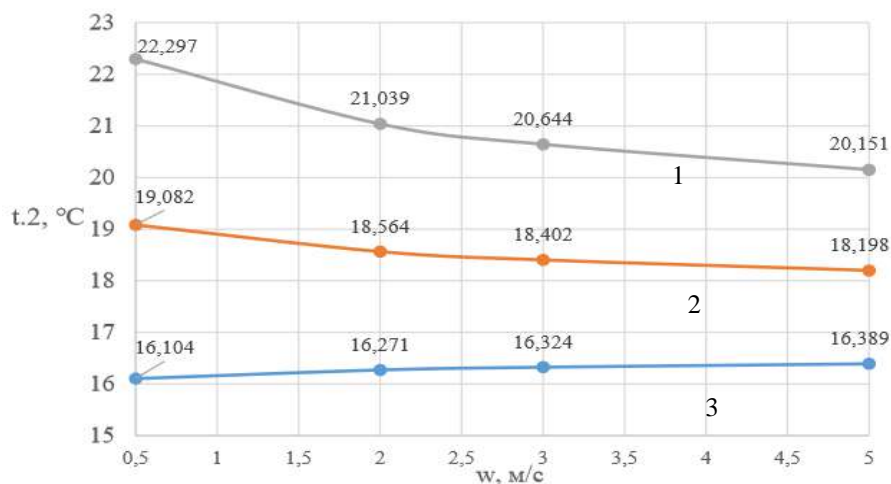


Рис. 4. Критические температуры наружного воздуха в зависимости от скорости воздуха внутри силоса, данные для $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 0,8$: 1 – температура конденсации с учётом солнечной радиации при ясном небе; 2 – температура окружающей среды с учётом солнечной радиации при облачном небе; 3 – температура окружающей среды без учета солнечной радиации

Источники

1. Малин Н.И., Энергосберегающая сушка зерна. М.: Колосс, 2004. 240 с.
2. Влияние климатических факторов на параметры процесса хранения зерна в металлических силосах / Т.С. Березина [и др.] // Энергосбережение – теория и практика: тр. 9-го Междунар. школы-семинара молодых ученых и специалистов. М., 2018. С. 21–24.
3. Солодов А.П. Теплообмен излучением в прозрачной среде. [Электронный ресурс]. URL: http://tw.t.mpei.ac.ru/solodov/hmt-ebook_2009/HMT_E-Book/E-book/Chapt_22_Diathermal_Medium.pdf (дата обращения: 14.12.2018).

УДК 621.64

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОБОГРЕВА ТРУБ

Н.М. Биккинеев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
bikkineev.nail@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук Л.Р. Гайнуллина

Аннотация. В данной статье рассматриваются способы обогрева трубопроводов для подачи воска, их достоинства и недостатки, а также приведен экономический расчет на небольшой участок длины трубопровода.

Ключевые слова: пароспутник трубопровод, паровой подогрев, энергоэффективность, электрический обогрев, теплообменник.

В настоящее время для подогрева воскопроводов и арматуры применяется, главным образом, пар. Это обусловливается относительной простотой получения пара с необходимыми параметрами на ТЭС или в котельной. Как теплоноситель он характеризуется способностью передавать при конденсации большое количество теплоты и, самое главное, возможностью транспортирования по трубопроводам [1].

На сегодняшний день долгосрочные показатели энергоэффективности и снижение выбросов углеводородов могут стать важнейшим критерием при выборе оборудования, в том числе, систем электрообогрева [2].

В настоящее время применяются следующие системы обогрева трубопроводов:

- пароспутники;
- кабельный обогрев труб: наружный и внутренний.

Парообогрев имеет ряд достоинств. Например, парообогрев не создает искр в процессе работы и может быть использован

во взрывоопасных зонах, где установка контуров электрообогрева сильно ограничена (или запрещена) по соображениям безопасности. Также, паробогрев выбирают для эксплуатации на тех установках, где пар является побочным продуктом конденсации (пар вскипания) или экзотермических процессов. В таких случаях расходы на электрообогрев будут значительно превышать стоимость пара.

Однако у паробогрева имеется и ряд серьезных недостатков. Одним из них является то, что пар не рекомендуется использовать в неметаллических трубах, трубопроводах с внутренним покрытием и емкостях, хотя в некоторых случаях изолированные спутники могут применяться. Необходимость применения фитингов предполагает возможные утечки теплоносителя. Сложный монтаж, обслуживание и трудоёмкость реализации процесса также ограничивают применение данного способа обогрева.

В связи с большим количеством недостатков данного способа обогрева труб долгое время проводились разработки в поисках не менее эффективного, но более простого и дешевого способа обогрева. Так появился обогрев труб кабелем.

Преимуществами электрообогрева являются поддержания температуры технологических линий и подключенного к ним оборудования, могут применяться самые разные типы и методы электрообогрева. За счет выбора нагревателя и выбора расчетных параметров, таких как напряжение питания, теплоотдачу от систем электрообогрева можно настраивать на работу различных систем – от систем защиты от замерзания до крайне высоких температур поддержания в технологических процессах до 500 °С (932 °F). Также трубы малой длины и длинные трубопроводы, длиной до 25 км (15 миль) могут обогреваться при помощи различных типов нагревательных кабелей и нагревательных систем на основе скин-эффекта [1, 3].

Электрообогрев часто рекомендуют устанавливать в системах обогрева термочувствительных продуктов, у которых необходимо поддерживать температуру в узком диапазоне. Данный тип систем обогрева легко можно оснастить устройствами регулирования температуры с целью точного регулирования температуры, поддержания ее в указанных границах и экономии энергии. Поскольку в системах электрообогрева отсутствует жидкость, в ней нет фитингов и коллекторов, в которых могут происходить потери энергии и которые требуют периодического обслуживания. Благодаря этому установка систем становится более простой, а стоимость эксплуатации и технического обслуживания снижается [1].

На протяжении своей истории электрообогрев зарекомендовал себя как безопасный способ обогрева технологических линий и оборудования. Строгие промышленные стандарты и аудит систем уполномоченными организациями обеспечивают использование систем по назначению.

Недостаток такой системы обогрева заключается в том, что в системах поддержания температуры электрообогрев зачастую обеспечивает слишком медленный прогрев труб, необходимый для возобновления потока жидкостей после аварийного отключения или плановых ремонтов на предприятии.

Системы регулирования температуры в трубах могут быть достаточно простыми, как, например, контрольный дискретный механический термостат, или сложными, такими как микропроцессорный блок управления. Для систем паробогрева устройства управления и контроля предусмотрены, но используются редко. Относительная стоимость паровых, электрических и терможидкостных систем обогрева в некоторой степени зависит от стоимости устройств управления и контроля, устанавливаемых в каждой системе. Эффективность системы парового обогрева в значительной степени зависит от ограничения объемов утечек на неисправных пароуловителях [4].

С помощью систем управления, указанных выше, контуры электрического нагрева могут поддерживать температуру трубы на уровне 5 °C (40 °F) в системах защиты от замерзания. Это осуществляется за счет использования простых предустановленных органов управления или настраиваемых термостатов для защиты от замерзания и поддержания температуры. Микропроцессорные блоки управления и контроля температуры для одного, двух или нескольких контуров могут обеспечить регулирование температуры в пределах до 500 °C (932 °F) [1].

Как правило, паробогрев характеризуется высокой теплоотдачей для тех систем, где давление пара находится в диапазоне 3–21 бар. Однако разработаны новые изолированные спутники, которые обладают низкой и высокой теплоотдачей и способны поддерживать температуру трубы в диапазоне 5 (40)–93 °C (200 °F) [4]. Такие спутники используются во многих системах, где необходима подача мягкого тепла для таких материалов, как едкий натр, каучуки, амин и т. д. В число способов регулирования входят регулирование по температуре окружающей среды, регулирование по температуре трубы, конденсатоотводчики и изолированные спутники. Однако в системах, где необходимо обеспечить малую разность температур, как правило, основным выбором падает на электрообогрев. В системах с высоким теплопоглощением для

электрического обогрева могут понадобиться несколько проходов. В результате паробогрев, как правило, характеризуется меньшими расходами с учетом установки в системах с высокой тепловой нагрузкой и малым временем прогрева.

Сравнительный анализ электрообогрева и паробогрева трубопроводов проведен для крупного предприятия, в технологическом процессе которого необходим обогрев воскопровода с поддержанием температуры воска не менее 70 °С.

Трубопровод для подогрева воска (Ду 150)

Общие исходные данные:

Диаметр трубопроводов:	150 мм
Общая протяженность трубопроводов	800 м
Требуемая температура	70 °С
Коэффициент использования труб	60 %
Отопительный период	12 месяцев
Средняя температура окружающей среды	4 °С

Система электрообогрева:

Тип греющего кабеля	15ХТВ2-СТ в одну нитку
Стоимость электроэнергии	1,13 руб./кВт

Система паробогрева:

Стоимость пара	250 руб./Гкал
Давление пара	8 бар
Тип пароспутника	Нержавеющая сталь
Количество ниток пароспутника	1

Результаты сравнительного анализа капитальных затрат, годовых эксплуатационных затрат для поддержания температуры воска в трубопроводе 70 °С паробогревом и электрообогревом представлены в табл. 1, 2.

Важно понимать, что не существует универсального способа обогрева, подходящего для любой ситуации. Определяющим фактором в выборе способа обогрева следует считать конкретную технологическую установку с ее индивидуальными требованиями.

Бывают случаи, когда с точки зрения экономической целесообразности на промышленном предприятии могут быть установлены один или два способа обогрева. В одной установке может быть доступен пар, и он может быть лучшим решением для обогрева, тогда как в других случаях оптимальным выбором может быть электрический обогрев. На большинстве нефтеперерабатывающих и химических предприятий, как правило, устанавливаются паровые и электрические системы обогрева на всем заводе.

Таблица 1

Капитальные затраты (в руб.)

	Материал	Строительно-монтажные работы
Система парового обогрева		
Паропроводы	473907,2	330980
Пароспутники	160824,2	404782,9
Конденсатоотводчики	200322,6	81787,7
Трубопроводы возврата конденсата	473907,2	33980
Теплоизоляция	236390,5	101719,5
Итого	1545351,7	1250251,1
Система электрообогрева		
Греющие кабели и комплектующие	2882314,3	53122,2
Силовые кабели и подключения	30032,5	31875,94
Распределительные панели	76953,6	6043,3
Итого	2989300,4	91031,44

Таблица 2

Годовые эксплуатационные затраты (в руб.)

	Потребление энергии	Обслуживание	Итого
Паровой обогрев	701011,78	46388,16	747399,94
Электрообогрев	182593,1	17433,9	200027

Результаты экономического расчета (табл. 1, 2) указывают на эффективность использования электрического обогрева. Затраты на монтаж и установку по расходам практически одинаковые, но годовые эксплуатационные затраты значительно ниже, чем у парового обогрева.

Источники

1. Барт Р.Э., Макдональд А. Оценка энергоэффективности и затрат на паровой и электрический обогрев для нефтеперерабатывающих заводов. 1994.

2. Питцер К., Барт Р. Паровой обогрев для энергосбережения // Выставка и конференция инженеров-химиков. 2000.

3. Люк М. А., Мизерлс К. К. Сравнение пара и обогрева на работе завода // Oil and Gas. 1977. С. 64–73.

4. Бойнтон Т., Дьюирст Б. Энергосбережение за счет ревизии паропроводов и профилактических программ технических работ // Armstrong International.

5. Маккэй Брюс П.Э. Проектирование рентабельной системы возврата конденсата // Chemical Processing. 1997.

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОТИВОДАВЛЕНЧЕСКИХ ТУРБИН НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ НАГРУЗКИ

Н.С. Босов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
bosov.nik@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук Ю.В. Абасев

Аннотация. Данная статья посвящена одной из самых острых проблем теплоэнергетики, а именно – проблемы эффективного использования противоаварийных турбин на тепловых электростанциях при низкой производственной нагрузке. Рассматриваются несколько способов решения этой проблемы, а также их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: противоаварийная турбина, турбина типа «Р», повышение эффективности, повышение экономичности.

Одной из важнейших проблем энергетики последних лет является постоянное снижение отпуска тепла паровых турбин. Существенно снизилась потребность в отпуске производственного пара, что в свою очередь приводит к снижению экономических и эксплуатационных показателей теплоэлектроцентралей, а для противоаварийных турбин – к заметному снижению электрической мощности и даже к длительным простоям.

После развала СССР многие такие турбины простаивали, так как отсутствовал внешний потребитель отработавшего пара. Без потребителя пара невозможна и их эксплуатация, а, значит, и выработка электроэнергии.

Простаивающие турбины типа «Р» не только не дают прибыли, но и требуют затрат на поддержание его в рабочем состоянии, на содержание эксплуатационного персонала, амортизацию и налоги. Одними из главных проблем являются стояночная коррозия и ремонт запорной арматуры.

С ростом энергопотребления вопрос о вводе в строй простаивающих турбин типа «Р», имеющих значительный резерв паркового ресурса, стоит особенно остро, и решение этого вопроса позволит по существу провести техническое перевооружение основного оборудования ТЭЦ с минимальными затратами.

Одним из решений модернизаций турбин типа «Р» является установка к таким турбинам небольших турбин типа «К», рассчитанных на работу с более низкими параметрами пара. То есть отработавший пар в

турбине «Р» поступает в голову дополнительно установленной турбины типа «К», где завершает свою работу и конденсируется в конденсаторе (рис. 1).

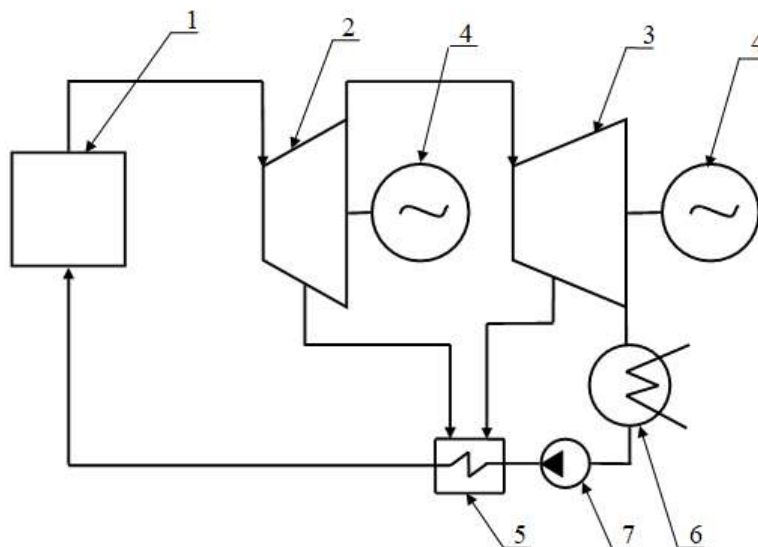


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема эксплуатации противоавленческой турбины совместно с конденсационной: 1 – паровой котел; 2 – противоавленческая турбина; 3 – конденсационная турбина; 4 – электрогенератор; 5 – система регенерации; 6 – конденсатор; 7 – конденсатный насос

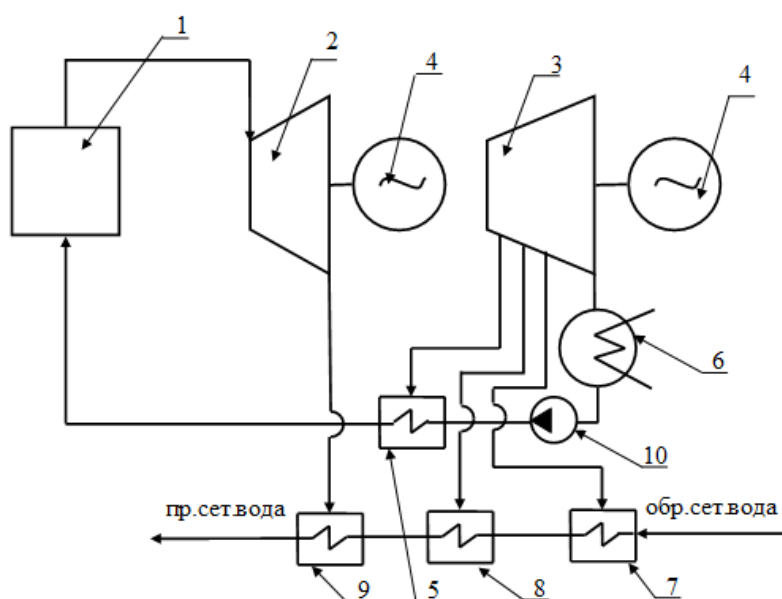


Рис. 2. Принципиальная схема работы противоавленческих турбин по теплофикационному графику: 1 – паровой котел; 2 – противоавленческая турбина; 3 – теплофикационная турбина; 4 – электрогенератор; 5 – система регенерации; 6 – конденсатор; 7 – нижний сетевой подогреватель; 8 – верхний сетевой подогреватель; 9 – водогрейный бойлер, заменяющий ПВК; 10 – конденсатный насос [1]

Еще одним решением модернизации турбины типа «Р» может стать переход на теплофикационную нагрузку, предусматривающее снижение

противодавления до 0,4 МПа и отбор пара из выхлопного патрубка турбины на водогрейный бойлер или в общестанционный коллектор (рис. 2).

Одна из возможных схем работы турбины ПР-6-35/5/1,2 для покрытия теплофикационных нагрузок показана на рис. 3. Турбоагрегат имеет регулируемый отбор пара, которым питаются «верхний» подогреватель сетевой воды 4 и регенеративные подогреватели питательной воды 19. «Нижний» подогреватель сетевой воды 6 и деаэратор атмосферного давления 14 запитаны из противодавления турбины.

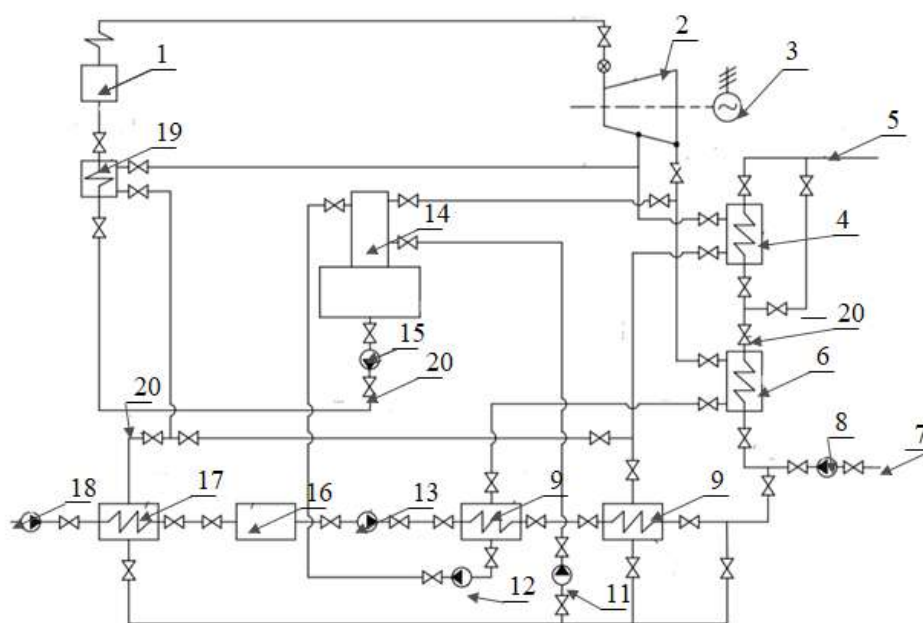


Рис. 3. Принципиальная тепловая схема паровой турбины ПР-6-35/5/1,2:
 1 – парогенератор; 2 – паровая турбина; 3 – электрогенератор; 4 и 6 – подогреватель сетевой воды большего и меньшего давления, соответственно; 5 и 7 – магистраль прямой и обратной сетевой воды, соответственно; 8 – насос сетевой воды; 9 и 10 – подогреватели подпиточной воды; 11 и 12 – дренажные насосы; 13 – насос химически очищенной воды; 14 – деаэратор атмосферного давления; 15 – питательный насос; 16 – химводоочистка; 17 – подогреватель сетевой воды; 18 – насос сырой воды; 19 – подогреватель питательной воды; 20 – арматура

Подпиточная вода нагревается в подогревателях 9, 10 и 17 дренажами пара из регулируемого отбора и противодавления. В отопительный период работают оба подогревателя сетевой воды и подогреватель питательной воды. В неотапительное время, когда работает только система горячего водоснабжения, подогреватели 4 и 19 не работают.

Из небольшого анализа [3] можно сделать вывод, что значения удельного расхода условного топлива при условии работы турбины с отключенным отбором пара несколько выше, чем при условии работы ПТУ с отбором пара. Это значит, что работа паровой турбины с отбором

пара при условии одинаковой загрузки турбогенератора более эффективна и требует меньшего расхода топлива. В этом варианте работа противо-давленческой турбины более эффективна и характеризуется более высокими значениями доли теплоты топлива, затраченной на производство теплоты.

Важной особенностью перехода турбин типа «Р» на теплофикационный режим является то, что необходимо регулировать температуру и давление пара из производственного отбора. Регулирование может проводиться с помощью специальных регулирующих теплообменников, устанавливаемых на паровых магистралях, где за счет впрыска воды снижается температура пара за турбиной и отпуск острого пара с котла для повышения этой температуры [2].

Разумеется, что данный способ регулирования температуры пара за турбиной сопровождается потерей теплоты, а значит, и к перерасходу топлива. Кроме того, впрыск охлаждающей воды ограничивается возникновением гидравлических тепловых ударов, а также реализация данного метода приводит к усложнению и удорожанию схемы и в результате к снижению надежности.

Таким образом, не совершенные способы регулирования температуры пара за противо-давленческой турбиной требует разработки более эффективных и малозатратных способов регулирования. В заключении хотелось бы добавить, что модернизация противо-давленческих турбин в условиях снижения производственной нагрузки позволяет не только эксплуатировать турбоустановки в теплофикационном режиме, но и обеспечивает повышение экономичности работы всей ТЭС.

Источники

1. Божко В.В., Шаргородский В.С. Модернизация турбоустановок типа «Р» с целью их перевода с противо-давления на работу по теплофикационному графику. Опыт эксплуатации модернизированных турбин [Электронный ресурс] // Малые и средние ТЭЦ. Современные решения: матер. науч.-практ. конф. Режим доступа: <http://www.combienergy.ru/stat/908-Modernizaciya-turboustanovok-tipa-R-s-celyu-ih-perevoda> (дата обращения: 07.10.2018).

2. Хассан Моайед Р. Повышение эффективности работы ТЭЦ, оснащенных противо-давленческими турбинами, путем совершенствования программ управления тепловой и электрической мощностью [Электронный ресурс]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: СПб., 2002. 17 с.

URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/233.pdf/download/233.pdf> (дата обращения: 07.10.2018).

3. Чепурной М. Н., Резидент Н. В., Корженко Е. Анализ применения противодавленческой турбины ПР-6-35/5/1,2 для теплофикации [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/F4R7T> (дата обращения: 07.10.2018).

УДК 621. 315. 615. 2: 543. 544

ПРОБЛЕМА ДИАГНОСТИКИ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

Ву Нгок Зан¹, Нгуен Зуи Хынг²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
^{1,2}vndan@cnd.edu.vn

Науч. рук. д-р хим. наук В.Ф. Новиков

Аннотация. В работе рассмотрена возможность диагностики трансформаторного маслонаполненного электрооборудования с использованием инструментальных методов. Наиболее широко используются спектральные и хроматографические методы, которые обладают достаточно высокой чувствительностью. Определены концентрации индивидуальных компонентов, выделяющихся из трансформаторного масла. Приведена сравнительная характеристика инструментальных методов контроля содержания примесных соединений в трансформаторном масле.

Ключевые слова: маслонаполненное электрооборудование, инструментальный метод, тонкослойная хроматография, фурановые соединения, трансформаторное масло, бумажная изоляция, метанол, этанол.

Как известно, силовое трансформаторное оборудование относится к одним из слабых звеньев энергетической отрасли промышленности, так как их техническая неисправность приводит к длительному простое энергетических блоков. Поэтому основным направлением бесперебойной работы силовых трансформаторов является переход от планово-предупредительных ремонтов к техническому обслуживанию по их состоянию, которое заключается в обнаружении неисправностей на ранней стадии их возникновения, когда они ещё не представляют угрозу для эксплуатации маслонаполненного электрооборудования. С этой целью обычно проводят обследование трансформаторного электрооборудования, которое, как правило, включает анализ результатов технических архивов, экспериментальные данные измерений и испытаний, эксплуатационную документацию, обследование оборудования с использованием

тепловизоров, определение вибрационных характеристик и степень частичных разрядов, диагностику переключающих устройств и масляных насосов. Для полной характеристики трансформаторного масла проводят его физико-химический анализ с использованием различных инструментальных методов [1–3].

В процессе эксплуатации маслonaполненного электрооборудования под влиянием высокой температуры, вибрации, электромагнитных полей и других негативных моментов в нём образуются различные газообразные соединения, которые ухудшают условие работы силовых трансформаторов. Эти газообразные соединения определяют методом газовой хроматографии с использованием насадочных хроматографических колонок и системы пробоподготовки. По результатам анализа растворенных газов проводят диагностику маслonaполненного электрооборудования [4].

В силовых трансформаторах в качестве диэлектрических материалов используется также электроизоляционная бумага. Она под влиянием влажности и высокой температуры в результате гидролитического и термоокислительного процессов подвергается деструкции с образованием фурановых соединений. Эти фурановые соединения мигрируют в трансформаторное масло и ухудшают его диэлектрические характеристики. Контроль за содержанием фурановых соединений в трансформаторном масле проводится с использованием высокоэффективной жидкость-жидкостной, газожидкостной и тонкослойной хроматографией [5–8].

Трансформаторное масло имеет сложный многокомпонентный состав, в котором содержится значительное количество нафтеновых углеводородов, а также соединений ароматической структуры, которые под влиянием температуры и кислорода воздуха окисляются. Степень окисления трансформаторного масла, как правило, возрастает с увеличением числа и длины боковых цепей молекулы углеводородов. Интенсивность процесса окисления трансформаторного масла возрастает при совместном воздействии на него электрического поля, молекулярного кислорода и контакта с конструкционными материалами маслonaполненного электрооборудования, которые являются катализаторами процесса окисления.

Электрическая прочность трансформаторного масла снижается также при наличии влаги, которая может быть в виде эмульсии и избыточной воды, которая осаждается на дно бака совместно со шламом. Примеси влаги в трансформаторном масле также существенно снижают

его электрическую прочность и во многих случаях приводят к выходу из строя электрооборудование. Проблема усугубляется наличием в трансформаторном масле волокнистых примесей, которые являются гигроскопичными, впитывают в себя влагу и повышают электропроводность. Кроме того, в процессе эксплуатации маслonaполненного электрооборудования образуется взвешенный уголь, частицы которого оседают на изоляторах и погруженных в трансформаторное масло деталях оборудования. Эти частицы способствуют созданию электропроводящих мостиков, которые могут быть причиной коротких замыканий в силовых трансформаторах.

В процессе эксплуатации силовых трансформаторов в трансформаторном масле в результате окислительных процессов образуется кислота, которая оказывает негативное воздействие на металлические детали технологического оборудования, а также на твердую неорганическую изоляцию. Таким образом, образовавшиеся твердые осадки покрывают сплошным слоем внутренние детали силового трансформатора, что приводит к ухудшению технологических условий охлаждения, механическому повреждению изоляции и повышению температуры обмотки. Образовавшиеся продукты деструкции твердой изоляции способствуют ускорению процесса старения трансформаторного масла и выводу его из эксплуатации.

Для диагностики маслonaполненного электрооборудования в настоящее время применяются различные инструментальные методы контроля. Наиболее широко используются спектральные и хроматографические методы, которые обладают достаточно хорошей чувствительностью и низким порогом определения примесных компонентов в трансформаторном масле [5–8].

В таблице приведена сравнительная характеристика используемых в настоящее время инструментальных методов контроля трансформаторного масла.

Как видно из таблицы, основное достоинство хроматографических методов контроля содержания примесей в трансформаторном масле заключается в большом количестве определяемых компонентов в процессе однократного ввода пробы в хроматографическую колонку, а также высокой чувствительности и малой погрешности анализа. В связи с этим хроматографические методы достаточно широко используются в энергетических предприятиях для контроля содержания маркеров и ключевых параметров технического состояния основных узлов маслonaполненного электрооборудования.

Сравнительная характеристика инструментальных методов контроля содержания примесей в трансформаторном масле

№	Название метода	Погрешность, %	Нижний предел обнаружения	Количество определённых компонентов
1	Спектрофотометрия	2–5	10^{-6}	1,0
2	Фотоколориметрия	3–5	10^{-5}	Не более 10
3	Бумажная хроматография	5–25	10^{-5}	1,0
4	Тонкослойная хроматография	5–15	10^{-6}	Не более 10
5	Высокоэффективная жидкостная хроматография	10–15	10^{-4}	Не более 20
6	Газовая хроматография	0,2–2,0	10^{-6}	Более 200
7	Хромато-масс спектрометрия	7,0	10^{-7}	Более 200
8	ИК-спектроскопия	0,5–1,0	10^{-6}	1,0
9	УФ-спектроскопия	2–3	10^{-7}	1,0
10	Оптическая спектроскопия	2–3	10^{-4}	1,0

В последнее время для определения степени деградации бумажно-масляной изоляции в силовых трансформаторах стали использовать маркеры второго поколения, к которым относятся кроме фурановых производных также метанол и этанол, которые образуются в результате разрыва одной 1,4 – β – гликозидной связи молекулы целлюлозы. При этом концентрация метанола в трансформаторном масле сильно зависит от температуры, а превышение его концентрация диагностируется как наличие дефектов, затрагивающих бумажную изоляцию.

Источники

1. Singh S., Bandyopadhyay M., Dissolved gas analysis technique for incipient fault diagnosis in power transformers: A bibliographic survey // IEEE Electrical Insulation Magazine. 2010. Vol. 26, № 6. Pp. 41–46.

2. Sarathi R., Yadav K.S., Swarna V., Understanding the surface discharge characteristics of thermally aged copper sulphide diffused oil impregnated pressboard material // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2015. Vol. 22, № 5. Pp. 2514–2521.

3. Карташова А.А., Новиков В.Ф. Определение фурановых соединений в трансформаторном масле газохроматографическим методом с использованием новых сорбентов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 1-2. С. 47–52.

4. СТО 56947007-29.180.010.094-2011. Методические указания по определению содержания газов, растворенных в трансформаторном масле [Электронный ресурс]. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2011. 35 с. URL: <https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.180.010.094-2011.pdf> (дата обращения: 25.12.2018).

5. РД 34.51.304-94. Методические рекомендации по применению в энергосистемах тонкослойной хроматографии для оценки остаточного ресурса твердой изоляции по наличию фурановых соединений в трансформаторном масле [Электронный ресурс]: утв. Департаментом науки и техники РАО «ЕЭС России» 20 июня 1994 г. URL: https://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=2092 (дата обращения 6 25.12.2018).

6. Львов Ю.М., Писарева Н.А., Сапонников Ю.М. Применение тонкослойной хроматографии при определении микроколичеств фурановых производных в изоляционном масле электрооборудования // Электрические станции. 1993. № 8. С. 48–51.

7. Карташова А.А., Новиков В.Ф. Тонкослойная хроматография как метод контроля фурановых соединений в трансформаторном масле // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 1-2. С. 138–145.

8. Инструментальные методы анализа: монография. В 3 ч. Ч. 2. Молекулярно-абсорбционный контроль производственных процессов / Е.С. Каратаева. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. 272 с.

УДК 697.343

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЦИКЛОВ НАМОКАНИЕ-СУШКА

А.Р. Габдуллина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
alfiya.gabdullina95@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук А.М. Гусячкин

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования влияния циклов намокание-сушка на эксплуатационные характеристики теплоизоляционного материала. В качестве изоляции был выбран материал марки Rockwool TexMat 50, применяемый для тепловых сетей. Для измерения теплопроводности использовался прибор ИТС-1. Установлено, что циклы намокание сушка могут повлиять на теплопроводность изоляционных материалов и на их плотность.

Ключевые слова: теплоизоляция, тепловые сети, коэффициент теплопроводность, минеральная вата.

Одной из основных проблем энергосбережения в России является использование некачественных теплоизоляционных материалов при

строительстве тепловых сетей. Такой вывод был сделан, исходя из анализа реализации действующей энергетической стратегии России до 2020 г. [7, 8]. Износ основных фондов центральной тепловой сети (ЦТС) увеличился до 70 % по сравнению с 65 % на период до 2010 г.; 82 % тепловых сетей требуют срочного капитального ремонта или полной замены, а количество потерь теплоты такими сетями составляет 30 %; более 70 повреждений приходится на 100 км теплопровода ЦТС [1]. Таким образом, одним из основных направлений экономической и энергетической политики страны является улучшение сферы теплоснабжения. Поэтому основной задачей является анализ теплоизоляционных материалов, способствующих эффективной и долговременной работе тепловых сетей. От характеристик теплоизоляционных материалов зависит надежность работы тепловых сетей. Одной из основных характеристик теплоизоляционных материалов является ее теплопроводность, а самым распространенным является минеральная вата, поскольку она устойчива к ультрафиолетовому излучению, морозостойка, пожаробезопасна. Известно, что при эксплуатации тепловых сетей может произойти ее намокание, что приводит к увеличению потерь тепла.

Известны работы [1, 2] с результатами численных и экспериментальных исследований по влиянию увлажнения тепловой изоляции трубопроводов (минеральной ваты, пенополиуретана) и грунта на время установления стационарного теплового режима и тепловые потери подземных теплотрасс. При увлажнении теплоизоляции стационарный режим наступает на 4–4,5 ч позже по сравнению с сухой теплоизоляцией, а тепловые потери теплопровода возрастают на 65 %.

На сегодняшний день крайне мало работ, в которых исследуется теплопроводность изоляционных материалов при их увлажнении, также отсутствуют данные влияния циклов намокание-высушивание на эксплуатационные характеристики изоляционных материалов. Поэтому в этой работе планируется экспериментальные исследования влияния циклов намокания-сушка на физические свойства минеральной ваты.

Измерения теплопроводности изоляционных материалов осуществлялось в соответствии с ГОСТ7076-99 «Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». Для этого был использован прибор измеритель теплопроводности ИТС-1 (рис. 1). Прибор состоит из измерительной ячейки (теплозащитный кожух, нагреватель и холодильник) и электронного блока, размещённых в едином корпусе. На лицевой панели прибора расположены клавиатура и графический индикатор. На задней торцевой стенке расположены выключатель, разъём шнура сетевого питания с защитными предохранителями: основным и запасным [6].



Рис. 1. ИТС-1



Рис. 2 . Образец материала Rockwool TexMat 50 в сухом виде

Для измерений изготавливают образцы в виде прямоугольного параллелепипеда, наибольшие грани которого имеют форму квадрата с размерами 150×150 мм (рис. 2).

Теплозащитные свойства теплоизоляционных материалов во многом зависят от плотности материала. Поэтому перед экспериментами каждый образец взвешивался на электронных весах для определения его плотности.

Толщину образцов измеряют цифровым штангенциркулем, мод. ШЦЦ-I-150-0,01, с погрешностью не более 0,03 мм в четырёх углах на расстоянии $(50,0 \pm 5,0)$ мм от вершины угла и посередине каждой стороны. За толщину образца принимают среднеарифметическое значение результатов всех измерений.

Для выявления изменения теплозащитных свойств циклов намокание-сушка гидрофобизированного волокнистого теплоизоляционного материала подготовленные образцы увлажнялись путем полного погружения материала в емкость с водой, где выдерживались в течение 30 минут. После чего материал высушивался в сушильном шкафу СНОЛ-25.25.25/2М, при температуре 120°C до полного высыхания в печи (рис. 3).



Рис. 3 Образец в печи

Эксперименты были проведены для двух одинаковых плоских образцов материала марки Rockwool TexMat 50 с плотностью 43 кг/м^3 . При исследовании образцы подвергались 6 циклам намокание-сушка. Время каждого цикла составляло 40 мин.

Увлажнение материалов осуществлялось равномерным введением материала в емкость с определенным количеством воды, а затем образец помещался в сушильный шкаф на 40 мин., после взвешивался и снова помещался в шкаф на 40 мин., и так до того момента, когда образец полностью не высохнет. Количество таких циклов составило 6.

На (рис. 4) показано изменение массы материала во времени для различных циклов. На (рис. 5, 6) показаны изменения теплопроводности и плотности изоляционного материала в зависимости от циклов намокание-сушка. Теплопроводность изоляционного материала практически не меняется вплоть до 4 цикла, затем происходит резкое увеличение теплопроводности с $0,0356$ до $0,062 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$. Плотность материала с достижением 6 цикла увеличивается в 2,9 раз.

В ходе проведенных исследований было выявлено влияние циклов намокание-сушка на двух образцах материала Rockwool TexMat 50.

Установлено, что в результате циклов намокание-сушка теплопроводность изоляционных материалов может увеличиться до 1,8 раза. Также было выявлено, что плотность материала может существенно увеличиться в результате циклов намокание сушка. Плотность материала увеличилась в 2,9 раза.

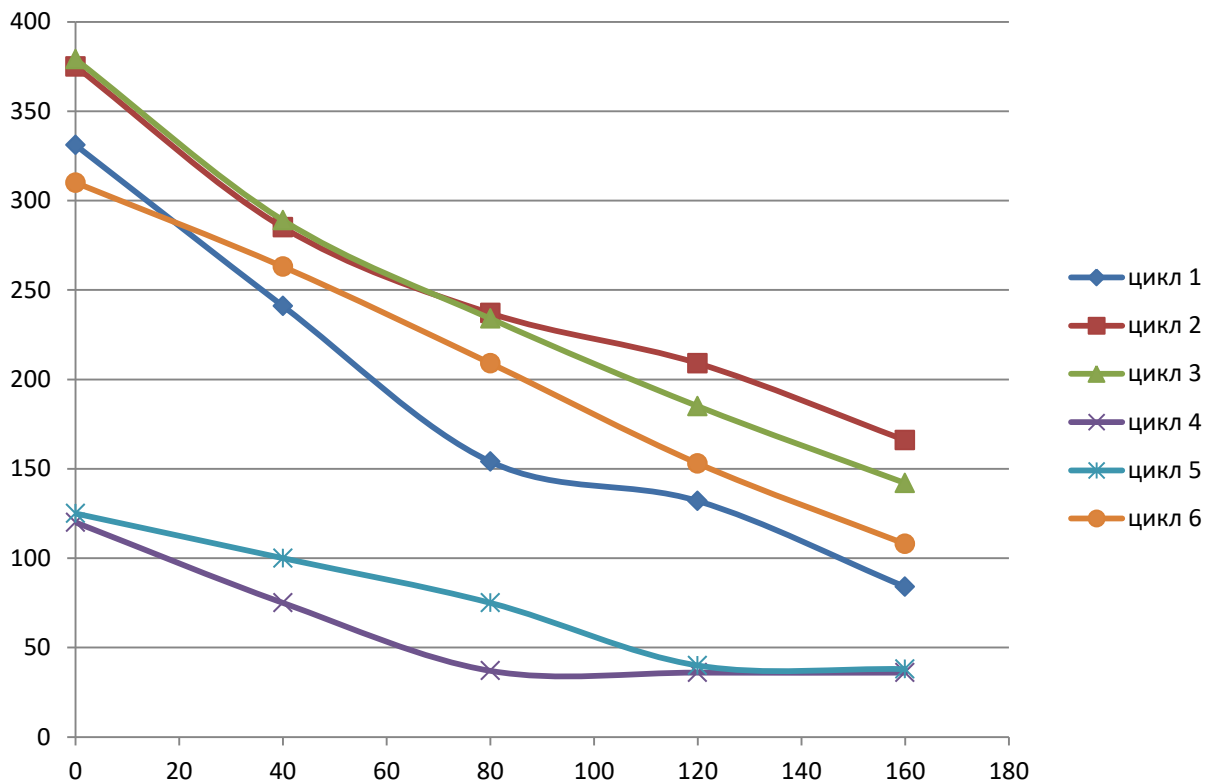


Рис. 4. График зависимости массы от времени сушки материала Rockwool TexMat 50

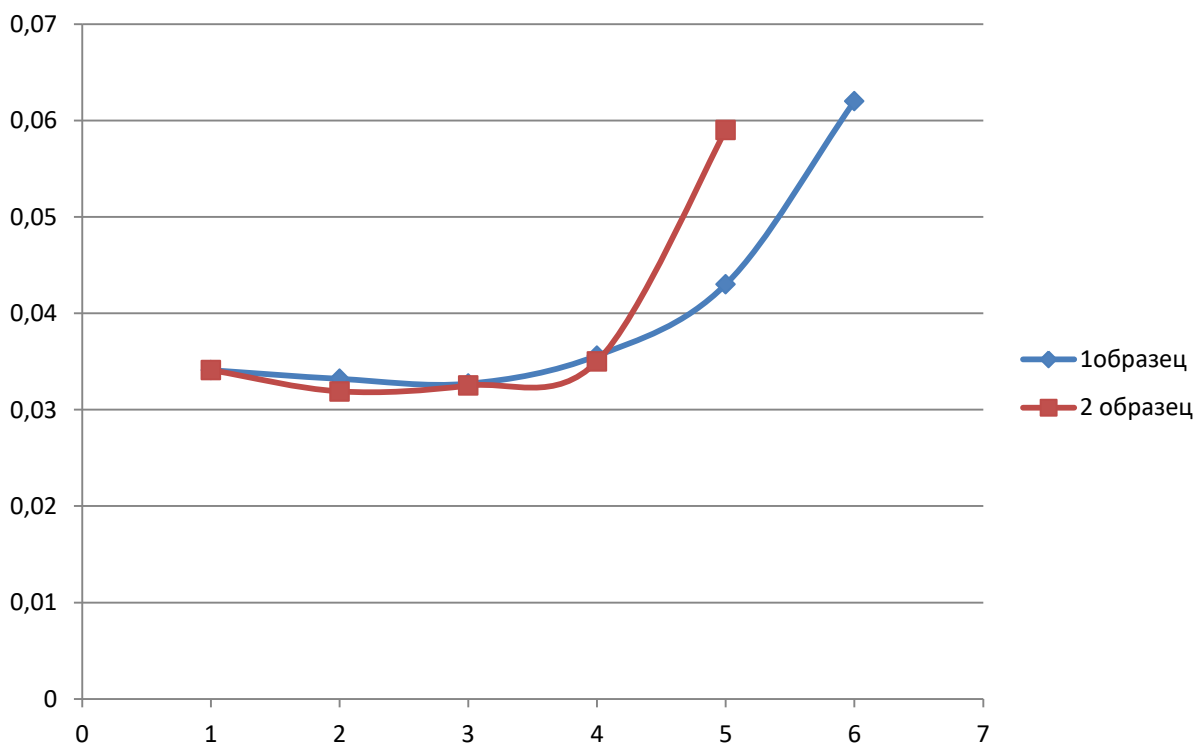


Рис. 5. График изменения теплопроводности Rockwool TexMat 50

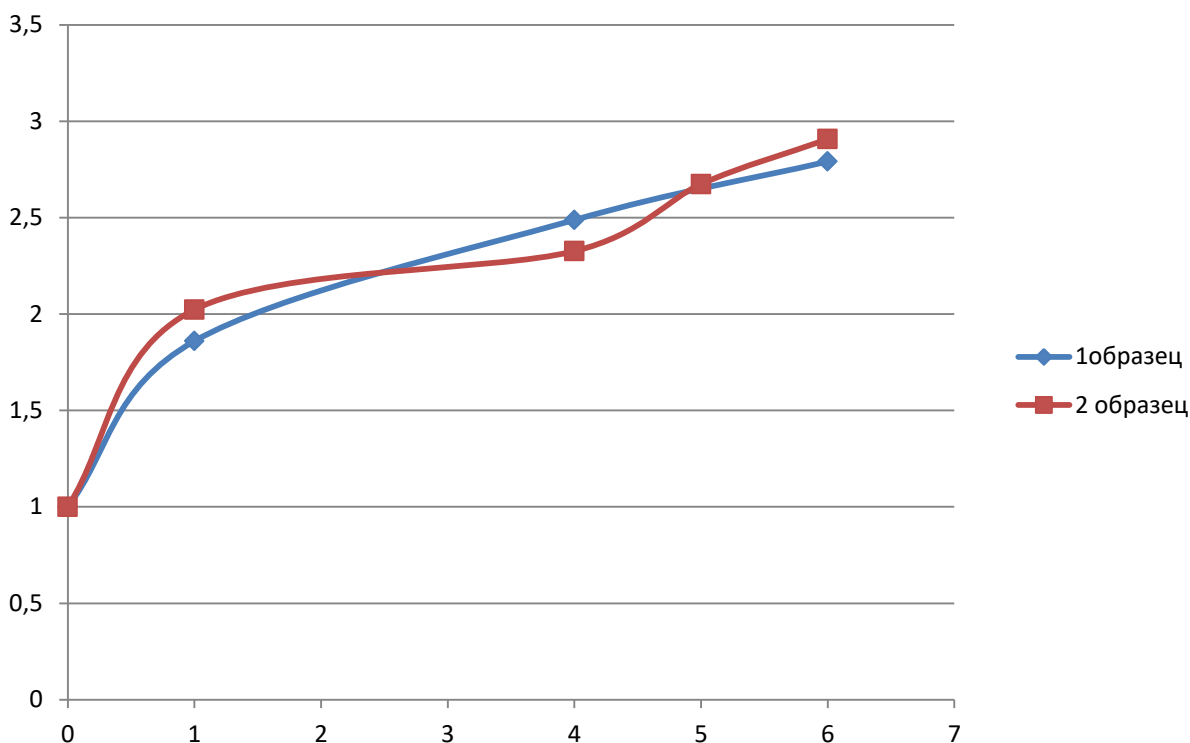


Рис. 6. График изменения плотности Rockwool TexMat 50

Таким образом, результаты исследований показывают, что тепловые потери через исследованный изоляционный материал при их эксплуатации на тепловых сетях могут существенно возрасти из-за уплотнения материала и увеличения коэффициента теплопроводности при прохождении циклов намокание-сушка.

Источники

1. Копко В.М. Теплоизоляция трубопроводов теплосетей: учеб.-метод. пособие. Минск: Технопринт, 2002. 160 с.

2. Немова Т.Н., Лежева Ю.А., Алексеева Е.Г. Влияние изменения теплопроводности теплоизоляционных материалов на тепловые потери магистральных трубопроводов / Т.Н. Немова [и др.] // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 5 (58). С. 151–160.

3. Балувев Е.Д. Перспективы развития централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2001. № 11. С. 50–54.

4. Влияние увлажнения теплоизоляции на тепловые потери в системах теплоснабжения / Ю.А. Воронина [и др.] // Известия вузов. Физика. 2010. № 12/2. С. 63–69.

5. Павлова Д.В. Современные научные исследования и инновации» Анализ и проблемы исследований труб централизованного теплоснабжения с предварительной изоляцией ППУ и ППМ [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/05/67651> (дата обращения: 09.02.2019).

6. Измеритель теплопроводности «ИТС-1» [Электронный ресурс]: руководство по эксплуатации. URL: <https://www.interpribor.ru/assets/userfiles/11/126/Its-1.pdf> (дата обращения: 09.02.2019).

7. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 09.02.2019).

8. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства РФ от 28 августа 2003 г. № 1234-р. Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=25 (дата обращения: 09.02.2019).

УДК 620.92

СОЛНЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ЭФФЕКТИВНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Р.Р. Гайнутдинов¹, Д.А. Морозов²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
^{1,2}deniska-95@list.ru

Науч. рук. канд. техн. наук Д.В. Рыжков

Аннотация. В статье авторы рассмотрели существующие типы установок с солнечными панелями для электроснабжения объектов. Изучив существующие энергетические установки, была предложена собственная. Также рассмотрены классификации солнечных панелей и их достоинства.

Ключевые слова: солнечные панели, солнечные батареи, монокристаллы, поликристаллы, электроснабжение.

При процессе прохождения солнечного излучения сквозь атмосферу параллельно осуществляются три процесса:

1. Отражение энергии обратно в космос.
2. Поглощение солнечной радиации атмосферой.
3. Пропуск излучения непосредственной на поверхность Земли.

Преобразование солнечной энергии в электричество возможно осуществить несколькими путями:

- термодинамическим путем на обычных тепловых электростанциях;
- с помощью фото- и термодинамических элементов.

Метод использования фотоэлементов сегодня является более популярным и приоритетным. Это объясняется следующими причинами [1]:

- нейтральное воздействие на окружающую среду при превращении солнечной энергии;
- возможность преобразования почти во всех регионах;
- большой срок эксплуатации элементов;
- низкие затраты при эксплуатации;
- независимость эффективности превращения солнечной энергии от мощности элементов.

Фотоэлектрическое оборудование имеет широкий спектр существующих мощностей, от мини-генераторов мощность несколько ватт до полноценных станций, мощность которых достигает мегаватты.

На сегодняшний момент более 30 стран применяют технологию фотоэлектрического преобразования солнечной энергии в электричество. Если обратиться к информации 1990 г., то мощность вырабатываемого электричества от Солнца составляла 200 МВт [2].

Бурков Лев Николаевич является обладателем патента «Панель солнечной батареи конструкции Буркова Л.Н.». Особенностью предложенной установки является шарнир на центральной стойке, который позволяет независимо от чего-либо вращаться в любой плоскости на 180°. Также установка обладает цилиндрической очистной щеткой, способной двигаться вокруг продольной оси при помощи шестеренчатой передачи, а также «вверх-вниз» из-за наличия на обратной стороне рамы лебедки с эластичным тяговым элементом [3]. Такое конструктивное сочетание дает возможность упрощенного регулирования угла наклона панели, а также позволяет очищать панель от осадков и загрязнений, что увеличивает эффективность работы (рис. 1).

Работа панели начинается с установки необходимого угла поворота панели, что достигается последовательным вращением шестерен 16 и 17 и последовательной установкой дуг 14 и 15, при достижении наиболее эффективного угла поворота, его фиксируют соответствующей телескопической тягой 20 и 21. При загрязненности панели или после выпадения осадков запускают щетку 5 путем установки насадки дрели в гнездо 24 барабана 13 лебедки 7. После запуска дрели в одном направлении происходит опускание щетки вниз, и она одновременно вращается за счет реечного зацепления 6, очищая поверхность панели, при обратном направлении вращения происходит подъем щетки в исходное

положение и одновременное очищение поверхности панели. Вращение шестерен 16 и 17 осуществляется таким же путем, как и щетки, – установкой насадки дрели в соответствующие гнезда 22 или 23 [3].

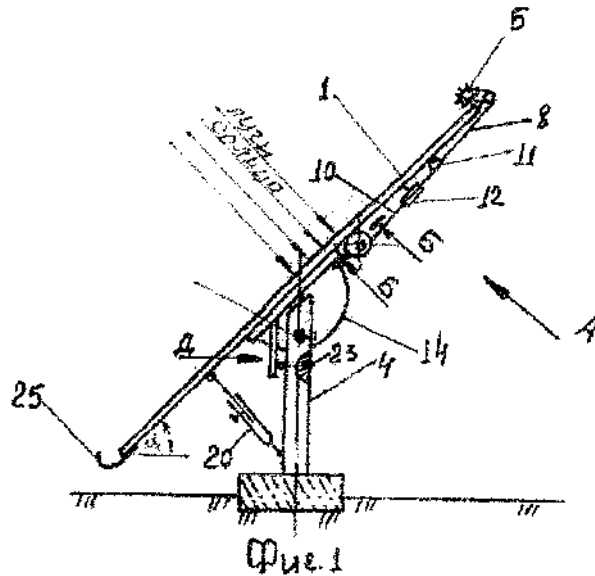


Рис. 1. Панель солнечной батареи конструкции Буркова Л.Н.

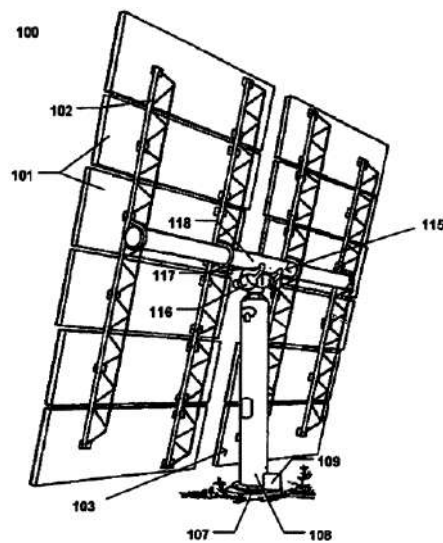


Рис. 2. Энергогенерирующее устройство

Установка (рис. 2) является энергогенерирующим изобретением, то есть служит для преобразования солнечной энергии. Конструкция включает в себя основную рабочую панель (101), которая держится опорными устройствами (102). Опоры крепятся к базе (103), прикрепленной к подставке (108) с основанием (107). В конструкцию также входит силовой терминал (109), который способен направлять энергию для двигателей. Двигатели предназначены для перемещения

частей всего изобретения в целом. К базе крепится шарнирное сочленение (115). Шарнирное сочленение – это исходная точка стыка между двумя компонентами, где один из компонентов предназначен для перемещения относительно другого компонента. Шарнирное сочленение обладает приводным механизмом (116). Его двигатель меняет положение удлиненного элемента (118). Кожух (117) может включать в себя компоненты, которые облегчают движение удлиненного элемента, включая, например, подшипниковые элементы, пригодные для облегчения скольжения удлиненного элемента вокруг частей кожуха [4].

Солнечные панели преобразуют солнечное излучение в электричество наиболее эффективно, когда они направлены на солнце, и их поверхность перпендикулярна солнечным лучам.

Изучив патентную базу Федерального института промышленной собственности, авторами была предложена следующая энергетическая установка, изображенная на рис. 3.

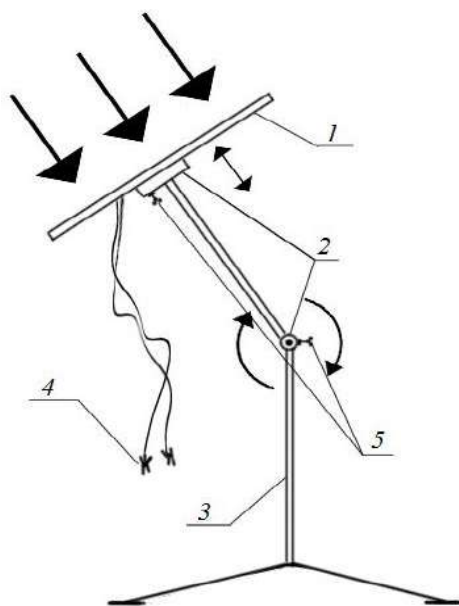


Рис. 3. Солнечная установка: 1 – солнечная панель, 2 – поворотные механизмы (шарниры), 3 – штатив, 4 – зажимы типа «крокодильчик», 5 – фиксаторы

Установки для измерения угла наклона солнечной панели представляют собой своеобразный штатив. Штатив 3 имеет два поворотных механизма (шарниры) 2, расположенные таким образом, чтобы солнечные панели могли двигаться по двум осям. В шарнире просверлено отверстие, и приварена гайка, в которую вкручивается болт, фиксирующий расположение солнечной панели 5. Эта конструкция позволяет располагать панель перпендикулярно лучам солнца в «точку

максимальной мощности солнечных батарей», независимо от расположения солнца, что повышает эффективность выработки электроэнергии. Главным элементом этих установок являются солнечные панели 1. К клеммам солнечных панелей припаяны зажимы типа «крокодильчик» 4 для проведения замеров. Для замеров используется мультиметр.

Обе фотоэлектрические (ФЭП) панели изготовлены из одного и того же полупроводникового материала – кристаллического кремния, но имеют разный состав. Так, один элемент имеет поликристаллическую структуру, другой – монокристаллическую. Характеристики представлены в таблице.

Характеристики поли- и монокристаллических солнечных панелей

	Поликристаллическая	Монокристаллическая
Марка	STAR SOLAR	SUNWALK
Модель	CNC125x195-9	SW2512
Мощность	3 W	2,5W
Тип кристаллов	поли	моно
Количество солнечных элементов	36	48
Максимальное напряжение	9 V	12 V
КПД	15 ~ 17 %	19 ~ 21 %
Максимальный ток	330 мА	200 мА
Габариты	125мм×195мм×3мм	120мм×200мм×3мм
Масса	0,090 кг	0,090 кг

Существуют автоматизированные установки, отслеживающие перемещение солнца. Это, так называемые, солнечные трекеры – комплексные системы, следящие за местоположением солнца. Есть два основных типа трекеров: одно- и двухосевые трекеры. Одноосевой солнечный трекер улучшает прием солнечного излучения примерно на 25 %, а двухосевой трекер – примерно на 40 %. Простейшие автоматизированные установки оснащены сервоприводами и фоторезисторами. Сложные установки отслеживают солнечное движение посредством сигналов GPS. Представленная на схеме установка является упрощенным аналогом данных устройств, в качестве отслеживающего и движущего устройства выступает человек.

Источники

1. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие. М.: КНОРУС, 2010. 232 с.

2. Компании России: как зарождалась солнечная энергетика [Электронный ресурс]. URL: <https://ufirms.ru/articles/hobby/kak-zarozhdalas-solnechnaya-ehnergetik.html> (дата обращения: 15.01.2019).

3. Панель солнечной батареи конструкции Буркова Л.Н.: пат. 2280217 Рос. Федерация № 2005100748/06; заявл. 13.01.05; опубл. 20.07.06, Бюл. № 20.

4. Энергогенерирующее устройство (варианты): пат. 2534192 Рос. Федерация № 2012129252/06; заявл. 31.12.10; опубл. 27.11.14, Бюл. № 33.

УДК 621.152

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПОДОГРЕВОМ ДЛЯ ПРИВОДА КОМПРЕССОРОВ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЙ

Б.Н. Гайфуллин¹, В.В. Свешников²

^{1,2}КНИТУ-КАИ им А.Н. Туполева, г. Казань

^{1,2}bulat.gayfullin.1995@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук Н.П. Великанова,
канд. физ.-мат. наук С.И. Харчук

Аннотация. В данной работе речь идет о разработке перспективного ГТД с промежуточным подогревом перед свободной турбинной с целью покрытия пиковых нагрузок без существенного ухудшения гидравлических характеристик проточного тракта на основных режимах работы ГТД.

Ключевые слова: энергоснабжение, энергетическая установка, газоперекачивающая станция, газотурбинный двигатель, промежуточный подогрев, газогенератор, свободная турбина.

В последние годы получают все более широкое применение в различных отраслях промышленности газотурбинные двигатели (ГТД) (рис. 1.)

Они могут работать на органическом топливе различного вида, что позволяет их использовать в стационарном (тепловые электрические станции, компрессорные станции и т. д.) и в транспортном варианте (морские суда, железнодорожный транспорт и т. д.). На компрессорных станциях магистральных газопроводов ГТД являются основными устройствами для привода газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Количество ГПА с газотурбинным приводом по суммарной мощности достигло 80 % от общей установленной мощности приводов на газоконпрессорных станциях.

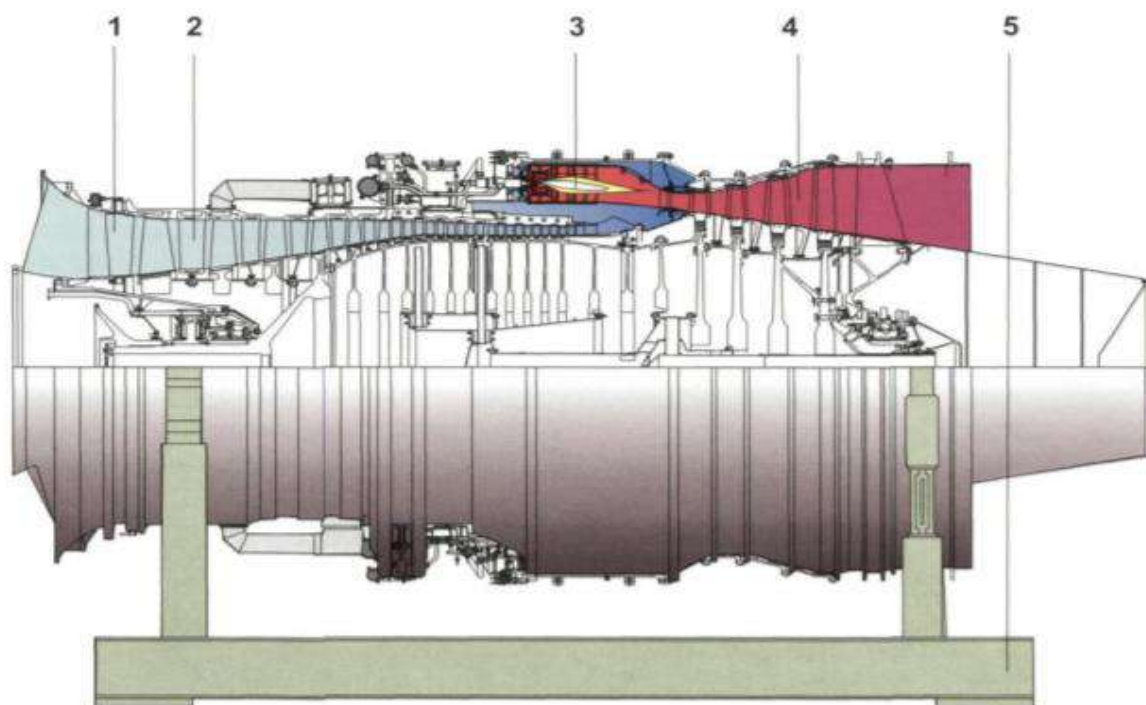


Рис. 1. Конструктивная схема ГТД: 1 – входное направляющее устройство; 2 – компрессор; 3 – камера сгорания; 4 – турбина; 5 – рама

Перспективность использования ГТД на компрессорных станциях связана с их высокой энергоемкостью, автономностью, не требующей подвода дополнительной энергии и большим моторесурсом. Компактность ГТД позволяет производить их в блочно-модульном исполнении, что облегчает условия монтажа и технического обслуживания. Анализ существующего положения трубопроводного транспорта газа и оценка перспектив его дальнейшего развития свидетельствуют о том, что газотурбинный вид привода центробежных ГПА и на ближайшую перспективу останется основным видом привода компрессорных станций.

ГТД использует в качестве топлива транспортируемый газ, тем самым исключается зависимость от внешних поставщиков энергии и не требуется больших капитальных вложений на строительство линий электропередач. Оснащение ГТД котлами-утилизаторами, регенераторами и совмещение их с паротурбинными установками и электрогенераторами дает возможность выработки тепловой и электрической энергии для бытовых нужд, как самих компрессорных станций, так и прилегающих поселков.

Применение ГТД для привода компрессоров газоперекачивающих станций, а также в энергетических установках энергоснабжения коммунальных и промышленных предприятий, где имеет место существенный диапазон изменения нагрузки как по времени суток, так и

по сезонам года требует введения промежуточного подогрева газов, с целью покрытия пиковых нагрузок, без существенного ухудшения гидравлических характеристик проточного тракта на основных режимах работы ГТД.

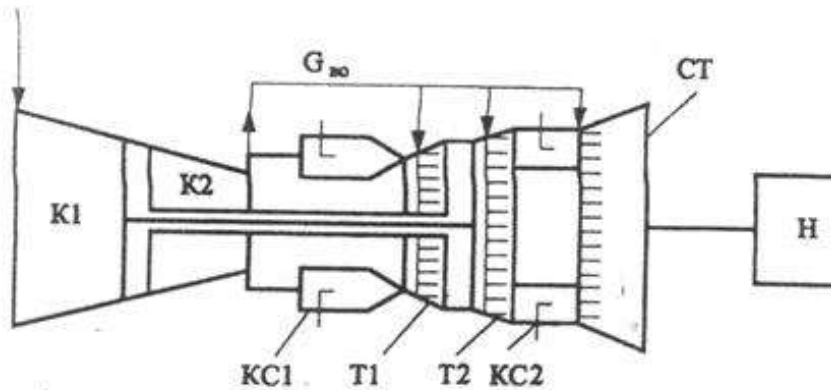


Рис. 2. Схема ГТД с промежуточным подогревом газа перед свободной турбиной: К1 и К2 – компрессоры; КС1 – основная камера сгорания; КС2 – камера сгорания подогрева; Т1 и Т2 – турбины; СТ – свободная турбина; Н – нагрузка

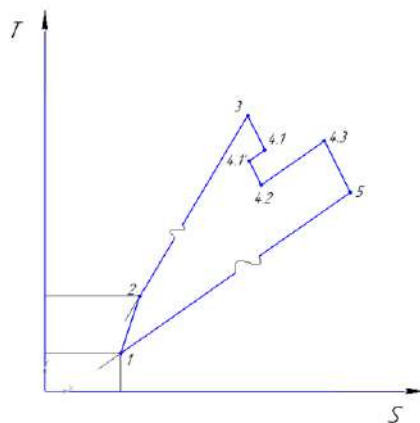


Рис. 3. Цикл высокотемпературного ГТД с промежуточным подогревом и свободной турбиной

На рис. 2 изображена схема ГТД с промежуточным подогревом перед свободной турбиной. Промежуточный подогрев газа производится во второй камере сгорания (КС2), установленной между газогенератором и свободной турбиной (СТ), механически не связанными между собой.

На $T-S$ диаграмме (рис. 3) представлен цикл высокотемпературного ГТД с промежуточным подогревом и свободной турбиной, где реальные процессы расширения газа в турбинах представлены эквивалентными процессами: 3–4.1 – в турбине высокого давления (Т1); 4.1–4.2 – в турбине низкого давления (Т2); 4.2–4.3 – промежуточный подогрев газа (КС2); 4.3–5 – расширение в свободной турбине (СТ).

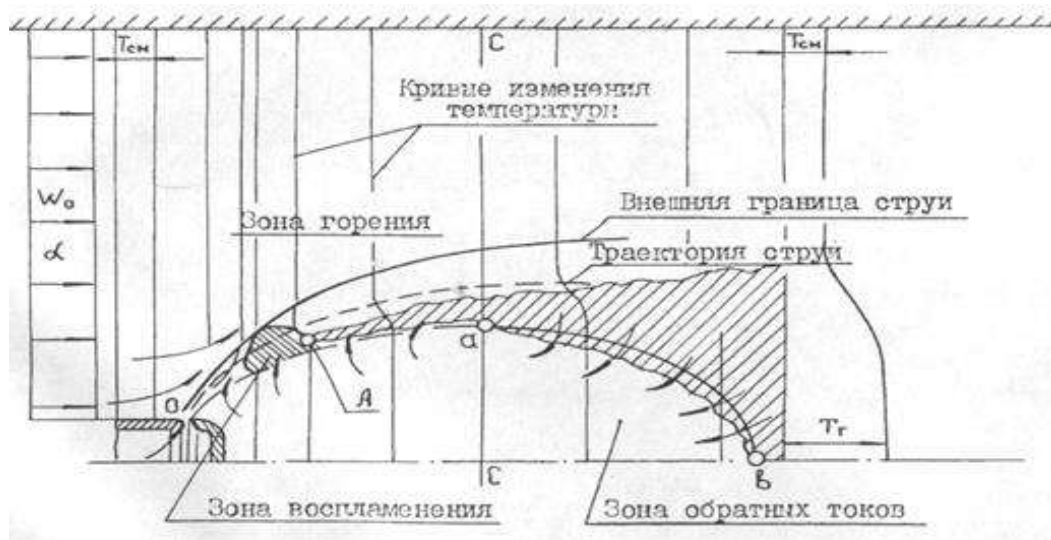


Рис. 4. Упрощенная схема газодинамической стабилизации пламени

Процесс воспламенения и горения (рис. 4) осуществляется следующим образом. В зоне контакта струи и сносящего потока, расположенной вблизи передних границ зон обратных токов, за счет диффузионного смешения образуется смесь с некоторым местным значением коэффициента избытка воздуха, отличным от коэффициента избытка воздуха набегающего потока и струи. Эта смесь воспламеняется от свечей, находящихся в двух горелочных устройствах.

Продукты сгорания смеси местного состава за фронтом пламени рециркуляционным течением частично переносятся в зону обратных токов, заполняют её и используются для воспламенения других порций свежей смеси.

На режимах устойчивого горения в зоне воспламенения имеет место динамическое равновесие между теплом, вносимым продуктами сгорания из зоны обратных токов и теплом, расходуемым на подогрев и воспламенение свежей горючей смеси. При этом следует отметить, что располагаемая тепловая мощность газов зоны обратных токов существенно больше того количества тепла, которое необходимо для поддержания и распространения пламени.

При переходе к режиму срыва точка, так называемого, первого температурного максимума смещается вдоль границы зоны обратных токов вправо и приближается к точке «а». Точка «а» является критической. Она расположена в плоскости максимального расхода газа через зону обратных токов. Это означает, что через поверхность «ав», справа от этой плоскости, зона обратных токов наполняется газами, а слева, через поверхность «оа», газы покидают область.

Когда точка воспламенения «А» переходит за точку «а», некоторая часть невоспламенившейся горючей смеси поступает холодной в зону

обратных токов. При попадании значительного количества не воспламенившейся смеси температура газа в зоне обратных токов упадет, что приведет к ещё большей задержке воспламенения, еще большему смещению точки «А» вправо и, в конечном счете, к срыву пламени. В процессе срыва распространение пламени в потоке свежей смеси обычно прекращается ещё до момента полного срыва пламени. Таким образом, процесс устойчивого горения в значительной мере зависит от температуры газов в зоне обратных токов, которые при заданных расходах газа в струе зависят от характеристик смещения газа с набегающим потоком. В связи с этим следует рассчитать местный коэффициент избытка воздуха в зоне циркуляции за верной струей газа в набегающем потоке.

Источники

1. Сенюшкин Н.С., Лоскутников А.А. Способы повышения эффективности энергоустановок на базе ГТД // Молодой ученый. 2011. № 7-1. С. 53–55.

2. Соколов В.С. Газотурбинные установки: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1986. 150 с.

3. Гриценко Е.А., Данильченко В.П., Лукачев С.В. Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения: учеб. пособие. Самара: СНЦ РАН, 2004. 266 с.

4. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания [Электронный ресурс]. URL: <https://studfiles.net/preview/1979112/> (дата обращения: 26.09.2018).

УДК 543.544.25

ПОСТОЯННОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВОСХОДЯЩЕЙ КОЛОНОЧНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ФУРАНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

Р.Р. Гарифуллина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
reginagari95@gmail.com
Науч. рук. д-р хим. наук В.Ф. Новиков

Аннотация. В работе методом восходящей колоночной жидкостной хроматографии проведено исследование органических растворителей, используемых в качестве экстрагентов для извлечения фурановых производных из трансформаторного масла. Установлено влияние постоянного магнитного поля на процесс сорбции органических растворителей.

Ключевые слова: диагностика, хроматография, фурановые производные, деструкция, фурфурол, время удерживания, зависимость, магнит, трансформаторное масло, бентонит.

В настоящее время для диагностики маслonaполненного электрооборудования используются различные инструментальные методы контроля. С помощью газожидкостной хроматографии определяется содержание газов, выделяющихся из трансформаторного масла в процессе эксплуатации маслonaполненного электрооборудования [1–3].

Фурановые соединения образуются как продукты частичной деструкции целлюлозной изоляции в результате термоокислительного и гидролитического превращения целлюлозы.

При деструкции бумажной изоляции в силовых трансформаторах под воздействием высоких температур, электромагнитных полей, вибраций и других образуются фурановые соединения, количество которых достигает до 30 различных веществ. Наиболее высокие концентрации при этом наблюдаются для фурфурола и фурфурилового спирта. В соответствии с методическими указаниями, разработанными для энергетической отрасли промышленности, фурановые соединения определяются методом газожидкостной хроматографии, высокоэффективной жидкостной хроматографии, а также тонкослойной хроматографии, с использованием тонкослойных пластинок, на инертный материал которых нанесен адсорбент, в качестве которого используется в основном оксид кремния или оксид алюминия [4–6].

При пробоподготовке трансформаторного масла используются различные экстрагенты, с помощью которых извлекаются фурановые соединения из трансформаторного масла, с целью последующего хроматографического анализа. Нами для контроля содержания фурановых соединений была использована бентонитовая глина, которая является перспективным сырьем для получения на ее основе адсорбентов с хорошими селективными характеристиками.

Для проведения исследования мы использовали метод жидкостной колоночной хроматографии в восходящем режиме, когда трансформаторное масло экстрагировалось подходящим растворителем, загружалось в пиалу, и определялось время удерживания растворителя и фурановых соединений в зависимости от длины сорбционного слоя адсорбента.

На рис. 1 приведен график зависимости времени удерживания четыреххлористого углерода от длины сорбционного слоя бентонитовой глины. Как видно из рисунка наблюдается параболическая зависимость, при этом обработка экстрагентов в магнитном поле оказывает небольшое влияние на время удерживания экстрагентов. Обработка системы

электромагнитным полем незначительно повышает время удерживания четыреххлористого углерода, так как он обладает малой полярностью.

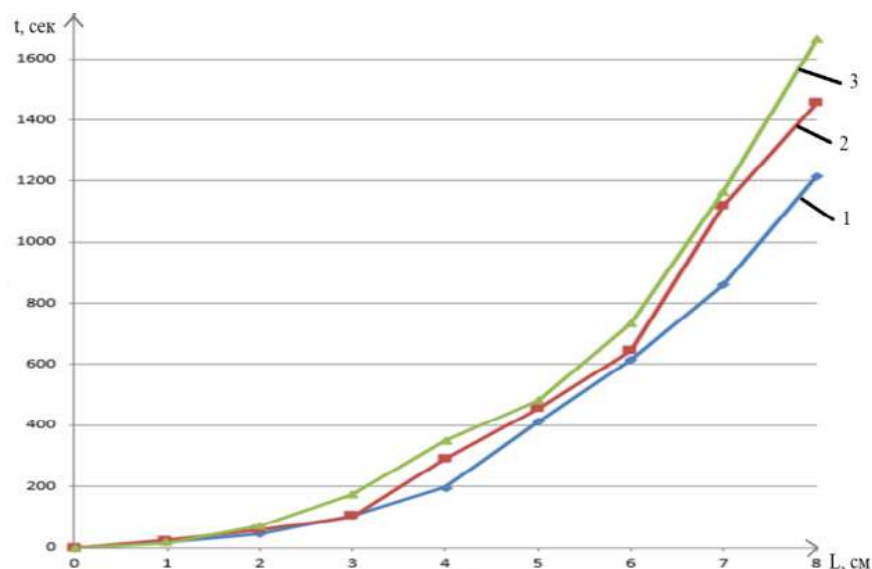


Рис.1. Зависимость времени удерживания четыреххлористого углерода (CCl_4) от длины сорбционного слоя бентонитовой глины: 1 – CCl_4 без магнита; 2 – CCl_4 с магнитом; 3 – CCl_4 с отработанным трансформаторным маслом без магнита

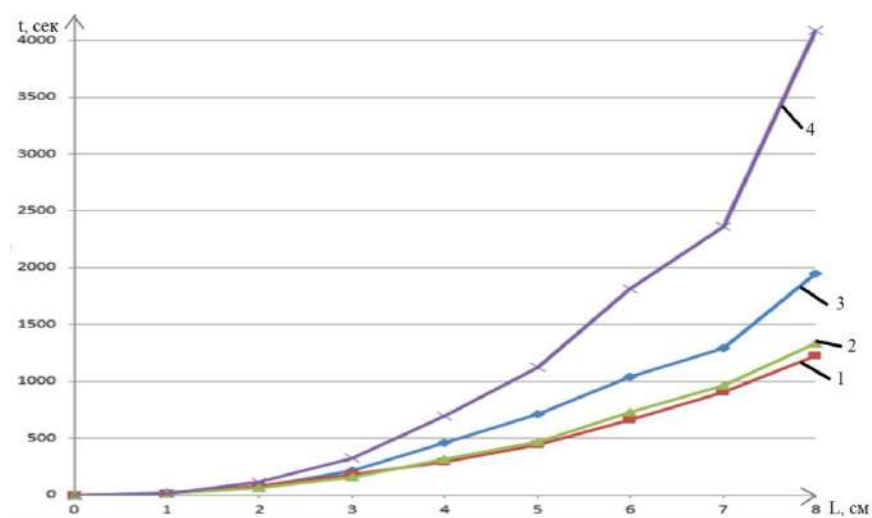


Рис. 2 Зависимость времени удерживания ацетона от длины сорбционного слоя бентонитовой глины: 1 – ацетон без магнита; 2 – ацетон с отработанным трансформаторным маслом без магнита; 3 – ацетон с магнитом; 4 – ацетон с отработанным трансформаторным маслом с магнитом

На рис. 2 приведена зависимость времени удерживания ацетона от длины сорбционного слоя бентонитовой глины. Как видно из рисунка, наблюдается достаточно сильное влияние магнитных полей на время удерживания ацетона, который относится к полярным соединениям с высоким дипольным моментом.

В результате проведенных исследований установлено, что бентонитовая глина является перспективным материалом для использования в жидкостной хроматографии в качестве адсорбента, селективность которого можно регулировать путем взаимодействия постоянного магнитного поля.

Источники

1. Arakelian V. Effective diagnostives for filled eequipment // JEE Electrical Insulation Magazine. 2002. Vol. 18, Is. 6. Pp. 26–38

2. Оценка состояния силовых трансформаторов на основе данных технической диагностики / А.И. Хальясмаа [и др.] // Вестник ЮУрГУ. 2013. Т. 13. № 2. С. 114–120. (Энергетика).

3. СТО 56947007-29.180.010.094-2011. Методические указания по определению содержания газов, растворенных в трансформаторном масле [Электронный ресурс]. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2011. 35 с. URL: <https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.180.010.094-2011.pdf> (дата обращения: 04.12.2018).

4. СТО 56947007-29.180.010.009-2008. Методические указания по определению содержания фурановых производных в трансформаторных маслах методом газов хроматографии. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2007. 26 с.

5. Карташова А.А., Новиков В.Ф. Определение фурановых соединений в трансформаторном масле газохроматографическим методом с использованием новых сорбентов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 1-2. С. 47–52.

6. Карташова А.А., Новиков В.Ф. Тонкослойная хроматография как метод контроля фурановых соединений в трансформаторном масле // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 1-2. С. 138–145.

УДК 621.321

МОНИТОРИНГ АГРЕССИВНОСТИ ВОДЫ КАК КРИТЕРИЙ ОПАСНОСТИ КОРРОЗИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Г.Р. Гиззатуллина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
gulya918273645@yandex.ru
Науч. рук. канд. хим. наук Д.Ф. Гайнутдинова

Аннотация. Показана возможность определения ионов меди (II) на основе фотометрического кинетического метода в водном теплоносителе.

Ключевые слова: агрессивность сетевой воды, анализ, фотометрический метод, коррозия оборудования.

Мониторинг коррозии при производстве и передаче тепловой энергии обеспечивает уменьшение аварийности трубопроводов и тепловых сетей, рациональное проведение предупредительных ремонтов, уменьшение стоимости ремонтов за счет комплексного коррозионного мониторинга и прогнозирования коррозии трубопроводов в различных условиях эксплуатации. Коррозионное состояние трубопроводов тепловых сетей определяется параметрами коррозионно-активной среды; маркой стали. Критерием опасности коррозии теплоэнергетического оборудования считают агрессивность используемой воды.

Актуальность проблемы исследования обусловлена опытом эксплуатации теплоэнергетического оборудования, для которого характерно появление и развитие практически всех видов коррозии. Теплоэнергетическое оборудование выполняется из различных конструкционных материалов.

Контроль за величиной общей коррозии конструкционных материалов в контурах ТЭС с водным теплоносителем имеет большое значение для прогнозирования продолжительности безопасной работы оборудования. Существуют различные прямые и косвенные способы определения скорости коррозии, а также способы оценки коррозионной агрессивности водной среды.

Основной объем данных по контролю состояния технологических сред получается с помощью лабораторных методов. Возвращаемый на ТЭЦ конденсат может содержать до 1 мг/кг оксидов железа и меди, которые являются причиной подшламовой коррозии и заноса проточной части турбин.

В воде, содержащей кислород, происходит естественная пассивация меди пленкой оксида меди CuO , которая имеет малую растворимость, но на практике может подвергаться сольватации в виде комплекса с аммиаком или цианидами. Тем не менее, эта окисная пленка в отличие от пленки, образующейся на алюминии, часто оказывается пористой, и поэтому при производстве и применении медных труб должны быть приняты меры предосторожности. Появление ионов Cu^{2+} в растворе (экзогенная медь, попавшая в воду в систему выше по течению) повышает электрическую проводимость пленки оксида цинка, и в результате скорость коррозии стали возрастает.

Анализ проб вод производственных тепловых электростанций и установление массовой концентрации меди в питательной воде и

составляющих её конденсатах, в исходной воде, обессоленной воде и котловых водах проводят двумя фотоколориметрическими методами (метод А – кинетический; метод Б – с купризоном) в диапазоне концентраций от 0,0005 до 1,0 мг/дм³.

Агрессивность сетевой воды зависит от средней по району (теплосети) скорости коррозии индикаторов и оценивается в соответствии с приведенной ниже шкалой. При высокой и аварийной агрессивности воды скорость коррозии индикаторов – 0,0851–0,2 мм/год и более. При высокой или агрессивности воды принимают меры для ее уменьшения, снижают содержание кислорода в воде, повышают значения рН, вводят ингибитор коррозии. При отпуске пара на производство и загрязненности возвратного конденсата продуктами коррозии, возникают проблемы неполного возврата конденсата и значительные экономические потери. Для исключения урона требуется разработка мероприятий по эффективному контролю и подавлению внутренней коррозии установки.

Проведенный анализ позволяют расширить круг используемых методов для определения ионов меди (II) в водном теплоносителе. Изучена реакционная система, катализируемая соединениями меди (II). В качестве индикаторного вещества применен нильский синий в реакции с сульфидом натрия.

В работе использовали реактивы марок х.ч. и ч.д.а. сульфида натрия, краситель, нильский синий А, сульфат меди. Растворы красителя готовили путем растворения точных навесок в бидистиллированной воде. Скорость индикаторной реакции контролировали спектрофотометрически на приборе СФ-26, снабженным термостатированной кюветной камерой, подключенной к термостату U 15 с. Для измерения рН растворов применяли иономер И-120.1. Обработка прямолинейных связей велась согласно стандартным компьютерным программам. При проведении кинетических измерений использовался сосуд – смеситель с тремя отростками. В таком сосуде изолированно друг от друга термостатировали три раствора. По истечении периода, необходимого для установления теплового равновесия, растворы смешивали, переворачивая и встряхивая сосуд; одновременно включали секундомер. Затем смесь переносили в термостатирующую кювету и измеряли изменение оптической плотности в единицу времени.

Реакция между этим красителем и сульфид-ионами заметно ускоряется в присутствии соединений иона меди (II). На кинетических кривых при рН = 8,5 и рН = 12, проявляется каталитическое действие ионов меди (II).

Условия проведения реакции при рН = 8,5: концентрация сульфида – $1,3 \cdot 10^{-2}$ моль/л; концентрация нильского синего – $3,8 \cdot 10^{-5}$ моль/л; при рН = 12: концентрация сульфида – $2,6 \cdot 10^{-2}$ моль/л, концентрация нильского синего – $3,8 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Концентрации ионов меди (II): 2,5–0,009 мкг / мл; 3,6–0,043 мкг/мл.

В интервале рН = 8 – 10,6 обнаруживается индукционный период. При рН = 12 индукционный период отсутствует. Наибольшая чувствительность наблюдается в интервале рН = 8 – 9. Установлено, что некаталитическая и каталитическая реакции имеют первый порядок как по концентрации сульфида, так и красителя. Оптимальными концентрациями реагентов для определения ионов меди при условии, если для оценки скорости реакции использовать $\text{tg } \alpha$ а линейного участка кинетической кривой, являются: $1,3 \cdot 10^{-2}$ моль/л раствора сульфида натрия $3,8 \cdot 10^{-5}$ моль/л раствора нильского синего. При повышении температуры скорость некаталитической реакции возрастает. При изменении температуры в интервале 15–30 °С $\text{tg } \alpha$ изменяется от –0,122 до –0,609. Зависимость тангенса угла наклона линейного участка кинетической кривой ($\text{tg } \alpha$) от концентрации ионов меди имеет следующий вид: $\text{tg } \alpha = (0,06 \pm 0,03) - (0,02 \pm 0,01)$, ($r = 0,996$; $s = 0,03$; $n = 6$) Линейная зависимость скорости реакции от концентрации ионов меди (II) соблюдается в интервале концентраций 0,008–0,16 мкг/мл. Рассчитанный предел обнаружения ионов меди (II) равен 0,008 мкг/мл.

Задачами мониторинга состояния системы теплоснабжения является сбор, получение, обрабатывание и исследование информации о состоянии объектов теплоснабжения, статистических данных об авариях и неисправностях, возникающих на системах теплоснабжения и проводимых на них ремонтных работ; оптимизация процесса составления планов проведения ремонтных работ на теплосетях; эффективное планирование выделения финансов. Данные мониторинга, полученные с помощью, в том числе, лабораторных методов, накладываются на актуальные паспортные характеристики объекта в целях выявления истинного состояния объекта, исключения ложной информации и принятия оптимального управленческого решения.

Источники

1. Кошкин Б.В., Щербаков В.Н., Васильев В.Ю. Оценка коррозионного состояния тепловых сетей [Электронный ресурс] // Новости теплоснабжения. 2004. № 4. URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2045 (дата обращения: 21.01.2019).

2. Совершенствование водно-химического режима ТЭЦ среднего давления / В.Н. Виноградов [и др.] // Вестник ИГЭУ. 2012. № 3. С. 5–10.

3. Дементьев А.В. Исследование особенностей коррозии сталей и разработка методов ее оперативного контроля в контурах АЭС: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 1995. 30 с.

4. Акользин П. А. Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования. М: Энергоиздат, 1992. 303 с.

УДК 697.343

К ВЫБОРУ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Л.М. Гиниятова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹tt6giniyatova@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук А.М. Гусячкин

Аннотация. Тепловые сети – наиболее дорогостоящий компонент системы централизованного теплоснабжения. Несоответствие конструкции тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей условиям их эксплуатации является основной причиной повышенных тепловых потерь при транспортировке тепловой энергии. В статье предложено выбирать расчетные температуры теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей для расчета толщины тепловой изоляции трубопроводов по температурным графикам конкретных тепловых сетей с учетом среднегодовой температуры наружного воздуха в данном регионе.

Ключевые слова: теплоснабжение, теплоизоляционный материал, конструкция тепловой изоляции, тепловые сети, толщина тепловой изоляции, температура теплоносителя.

В России сложившаяся система теплоснабжения организована как централизованная. С помощью систем такого типа обслуживается 92 % городских и 20 % сельских жителей, т.е. примерно 73 % населения страны. Основным способом прокладки тепловых сетей в РФ на сегодняшний день является подземная канальная прокладка. В качестве теплоизоляционных материалов в каналах, как правило (порядка 90 % от общего количества), использовались изделия из минеральной ваты (маты и плиты), причем их увлажнение при длительной эксплуатации приводит к увеличению коэффициента теплопроводности. Фактический срок службы таких трубопроводов для магистральных сетей составляет 12–15 лет, распределительных и квартальных сетей – 7–8 лет, т.е. значительно ниже нормативного, равного 25 годам [1].

Каждый год на отопление жилых зданий от централизованных систем теплоснабжения в среднем по России расходуется $0,365 \text{ Гкал/м}^2$.

Для сравнения аналогичные годовые удельные энергетические показатели по зарубежным странам составляют для Германии $0,223 \text{ Гкал/м}^2$, Швеции – $0,116 \text{ Гкал/м}^2$ [2]. Суммарные потери тепловой энергии в магистральных и распределительных тепловых сетях при ее транспорте и распределении достигают в среднем 30 % от производимой энергии, что эквивалентно 65–80 млн т.у.т./Г. Основной причиной таких потерь является несоответствие конструкции тепловой изоляции условиям эксплуатации тепловых сетей.

В последние годы в конструкциях тепловой изоляции трубопроводов подземной прокладки стали использовать предизолированные трубы с пенополиуретановой, пенополимерминеральной, армопенобетонной изоляцией. Во всех конструкциях тепловой изоляции трубопроводов из различных теплоизоляционных материалов при проектных расчетах необходимо определить оптимальную толщину тепловой изоляции.

В СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» [3] толщину тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей рекомендуется выбирать по допустимой величине теплового потока через изоляцию, которая определяется с учетом среднегодовых температур теплоносителя и окружающей среды по формулам [3]:

– для плоских поверхностей и цилиндрических диаметром более 1,4 м:

$$q_F = \frac{(t_T - t_H)}{\sum_{i=1}^n R_i + R_H}, \quad (1)$$

– для трубопроводов диаметром менее 1,4 м:

$$q_L = \frac{(t_T - t_H)}{\sum_{i=1}^n R_i^L + R_H^L}, \quad (2)$$

где $\sum_{i=1}^n R_i$ – сопротивление теплопередаче всех слоев конструкции тепловой

изоляция; R_H^L – сопротивление теплопередаче наружной поверхности изоляции; t_T – среднегодовая температура теплоносителя; t_H – среднегодовая температура окружающей среды.

В этом документе приведены рекомендуемые расчетные температуры теплоносителей в подающем трубопроводе для расчета толщины тепловой изоляции нескольких температурных режимов водяных

тепловых сетей (см. таблицу). Для обратных трубопроводов водяных тепловых сетей расчетную температуру рекомендуется принять равной 50 °С.

Расчетные температуры теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей

Температурные режимы водяных тепловых сетей, °С	95–70	150–70	180–70
Расчетная температура теплоносителя, °С	65	90	110

В конкретных системах теплоснабжения температурные графики тепловых сетей могут отличаться от приведенных, и в разных регионах РФ среднюю температуру теплоносителя в трубопроводах за отопительный период и за год для расчета толщины тепловой изоляции предлагаем принимать по принятому температурному графику конкретных тепловых сетей с учетом климатических условий данного региона. Кроме того, величина коэффициентов теплопроводности теплоизоляционных материалов также зависит от температуры теплоносителя, что необходимо учитывать при расчете оптимальной толщины тепловой изоляции.

Например, в тепловых сетях г. Казани принят температурный график 130/65 °С со срезкой 115/65 °С (см. рисунок). В районных котельных «Савиново», «Азино», «Горки» принят повышенный температурный график 130/70 °С. Расчетные температуры теплоносителей для таких температурных режимов тепловых сетей в СП 61.13330.2012 не приведены.

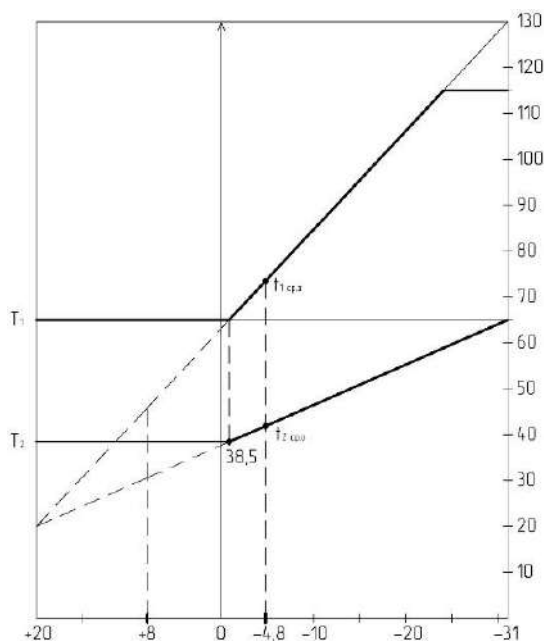
Среднегодовую температуру теплоносителя в подающем трубопроводе предлагаем находить по формуле:

$$T_{\text{Icp.г}} = \frac{n_{\text{о}} \cdot t_{\text{Icp.о}} + n_{\text{н.о}} \cdot t}{n_{\text{о}} + n_{\text{н.о}}}, \quad (3)$$

где $n_{\text{о}}$ – продолжительность отопительного периода, с/год или ч/год в данном регионе; $t_{\text{Icp.о}}$ – средняя температура теплоносителя в подающем трубопроводе за отопительный период, °С; $n_{\text{н.о}}$ – продолжительность неотопительного периода, с/год или ч/год; t – расчетная температура теплоносителя, °С, в подающем трубопроводе за неотопительный период.

Среднюю температуру теплоносителя в подающем трубопроводе за отопительный период находим по температурному графику как температуру теплоносителя, соответствующую средней температуре наружного воздуха за отопительный период. Средняя температура

наружного воздуха за отопительный период в г. Казань составляет $-4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, продолжительность отопительного периода – 218 суток. По рисунку находим среднюю температуру теплоносителя в подающем трубопроводе за отопительный период, который применительно к казанским тепловым сетям составляет $73,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Расчетная температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$, в подающем трубопроводе за неотапливаемый период составляет $65\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Температурный режим Казанских тепловых сетей

Тогда расчетная (среднегодовая) температура теплоносителя для расчета толщины тепловой изоляции в подающем трубопроводе казанских тепловых сетей составит:

$$T_{\text{ср.г}} = \frac{208 \cdot 73 + 157 \cdot 65}{365} = 69,6\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Аналогично определяется расчетная (среднегодовая) температура теплоносителя для расчета толщины тепловой изоляции в обратном трубопроводе, которая составляет для казанских тепловых сетей $38,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, используя температурные графики конкретных тепловых сетей и климатические данные региона, можно более точно определить расчетные температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, что позволит рассчитать рациональную толщину тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей и сократить тепловые потери в них.

Источники

1. Новое поколение тепловых сетей – высокоэффективные системы трубопроводов с пенополиуретановой изоляцией [Электронный ресурс]. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2655 (дата обращения: 21.12.2018).
2. Тепловое потребление зданий [Электронный ресурс]. URL: <https://www.webkursovnik.ru/kartgotrab.asp?id=81358> (дата обращения: 21.12.2018).
3. Козин В.Е. Теплоснабжение: стереотип. М.: Высш. школа, 1980. 408 с.

УДК 620.92:631.3

ОБОСНОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГИИ

Э.И. Гиниятуллина¹, Л.А. Абзалова², Б.И. Миннуллин³
^{1,2,3}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
^{1,2,3}engegin95@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук Э.Г. Нуруллин

Аннотация. В статье рассмотрены наиболее выгодные направления нетрадиционной энергии.

Ключевые слова: энергообеспечение, нетрадиционная энергия, ветроэнергетическая установка, биогазовая установка, энергоавтономное производство, альтернативные источники.

Каждое предприятие, занимающееся производственной деятельностью, заинтересовано в энергосберегающих технологиях, обеспечивающих его энергоэффективность. Поэтому поиск, нахождение, обоснование, разработка и внедрение таких технологий является актуальной научно-производственной задачей. Одним из путей решения этой задачи выступает разработка технологий энергоэффективного функционирования производственных предприятий на основе нетрадиционных источников энергии.

Использование энергии ветра и переработка различных видов биомасс в биоэнергию являются наиболее экологичными, и на сегодняшний день применение нетрадиционной энергии становится актуальным в сельском хозяйстве.

Ранее мы рассматривали анализ использования возобновляемых источников энергии, обоснование актуальности разработки модели энергоавтономного предприятия на основе возобновляемых источников энергии, модель производственного предприятия на основе возобновляемых источников энергии [1–6].

Целью нашего исследования является – разработка структурной схемы энергоснабжения сельскохозяйственного предприятия.

В статье использованы материалы отечественных исследований, и собственные исследования, проведенные ранее [1–6]. Проведен патентный поиск и литературный обзор. При выполнении исследований применялись общенаучные и специфические методы.

Ранее мы исследовали динамику расхода электроэнергии за 2015–2017 гг. в разрезе каждого месяца, а также 8 месяцев 2018 г. Выполненный анализ показывает, что пик расхода энергии ($46,2 \cdot 10^6 \dots 58,7 \cdot 10^6$ кВт·ч) приходится на январь, февраль, ноябрь, декабрь, а минимальные расходы энергии ($26,1 \cdot 10^6 \dots 32,4 \cdot 10^6$ кВт·ч) на летние месяцы: июнь, июль, август. Такая же тенденция наблюдается во всех 43 исследуемых районах Республики Татарстан и по всем сельскохозяйственным предприятиям [7].

Среди сельскохозяйственных предприятий наибольшее количество электроэнергии ($39,6 \cdot 10^6$ кВт·ч) потребляет ООО Челны Бройлер в Тукаевском районе [8].

Можно утверждать, что энергоавтономное производственное предприятие на основе возобновляемых источников энергии является перспективным решением для сельской местности и удаленных объектов.

Чтобы снизить затраты энергии, в сельскохозяйственное предприятие необходимо внедрять альтернативные источники энергии. Самыми перспективными вариантами, по нашим расчетам, будут внедрения биогазовой и ветроэнергетической установок.

Биогаз позволяет не только экономить энергоресурсы, но и решает проблему утилизации отходов. Каждый год она будет перерабатывать 26 тыс. т отходов животных, столько же кукурузного силоса и более 14 тыс. т отходов мясного производства. При этом БГУ будет ежегодно вырабатывать $8,56 \text{ млн м}^3$ газа, который будет перерабатываться в электроэнергию. Помимо этого, на выходе из дображивателей можно будет получать богатое азотом и фосфором удобрение, более полезное, чем широко используемая сегодня органика.

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) могут располагаться в местах, не предназначенных для посевов, но расположенных рядом с объектами потребления (горные массивы, холмы, поймы рек, болота, земли с низким

геотермальным потенциалом и т.д.). Их также можно размещать и на территории пастбищ, полей, ферм и других объектов сельского хозяйства, в отличие от фотоэлектрических преобразователей, биогазовых заводов, геотермальных станций [9].

В результате проведенных исследований в сельскохозяйственных предприятиях наиболее выгодно использовать биогазовую и ветроэнергетическую установку. Сельскохозяйственное предприятие будет использовать альтернативную энергию для минимизации своих затрат на тепло-, электроэнергию и удобрения.

Источники

1. Гиниятуллина Э.И. Обоснование актуальности разработки модели энергоавтономного предприятия на основе возобновляемых источников энергии // XXI Аспирантско-магистерский науч. семинар., посвященный дню энергетика: тез. докл. Казань, 2017. Т. 2. С. 112–113.

2. Гиниятуллина Э.И. Модель производственного предприятия на основе возобновляемых источников энергии // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. III Поволжской науч.-практ. конф. Казань, 2017. Т. 2. С. 72–73.

3. Гиниятуллина Э.И. Использование альтернативных источников энергии на производственных предприятиях [Электронный ресурс] // Поволжский научный вестник. 2018. № 1. С. 4–9. URL: <https://kgeu.ru/studportfolio/GetDoc/19349?idFizLico=125022> (дата обращения: 21.09.2018).

4. Гиниятуллина Э.И. Автономные гибридные установки с использованием возобновляемых источников энергии // Поволжский научный вестник. 2018. № 1. С. 32–35.

5. Гиниятуллина Э.И. Анализ использования возобновляемых источников энергии // Поволжский научный вестник. 2018. № 1. С. 16–24.

6. Гиниятуллина Э.И., Абзалова Л.А., Миннуллин Б.И. Перспективные нетрадиционные виды энергии для сельского хозяйства // XIII Молод. науч. конф. «Тинчуринские чтения»: тез. докл. Казань, 2018. Т. 2. С. 317–319.

7. Гиниятуллина Э.И. Анализ использования электрической энергии в агропромышленном комплексе Республики Татарстан // XXII Аспирантско-магистерский науч. семинар: тез. докл. Казань, 2019.

8. Гиниятуллина Э.И. Анализ финансовых затрат на электроэнергию в агропромышленном комплексе Республики Татарстан // XXII Аспирантско-магистерский науч. семинар: тез. докл. Казань, 2018.

9. Соломин Е.В. Методологические основы разработки и создания вертикально-осевых ветроэнергетических установок для агропромышленного комплекса России: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Барнаул, 2013. 38 с.

УДК 697.3:681.5

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПУНКТ КАК ИНСТРУМЕНТ СТАБИЛЬНОГО И ЭКОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

М.О. Григорьева¹, Е.А. Лаптева¹
^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
^{1,2} 703marina@rambler.ru

Науч. рук. канд. техн. наук Е.А. Лаптева

Аннотация. Индивидуальный тепловой пункт (ИТП) представляет собой устанавливаемый в подвале здания и работающий автоматически комплекс насосов, теплообменников и датчиков, регулирующий подачу ресурса в системы отопления и горячего водоснабжения дома в соответствии с заданной программой и температурой наружного воздуха. Ряд преимуществ делает установку ИТП коммерчески выгодным проектом.

Ключевые слова: теплоснабжение, индивидуальный тепловой пункт, телосистемы, теплоноситель, температурный график сети.

Индивидуальный тепловой пункт (ИТП) – важнейшая составляющая систем теплоснабжения зданий. От его характеристик во многом зависит регулирование систем отопления и горячего водоснабжения (ГВС). ИТП как инструмент стабильного и экономного теплоснабжения зданий позволяет эффективно использовать тепловую энергию.

Чаще всего процесс теплоснабжения организован с помощью центрального теплового пункта (ЦТП), рассчитанного на обслуживание сразу нескольких домов и объектов. Это устаревшая с инженерной точки зрения технология является наиболее слабым звеном в системе теплоснабжения.

ИТП представляет собой устанавливаемый в подвале здания и работающий автоматически комплекс теплообменников и датчиков,

насосов, регулирующий подачу ресурса в системы отопления и ГВС дома в соответствии с заданной программой и температурой наружного воздуха. По подающему трубопроводу осуществляется подача теплоносителя в здание. С помощью обратного трубопровода в котельную попадает уже охлажденный теплоноситель из системы. В стандартной комплектации схема индивидуального теплового пункта состоит из двух

модулей. Один из них – контур отопления, состоящий из системы автоматики, теплообменника, мембранного бака и предохраняющего клапана. При помощи данного контура можно независимо от погодных условий поддерживать приемлемую температуру помещения благодаря датчику температуры, который содержится в контуре. Второй контур, который содержит индивидуальный тепловой пункт, также состоит из теплообменника, а также автоматической регулировки и системы водоочистки. Данный контур поддерживает постоянную температуру горячей воды, а также обеспечивает правильную циркуляцию и качественную очистку воды.

В связи с тем, что индивидуальный тепловой пункт считается энергосберегающей технологией, его принято снабжать счетчиками тепловой электроэнергии. Таким образом, индивидуальный тепловой пункт работает, расходуя только необходимое количество тепла, и расчеты происходят в режиме реального времени за реальное потребление тепловой энергии.

Температурный график работы тепловой сети определяет то, в каком режиме индивидуальный тепловой пункт будет работать в дальнейшем и какое оборудование необходимо в нем устанавливать. Различают несколько температурных графиков работы сети:

- 1) 150/70 °С;
- 2) 130/70 °С;
- 3) 110/70 °С;
- 4) 95 (90)/70 °С.

Установка ИТП в домах и объектах дает:

- качественную подготовку теплоносителя и контроль его параметров;
- возможность настроить подачу тепла в зависимости от пожеланий потребителей; ИТП, оснащенный приборами погодного регулирования, будет отапливать дом в зависимости от температуры наружного воздуха, обеспечивая комфортные условия для всех;
- ИТП повышает надежность работы всей теплосистемы здания;
- учет потребления теплоносителя «по факту», а не по расчетным значениям управляющих компаний;
- сокращение теплопотерь за счет автоматического регулирования в ИТП;
- снижение уровня потребления воды, так как для того, чтобы пользоваться горячей водой желаемой температуры нет необходимости подолгу сливать воду;

– уменьшенный тариф на тепловую энергию для домов, перешедших на ИТП, исключая затраты на содержание централизованной системы ГВС.

Все вышеперечисленное делает установку ИТП коммерчески выгодным проектом, так в значительной мере осуществляет экономию денежных средств.

Кроме того, установка ИТП как внедрение любого современного, энергоэффективного оборудования сокращает выброс парниковых газов и вредных загрязняющих веществ в атмосферу. То есть вместе с экономией ресурсов мы сохраняем окружающую нас среду.

В 2015 г. ОАО «Генерирующая компания» реализовало первый этап программы перехода на ИТП и ликвидации ЦТП. В г. Казань было смонтировано 271 ИТП на 264 объектах и ликвидировано 22 ЦТП.

Современный индивидуальный тепловой пункт – это инструмент, с помощью которого потребители могут обеспечить стабильное и экономное теплоснабжение зданий. «Настроив» оборудование в соответствии со своими предпочтениями, собственники помещений жилого дома могут достичь того уровня теплового комфорта, который им необходим.

Источники

1. Что такое ИТП в жилом доме? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.teploprofi.com/itp-v-zhilom-mnogokvartirnom-dome/> (дата обращения 18.01.2019).

2. Состав и принцип работы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.itp.plus/chto-takoe-itp/sostav-i-princip-raboty/> (дата обращения 18.01.2019).

3. ОАО «Генерирующая компания» выступило соорганизатором профильных дискуссий в рамках Международной выставки «Энергетика. Ресурсосбережение» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.tatgencom.ru/press/news/2274/> (дата обращения 18.03.2019).

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ

Е.Д. Зарипов¹, Р.И. Ахметшин²
^{1,2}КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань
^{1,2}evgeny_zaripov@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук С.И. Харчук

Аннотация. В настоящей статье приведен анализ состояния электроэнергетической отрасли нашей страны, отмечены основные сдерживающие факторы развития данной отрасли, а также возможные пути решения проблем электроэнергетики России.

Ключевые слова: энергия, мощность, производство, генерация, потребление, промышленность.

Россия является четвертым энергетическим рынком в мире по объему производства и потребления электроэнергии после Китая, США и Индии. В 2016 г. выработка электроэнергии в РФ составила 1049 млрд кВт·ч, за девять месяцев 2017 г. – 769 млрд кВт·ч.

Электроэнергетика относится к базовым отраслям и имеет важнейшее межотраслевое значение, поскольку уровень и качество энергоснабжения определяют условия производственной деятельности и бытового обслуживания населения.

Электроэнергетика входит в десятку отраслей с наибольшим вкладом в ВВП России. По данным Росстата в 2016 г. на ее долю пришлось 2,6 % ВВП России.

Совокупная установленная мощность российских генерирующих компаний демонстрировала устойчивый рост в 2011–2016 гг., что обусловлено проведением государственных реформ в энергетической отрасли в 2001–2011 гг. Реформа была направлена на повышение конкуренции в отрасли и стабильности системы, а именно на увеличение резервов мощности и модернизацию оборудования, а также на привлечение инвестиций в российскую энергетику.

В 2016 г. 75 % потребленной электроэнергии в стране пришлось на долю промышленности, населения, транспорта и связи. Потери электроэнергии в сетях составили около 10 % от общего объема потребления электроэнергии (рис. 1).

Суммарная мощность электростанций России, устойчиво растущая с начала 2000-х гг., достигла 240 ГВт в конце третьего квартала 2017 г. (рис. 2). Большая часть мощностей электроэнергии (67,9 %) приходится на ТЭС, 20,2 % – на ГЭС, и 11,7 % — на АЭС.



Рис. 1. Потребление энергии в регионах РФ за 2017 год

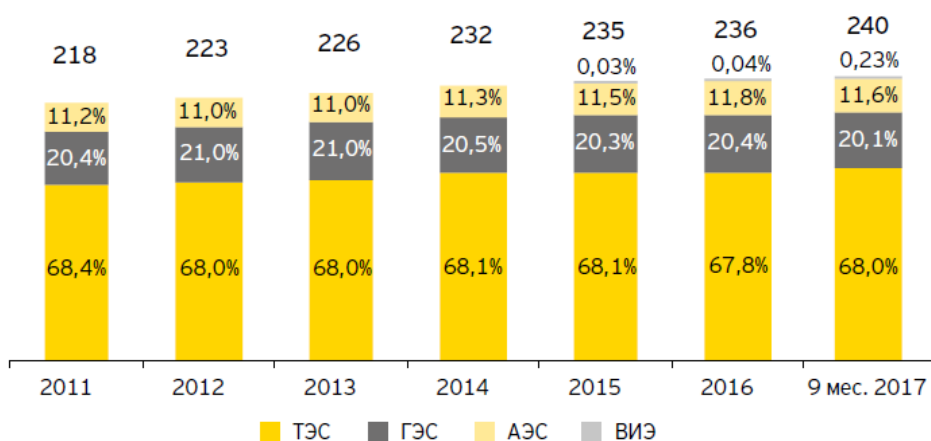


Рис. 2. Установленная мощность, ГВт

В 2016 г. было введено в эксплуатацию генерирующее оборудование общей установленной мощностью 4,3 ГВт. В то же время было выведено из эксплуатации и законсервировано на длительный срок оборудование мощностью 3,9 ГВт.

Производство электроэнергии в России в 2016 г. выросло на 2,1 % относительно 2015 г., электропотребление выросло на 1,9 % по сравнению с 2015 г.

В 2016 г. производство электроэнергии превысило потребление в России на 21,6 млрд кВт·ч. Данный объем был направлен на экспорт в соседние страны, такие как Финляндия, Беларусь, Украина и Китай.

Основными долгосрочными драйверами роста электропотребления являются развитие промышленности, увеличение численности населения и его доходов, а также повышение экономической активности. В 2016 г. из-за погодного фактора рост электропотребления превысил рост индекса промышленного производства (1,1 %). Холодная зима способствовала

наибольшему приросту электропотребления в энергосистемах Северо-Запада и Сибири (рис. 3).

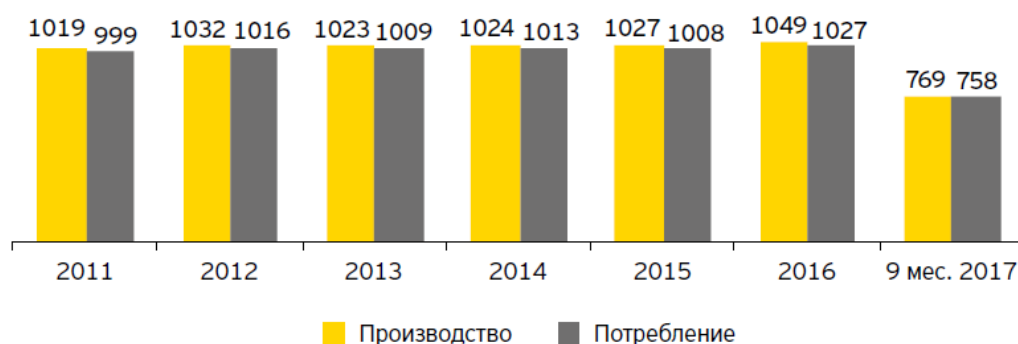


Рис. 3. Производство и потребление электроэнергии в России, млрд кВт·ч



Рис. 4. Динамика капитальных расходов, млрд руб.

В 2016 г. суммарный объем инвестиций публичных электроэнергетических компаний составил 309 млрд руб., что на 8,6 % ниже показателя 2015 г. (рис. 4).

С 2012 г. наблюдается снижение инвестиций генерирующих компаний, связанное с постепенным завершением программы ДПМ (договор о предоставлении мощности) для традиционных источников электроэнергии.

На развитие электроэнергетической отрасли оказывает влияние ряд сдерживающих факторов:

1. Высокая степень изношенности основных фондов. Снижение потребления электроэнергии на фоне спада промышленного производства в 1990-х гг., а также нерегулярный и неполный характер расчетов за предоставленную электроэнергию способствовали систематическому дефициту собственных средств, выделяемых на обновление основных фондов электроэнергетики. В результате много лет

сектор электроэнергетики не получал достаточного объема инвестиций, что на текущий момент привело к критическому износу оборудования.

Согласно Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2035 г. около 46 % установленных мощностей в России были введены до 1980 г., то есть имеют возраст более 38 лет. При этом свыше 90 ГВт мощности паротурбинного оборудования выработали паркочный ресурс, а до 2025 г. нормативный ресурс выработают еще 30 ГВт мощности тепловых электростанций (рис. 5).

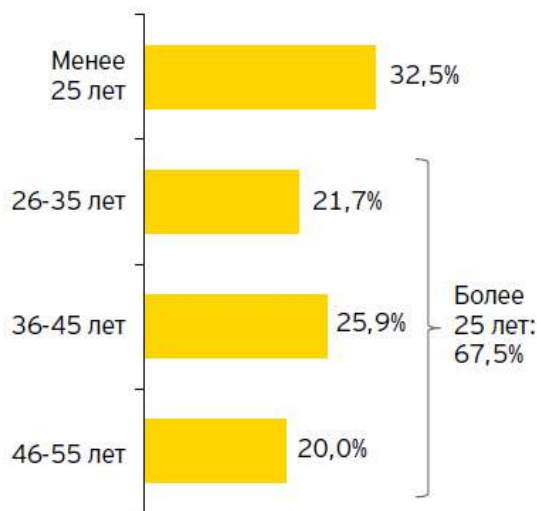


Рис. 5. Возрастная структура генерирующего оборудования на начало 2018 г.

Несмотря на программы ДПМ для традиционных и возобновляемых источников энергии, доля вновь введенного энергетического оборудования в России за последние годы остается достаточно низкой. Дефицит инвестиций в обновление основных производственных фондов, а также их реконструкция и модернизация может привести к техническим ограничениям и снизить надежность энергоснабжения потребителей.

2. Перекрестное субсидирование.

Перекрестное субсидирование – это ценовая дискриминация, при которой для одних покупателей (потребителей) цена устанавливается ниже предельных издержек за счет других покупателей (потребителей), для которых цена устанавливается выше предельных издержек (при этом средние цены соответствуют средним издержкам). Данный механизм вносит значительные искажения в конечную цену электрической и тепловой энергии и в тарифы на услуги по ее передаче.

3. Избыток тепловой мощности.

По данным Министерства энергетики за последние 30 лет почти в два раза уменьшился отпуск тепла в системах централизованного

теплоснабжения. Это привело к возникновению существенного избытка мощностей ТЭЦ и котельных: 30 и 15 % от установленной мощности, соответственно.

По мнению Минэнерго, в схемах теплоснабжения принимаются следующие неэффективные решения:

– часто вместо недозагруженных ТЭЦ загружаются менее эффективные и более затратные котельные, тарифы на тепло которых могут превышать тариф ТЭЦ более чем в три раза;

– часто для обеспечения теплом новых потребителей вместо увеличения нагрузки на действующие ТЭЦ за счет реконструкции и строительства тепловых сетей принимается решение о строительстве и вводе в эксплуатацию новых источников тепловой энергии, что приводит к дополнительному росту тарифов и бюджетных субсидий. Таким образом, неэффективное использование тепловых мощностей увеличивает нагрузку на потребителя и препятствует обновлению основных фондов.

4. Проблема неплатежей.

Значительным сдерживающим фактором, влияющим на развитие отрасли в целом, является проблема неплатежей. По данным Ассоциации «НП Совет рынка» на конец октября 2017 г. на оптовом рынке задолженность составила 65,2 млрд руб., а на розничном – 243 млрд руб.

5. Вынужденная генерация.

Сокращение доли выработки тепловой энергии на ТЭЦ приводит к тому, что наиболее экономичные и надежные теплоисточники в массовом порядке становятся неэффективными на рынке электроэнергии, где они сначала получают статус генераторов, работающих в вынужденном режиме, а впоследствии выводятся из эксплуатации.

6. Высокие потери тепла.

Объемы реконструкции и реновации тепловых сетей недостаточны для поддержания их в требуемом техническом состоянии, что приводит к значительным потерям энергии при передаче. Нормативный срок службы теплосетей – 25 лет, поэтому необходимый уровень обновления фондов в теплоснабжении должен составлять в среднем 4 % в год при текущем уровне обновления лишь 2,7 % в год. По данным Министерства энергетики около 70 % теплосетей работают с превышением нормативного срока службы, а 20 % котлов и турбин тепловых электростанций служат более 50 лет при норме в 40 лет.

Выше были перечислены основные сдерживающие факторы, работа над которыми может существенно ускорить развитие энергетики. Помимо этого, существуют следующие тенденции и инициативы, способные создать инвестиционные возможности в данной отрасли в России:

- новая модель рынка тепловой энергии (механизм «альтернативной котельной»);
- государственная поддержка инвестиций в возобновляемую энергетику;
- государственная поддержка модернизации генерирующего оборудования;
- вывод объектов вынужденной генерации;
- энергетическое машиностроение;
- переход к новой технологической парадигме в электроэнергетике.

Ранее указывалось, что основными факторами, сдерживающими развитие рынка тепловой энергии, являются избыточные мощности и высокая степень износа тепловых сетей, а также высокий уровень неплатежей. На рынке электроэнергии внедрение в 2011 г. конкурентной модели позволило привлечь дополнительные инвестиции в модернизацию и строительство генерирующих мощностей.

Также при рассмотрении сдерживающих факторов была отмечена высокая степень изношенности основных фондов в электроэнергетике. Разработанный в 2008–2010 гг. механизм ДПМ позволил частично решить данную проблему за счет привлечения частных инвестиций в модернизацию генерирующего оборудования.

Проблема вынужденной генерации стоит достаточно остро. В 2016 г. объем мощности в рамках обязательств по вынужденной генерации, по данным АТС, составлял 12,5–14,7 ГВт в зависимости от месяца. С января по октябрь 2017 г. этот показатель варьировался в диапазоне 10,6–13,3 ГВт. При этом в соответствии с Распоряжением Правительства от 31 июля 2017 г. № 1646-р «Об отнесении генерирующего оборудования к генерирующим объектам, мощность которых поставляется в вынужденном режиме», в 2020 г. статус вынужденной генерации получают не более 7,5 ГВт, а в 2021 г. – не более 4 ГВт мощностей. Ожидается, что сократить объем вынужденной генерации позволят новая модель рынка тепловой энергии и дальнейшее стимулирование модернизации генерирующих мощностей с помощью нового механизма. Кроме того, Минэнерго и Минэкономразвития России в качестве дополнительных мер разработали механизмы вывода вынужденной генерации в энергетике.

Существенные инвестиции генерирующих компаний в рамках модели «альтернативной котельной», модернизации мощностей (новый ДПМ) и развития возобновляемой энергетики (ДПМ-ВИЭ) будут направлены, как уже было отмечено ранее, и на закупку энергетического оборудования, что повысит доходы производителей оборудования.

Мировой рынок энергетики переживает значительные технологические изменения. Одним из таких изменений является формирование новой модели, предусматривающей разномасштабные комплексные системы и сервисы интеллектуальной энергетики, построенные на основе открытой сетевой архитектуры. Будет создаваться новая технологическая платформа на базе «умной» инфраструктуры рыночной экосистемы активных потребителей и других субъектов распределительной энергетики.

Предполагаемый прогноз развития отрасли был сделан на основе Схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2017–2023 гг. Правительством утвержден план совершенствования системы перспективного планирования в электроэнергетике. Предполагается, что определение перспективных площадок для размещения объектов генерации будет осуществляться путем синхронизации документов перспективного планирования с инвестиционными программами субъектов электроэнергетики.

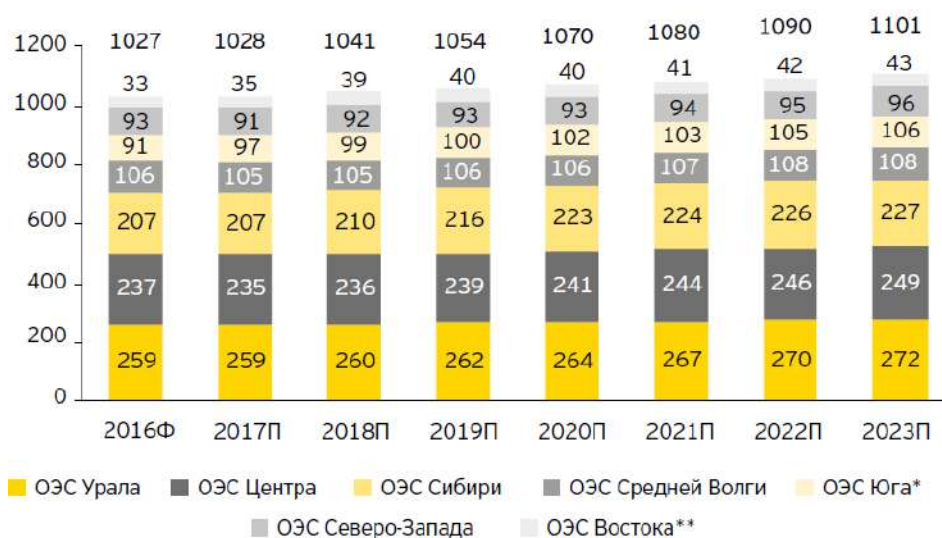


Рис. 6. Прогноз спроса на электроэнергию по ЕЭС России, млрд кВт·ч

По данным Минэнерго в 2016 г. спрос на электроэнергию по ЕЭС России составил 1027 млрд кВт·ч. Согласно Схеме и программе развития Единой энергетической системы России на 2017–2023 гг., утвержденной Приказом Минэнерго России от 1 марта 2017 г. № 143, в 2023 г. потребление электроэнергии ожидается на уровне 1101 млрд кВт·ч. Таким образом, спрос на электроэнергию по ЕЭС России к 2023 г. увеличится на 74 млрд кВт·ч, а среднегодовой темп роста составит 1 %. При этом рост потребления прогнозируется по всем ОЭС (рис. 6).

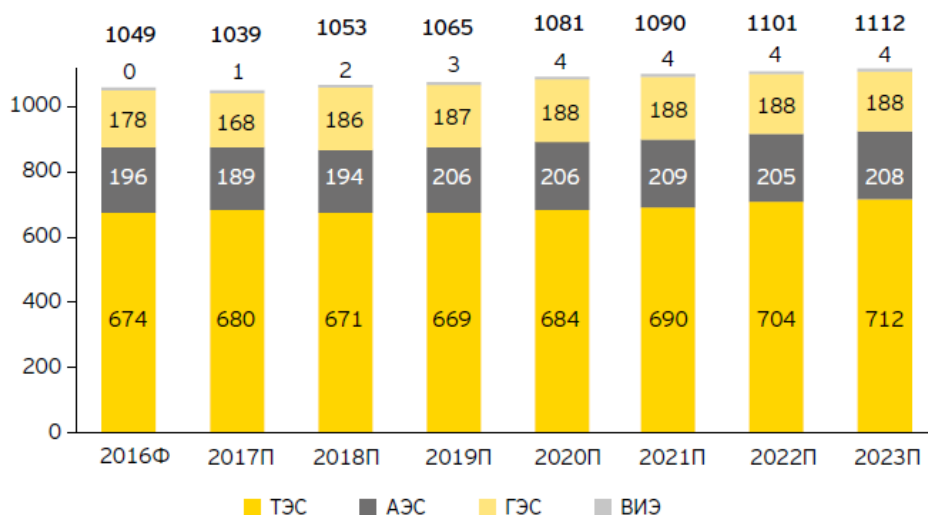


Рис. 7. Прогноз производства электроэнергии по ЕЭС России, млрд кВт·ч

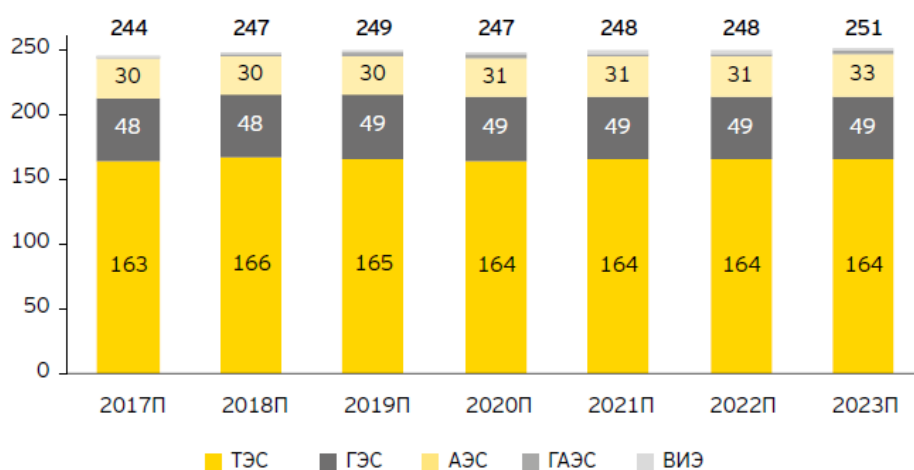


Рис. 8. Прогноз установленной мощности электростанций ЕЭС России, ГВт

По прогнозам Минэнерго, установленная мощность электростанций ЕЭС России к 2023 г. достигнет 250565 МВт, увеличившись на 14222 МВт по сравнению с 2016 г. Рост будет преимущественно обусловлен увеличением мощностей атомных, тепловых и работающих на ВИЭ электростанций (рис. 7, 8).

Согласно Схеме и программе развития Единой энергетической системы России на 2017–2023 гг., планируемые инвестиции в развитие ЕЭС России за данные семь лет составят около 2,3 трлн руб. в прогнозных ценах с учетом НДС (18 %). Из них 74 % инвестиций придется на генерирующие мощности, а оставшиеся 26 % – на развитие электросетей (рис. 9).

Российская отрасль электроэнергетики продолжает развиваться: растет потребление электроэнергии, происходит постепенное увеличение и обновление установленной мощности генерирующих компаний, а также повышение их рентабельности.

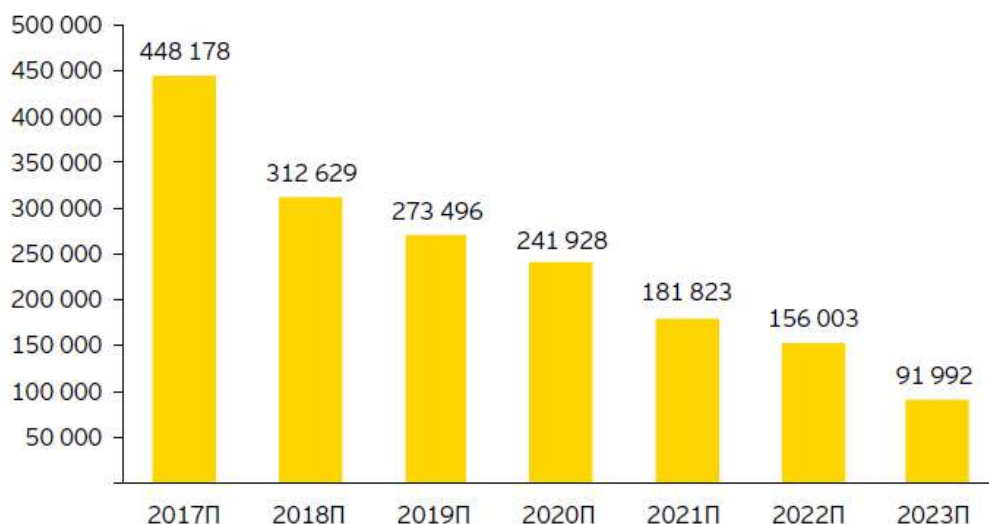


Рис. 9. Прогнозные объемы инвестиций на развитие генерирующих мощностей ЕЭС России в 2017–2023 гг. в прогнозных ценах, млн. руб.

В то же время наблюдается сокращение инвестиций в отрасль на фоне снижения влияния такого стимула, как программа ДПМ. Инвестиционное развитие сдерживают также сохранение нерыночных механизмов ценообразования (в том числе перекрестного субсидирования), избыток тепловой мощности, вынужденная генерация, высокие потери тепловой энергии и проблема неплатежей. Тем не менее, можно выделить несколько тенденций и инициатив, которые могут стимулировать инвестиции в отрасль в ближайшие годы:

- новая модель рынка тепловой энергии (механизм «альтернативной котельной») позволит увеличить инвестиции в сектор тепловой генерации за счет более эффективной системы тарифообразования;

- государство будет стимулировать развитие возобновляемой энергетики путем заключения договоров продажи мощности для проектов строительства генерирующих мощностей при условии выполнения требований по локализации оборудования;

- ожидается, что государство предложит новую программу поддержки инвестиций в модернизацию генерирующего оборудования;

- вывод из эксплуатации объектов вынужденной генерации поддержит баланс рынка и создаст дополнительную мотивацию для инвестиций в новые генерирующие мощности;

- все перечисленные выше инвестиционные возможности окажут положительное влияние на отрасль энергетического машиностроения;

- использование новых технологий в энергетической отрасли позволит повысить эффективность деятельности и откроет новые ниши для инвесторов.

Источники

1. Годовой отчет о функционировании ЕЭС за 2016 г. [Электронный ресурс]. URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2017/ups_rep2016.pdf (дата обращения: 03.11.2018).
2. О Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2035 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2017 г. № 1209-р. URL: <https://bazanpa.ru/pravitelstvo-rf-rasporiazhenie-n1209-r-ot09062017-h3009566/> (дата обращения: 03.11.2018).
3. Золотова И.Ю. Перекрестное субсидирование в электроэнергетике: эмпирический анализ, оценка эффективности собственной генерации // Эффективное антикризисное управление. 2017. № 3. С. 710–77.
4. Электроэнергетика России: проблемы выбора модели развития аналитический доклад / О.Г. Баркин [и др.]. М.: ИД Высшей школы экономики, 2014. 46 с.
5. Перечень генерирующих объектов, поставляющих мощность в вынужденном режиме, и информация о суммарных объемах поставки мощности таких объектов [Электронный ресурс]. URL: https://www.atsenergo.ru/nreport?access=public®ion=eur&rname=MFORM_sale_volume_VR_zsp (дата обращения: 03.11.2018).
6. Путина просят создать в России «интернет энергий» [Электронный ресурс]. URL: http://www.cnews.ru/news/top/2017-02-06_putina_prosyat_sozdat_v_rossii_internet_energij (дата обращения: 03.11.2018).
7. Целевая модель системы перспективного планирования в электроэнергетике [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/7196> (дата обращения: 03.11.2018).
8. О реформе теплоснабжения в Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/4227/69137> (дата обращения: 03.11.2018).

УДК 504. 064.47

ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖИВОТНОВОДСТВА

Р.Р. Зиннатов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ramil-022@yandex.ru
Науч. рук. канд. хим. наук А.В. Танеева

Аннотация. В работе рассматривается проблема утилизации сточных вод животноводческих комплексов. Отмечается актуальность поставленной проблемы. Анализируются современные способы обеззараживания стоков и их утилизация.

Ключевые слова: животноводческие сточные воды, утилизация, загрязнение, ресурсосберегающая технология, очистка.

Животноводческие сточные воды, в отличие от промышленных и бытовых, характеризуются ярко выраженным бактериальным и органическим загрязнением растительного и животного происхождения, а также аммиачными соединениями и относятся к 3 классу опасности. Как правило, утилизация таких стоков достаточно трудоемка. Сточные воды от предприятий животноводства отрицательно влияют на окружающую среду, и количество таких сточных вод с каждым годом увеличивается. Утилизация стоков от предприятий животноводства на сегодняшний день является актуальной проблемой. Скопление навоза и помета, количество которого часто значительно превышает естественный потенциал биодegradации, приводит к серьезному обострению проблемы охраны окружающей среды: нитратному и микробному загрязнению почв, воздуха, поверхностных и грунтовых вод. Микробное и общее загрязнение в районе расположения таких комплексов во много раз превышает естественный фон.

Хочется отметить, что в последнее время во многих животноводческих хозяйствах применяют относительно новую систему удаления навоза – гидросмыв. В результате образуется большое количество жидких навозных стоков, которые достаточно опасны для окружающей среды, а проблема их очистки и утилизации на сегодняшний день недостаточно изучена.

Хочется отметить, что при гидросмыве навоз разбавляется водой, что увеличивает период выживаемости патогенной микрофлоры, такой как кишечная палочка, бациллы дизентерии, возбудители холеры и тифа, вирусы гепатита и др., более чем в три раза [1].

Хочется отметить, что в настоящее время отсутствуют эффективные очистные сооружения и специальное оборудование, адаптированное под гидросмыв, особенно в небольших животноводческих хозяйствах. А существующие канализационно-очистные сооружения (если они вообще есть) долгие годы не модернизировались и заполнены до предела. Как правило, у большинства хозяйств отсутствуют специальные средства утилизации жидких стоков. Для крупных хозяйств нормативы утилизации жидких стоков составляют 100–1500 м³/сут.

В настоящее время утилизация сточных вод от предприятий животноводства основывается на устаревших способах: отстаивание сточных вод в лагунах, либо вывозе и перекачке навозных стоков в чистом виде на поля.

Для решения этой проблемы авторами [2] предлагается разделять жидкие навозные стоки на фракции. Было предложено разделение стоков с помощью коагулянта «АКВА-АУРАТ-130». Установлено, что время для эффективного разделения сточных вод, получаемых при гидросмыве, составляет 60–65 мин. при дозе коагулянта 3 мг/дм³. При этом эффективность разделения составляет 94 %.

В качестве химических реагентов для обеззараживания стоков применяются формальдегид, тиазон, негашеная известь. Как правило, химический способ обеззараживания применяется при малых количествах жидкого навоза. Так, например, в Болгарии навозную жижу обеззараживают хлорной известью. Спорообразующие патогенные микроорганизмы гибнут в 0,5 %-ном растворе. Дезинфекция завершается через 24 часа. В Швеции для обеззараживания используют формалин, известь, персульфат аммония, муравьиную кислоту при разных концентрациях и экспозициях. Хорошие результаты получены при использовании 25–40 кг извести на 1 т жидкого навоза [3]. Во Всесоюзном институте экспериментальной ветеринарии изучали обеззараживание стоков свиного комплекса после биологической очистки с использованием электрогидравлического удара, а в НИПТИМЭСХ Северо-Запада – после электрохимической обработки; эффективность этих методов составляет около 50 % [4]. Одним из перспективных методов обеззараживания жидкого свиного навоза считается обработка ионизирующим излучением. При этом содержание органического вещества в стоках снижается на 50–80 %, возбудители инфекционных болезней животных, а также яйца и личинки гельминтов погибают полностью. Стоки рекомендовано использовать для технических нужд и орошения сельскохозяйственных угодий [5].

Также авторами [6] предлагается ресурсосберегающая экологически безопасная технология обработки стоков свиноводческих хозяйств, которая основывается на использовании в процессе реагентной подготовки фосфогипса. Фосфогипс является отходом производства ортофосфорной кислоты и минеральных удобрений. Это позволит утилизировать не только стоки свиноводческих комплексов, но и фосфогипс, относящийся к 4 классу опасности. Для этого предлагается использовать вертикальный тонкослойный отстойник-сгуститель. Стоки самотеком поступают в приемник-резервуар, состоящий из двух камер. Затем с помощью насоса-измельчителя отходы поступают на смесители, где смешиваются с реагентами. В качестве первого реагента использую известковое молоко, второго – смесь суспензии фосфогипса и ортофосфорной кислоты. Смесь

подается в отстойник, где и разделяется на фракции. Осадок по физико-химическим показателям является ценным органоминеральным удобрением.

Источники

1. Федорченко М.А. Экологические и технологические решения утилизации продуктов гидросмыва свиноводческих комплексов с использованием шлама карбида кальция: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 2004. 16 с.

2. Колесникова Т.А., Суржко О.А. Интенсификация процесса разделения высококонцентрированных органосодержащих сточных вод. // Экология и безопасность жизнедеятельности: матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2009. С. 120–123.

3. Романенко Н. А., Хижняк Н. И. Санитарно-гельминтологическое исследование при оценке санитарного состояния внешней среды // Гигиена и санитария. 1973. № 3. С. 110–113

4. Владимирский В. И., Комарова А. А. Гидрологические основы охраны подземных вод на сельскохозяйственных полях орошения. М.: Гостеолтехиздат, 1963. 124 с.

5. Гончарук Е. И., Багдасарян Г. А., Баубинас А. К. Санитарно-биологическая оценка почвенной очистки сточных вод свиноводческого комплекса // Гигиена и санитария. 1980. № 10. С. 86–88.

6. Домашенко Ю.Е., Васильев С.М. Ресурсосберегающие технологии по подготовке животноводческих стоков для орошения сельскохозяйственных культур // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 106 (2). С. 1–12.

УДК 621.57

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН В СХЕМЕ ТЕПЛОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

С.Р. Ибатуллин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
basister@bk.ru

Науч. рук. канд. техн. наук Д.С. Бальзамов

Аннотация. В работе предложено использование абсорбционных холодильных машин в схеме ТЭС для охлаждения воздуха перед компрессором газовой турбины в летний период.

Ключевые слова: абсорбционная холодильная машина, охлаждение воздуха, тепловая электростанция.

Летние технологические ограничения по выработке электрической энергии электростанциями оказывают значительное влияние на экономические индикаторы генерирующих компаний. Данные ограничения связаны с ухудшением показателей работы генерирующего и вспомогательного оборудования станций при повышенной температуре наружного воздуха и обусловлены следующими факторами:

– прогрессирующим снижением электрической мощности газотурбинных установок при повышении температуры наружного воздуха выше расчётной (+15 °С);

–повышением температуры воды в системах охлаждения основного и вспомогательного оборудования и, как следствие, ухудшением вакуума в конденсаторах паровых турбин и работой охлаждаемого оборудования в более напряжённом тепловом режиме.

Актуальность снятия ограничений, обусловленных высокой температурой наружного воздуха, усиливается рыночной конъюнктурой. В летний период на оптовом рынке устанавливаются максимальные цены на электроэнергию, а ежегодный прирост летних нагрузок выше межсезонных и зимних. Проблема указанных технологических ограничений может быть решена путём интенсификации работы систем охлаждения оборудования за счёт применения абсорбционных холодильных машин, в частности бромисто-литиевых (далее АБХМ). Предпосылки для использования данных устройств, позволяющих трансформировать тепло в холод при минимальных затратах электроэнергии, очевидны. Так, в летний период на станциях имеется большое количество тепла, сбрасываемого в атмосферу с уходящими газами и через стационарные градирни. Электростанции, на которых будет обеспечено использование сбросного тепла для получения и последующего полезного использования хладоносителя, будут иметь серьёзные конкурентные преимущества.

Вопрос повышения эффективности производства электроэнергии на тепловых электрических станциях является одним из ключевых в решении задач энерго- и ресурсосбережения в энергетической отрасли.

Цель работы – повышение эффективности производства электрической энергии на тепловой электростанции путем использования абсорбционно-холодильных машин для понижения температуры воздуха на входе в компрессор ГТУ/ПТУ (рис. 1).

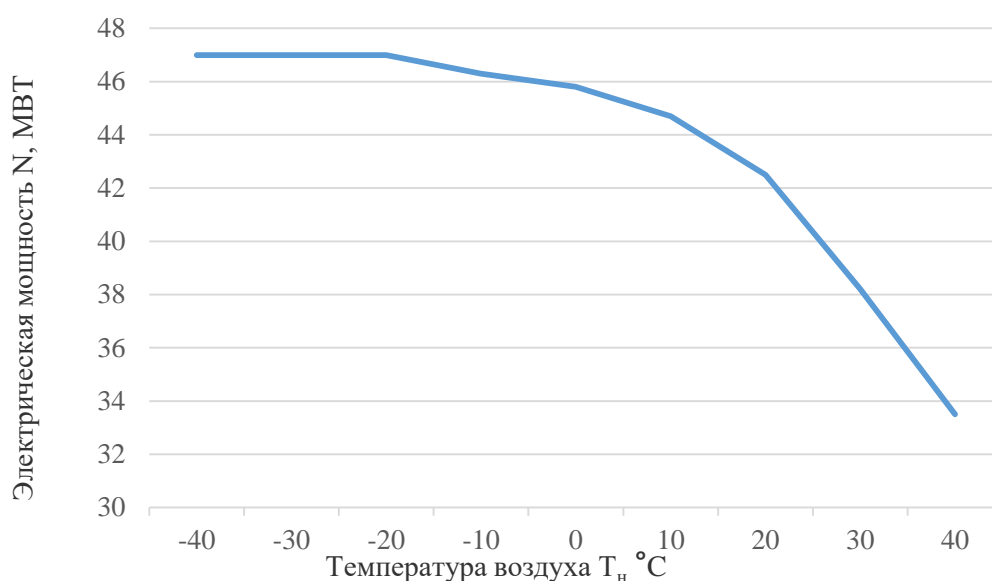


Рис. 1. Пример зависимости мощности ГТУ от температуры наружного воздуха

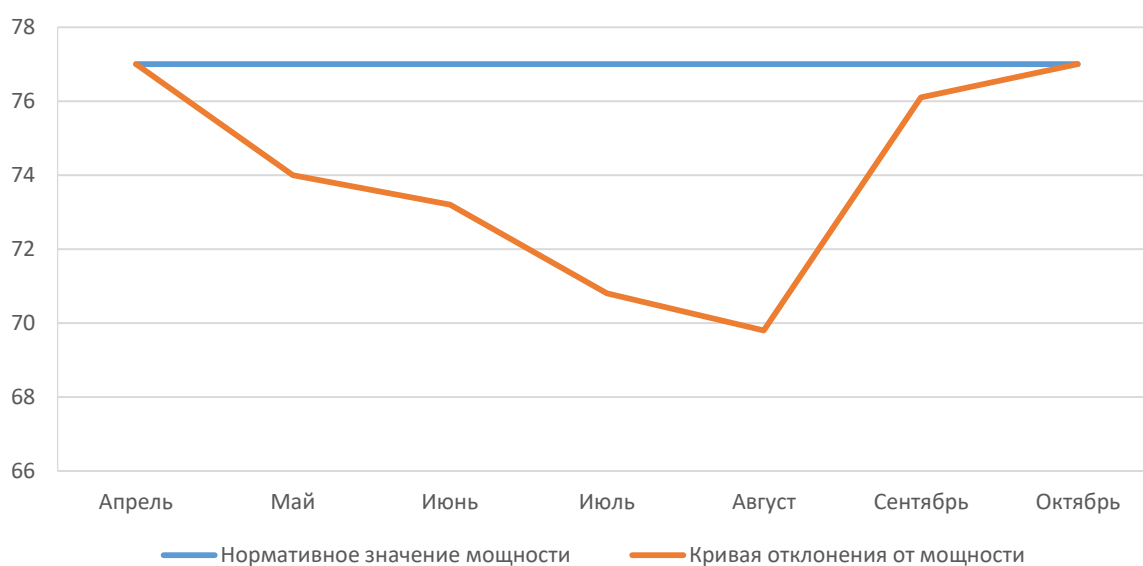


Рис. 2. График отклонения мощности ГТУ в теплый период

При эксплуатации газовой турбины в штатных условиях содержание воздуха в составе газозоудшной смеси достигает 98 %. Охлаждение воздуха на входе в газозую турбину позволяет компенсировать негативные факторы, связанные с высокой температурой наружного воздуха.

Практически все ГТУ имеют постоянный объемный расход воздуха. Таким образом, с повышением плотности воздуха, поступающего в систему, увеличивается его масса, при этом повышается мощность установки. Значительные потери мощности ГТУ отмечаются в летний период. Снижение температуры подаваемого в турбину воздуха с 40

до 15 °С предотвращает потенциальное снижение мощности ГТУ на 30 %. Номинальная мощность турбин обычно приводится для температуры воздуха 15 °С, относительной влажности 60 % (рис. 2).

В таблице представлены значения по недовыработке для одной из станций г. Казани.

В настоящее время на оптовом рынке электрической энергии и мощности применяется механизм, регулирующий инвестиционную деятельность по созданию (реконструкции) объектов генерации и обеспечивающий выполнение обязательств инвесторов по вводу генерирующих мощностей на условиях Договора предоставления мощности (ДПМ).

Анализ недовыработки электроэнергии в тёплый период

Месяц	Мощность, МВт
Апрель	15,3932
Май	1407,5876
Июнь	2543,1201
Июль	4893,6621
Август	5579,0067
Сентябрь	150,6412
Октябрь	4,2469
Итого	14593,66

ДПМ предусмотрено, что нарушение продавцом обязательств по поставке мощности в установленном количестве может выражаться:

– в частичном невыполнении обязательства по поставке мощности объектом генерации в количестве, определённом в ДПМ (т.е. недопоставка мощности данного объекта генерации);

– в полном невыполнении обязательства по поставке мощности в установленном ДПМ количестве – в случае продажи продавцом или отчуждения им иным способом введённого в эксплуатацию аттестованного объекта генерации.

Схема использования АБХМ представлена на рис. 3.

В испарителе АБХМ охлаждается хладоноситель, циркулирующий через теплообменник комплексного воздухоочистительного устройства (КВОУ). При работе АБХМ электрическая энергия потребляется только для привода циркуляционных насосов, а основным энергетическим ресурсом для выработки холода служит пар (возможны варианты применения горячей воды, отходящих дымовых газов).

В КВОУ осуществляется подготовка воздуха перед его подачей в компрессор газовой турбины, в частности фильтрация и охлаждение.

Влага, образующаяся путём конденсации содержащихся в охлаждаемом воздухе водяных паров, представляет собой обессоленную воду, являющуюся ценным ресурсом на электрической станции, в связи с чем подлежит сбору и дальнейшему полезному использованию на собственные нужды электростанции.

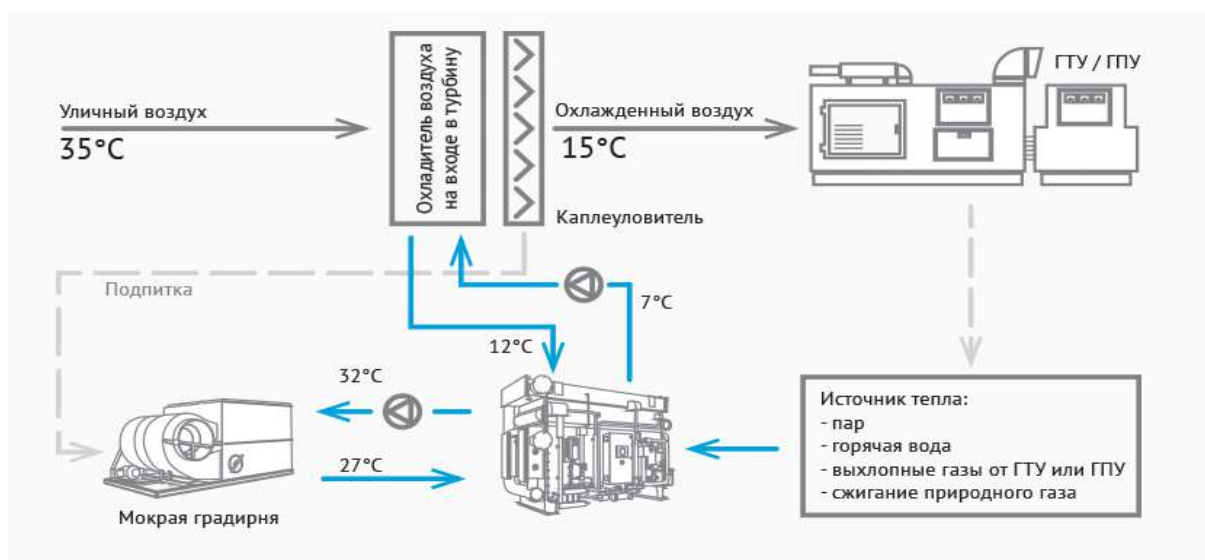


Рис. 3. Схема применения АБХМ

Применение систем охлаждения воздуха в виде готовых блоков обеспечивает производителям энергоустановок ряд преимуществ не только с точки зрения экономии средств, но и соответствия параметров поставляемого оборудования условиям конкретной площадки. Чтобы избежать возможных ошибок при использовании систем охлаждения воздуха на существующих электростанциях, нужно в деталях понимать конструктивные и эксплуатационные особенности оборудования.

Выполненные расчеты показывают, что окупаемость АБХМ для климатических условий Поволжья находится в диапазоне 5–7 лет, что является приемлемым для предприятий энергетической отрасли.

В связи с вышеизложенным, можно сделать вывод, что использование АБХМ на ТЭС является коммерчески эффективными и позволяет решать широкий спектр задач по увеличению располагаемой электрической и тепловой мощности, повышению энергоэффективности выработки электрической и тепловой энергии.

Источники

1. Закиров Д.Г., Рыбин А.А. Использование низкопотенциальной теплоты. Кн. II. М.: РУСАЙНС, 2015. 154 с.

2. Балъзамов Д.С., Зиганшина А.Р. Повышение эффективности работы котельной за счёт использования или переработки низкотемпературных газов // Поволжский научный вестник. 2017. № 1. С. 84–91.

3. Бараненко Д.В., Попов А.В., Тимофеевский Л.С. Энергосберегающие абсорбционные бромистолитиевые водоохлаждающие и водонагревательные преобразователи теплоты // Инженерные системы. АВОК Северо-Запад. 2001. № 4. С. 19–23.

4. Попов Д.В., Попов А.В., Корольков А.Г. Абсорбционные бромистолитиевые водоохлаждающие и нагревательные трансформаторы теплоты // Проблемы энергосбережения. 2003. № 1 (14). С. 13–17.

5. Абсорбционные преобразователи теплоты: монография / А.В. Бараненко [и др.]. СПб.: ГУНИПТ, 2005. 337 с.

6. Попов А.В. Анализ эффективности различных типов тепловых насосов // Проблемы энергосбережения. 2005. № 1-2(19). С. 17–22.

7. Попов Д.В., Галимова Л.В., Славин Р.Б. Энергосберегающая система парогазотурбинной установки и абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины нового поколения // Холодильная техника. 2007. № 2. С. 42–43.

8. Анализ эффективности различных типов водоохлаждающих машин, на атомных электростанциях (АЭС) / А.В. Попов [и др.] // Тяжёлое машиностроение. 2010. № 4. С. 13–15.

9. Тепловая электрическая станция с абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной: п. м. 119393 Рос. Федерация № 2012108642/06; заявл. 07.03.2012; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23.

УДК 658.26

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО КОТЛА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ДРЕВЕСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Л.И. Касимова¹, Р.Р. Нигматуллин²

¹КНИТУ, г. Казань

²ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

^{1,2}rad3723@yandex.ru

Науч. рук. д-р техн. наук М.А. Таймаров, канд. техн. наук А.Л. Осипов

Аннотация. В данной работе рассмотрено перспективное использование возобновляемых древесных источников энергии, создана конструкция энергосберегающего котла с использованием в качестве топлива газообразных продуктов.

Ключевые слова: печи и котлы, древесное топливо, энергосберегающий котел, генераторный газ, газификация.

При прямом сжигании возобновляемых древесных источников энергии в топках печей и котлов малой энергетики получаемое в них значение КПД оценивается величиной 80...85 % [1]. Эта величина является невысокой по сравнению с энергетическими котлами. Причины невысокого КПД обуславливаются значительными потерями тепла с уходящими газами и неполное сгорание топлива. Перспективным для использования древесных возобновляемых источников в энергетике является пирогазетическое разложение древесины с применением газообразных продуктов в качестве топлива [2–8]. В данной работе создана конструкция энергосберегающего котла с использованием в качестве топлива газообразных продуктов пирогазетического разложения древесины при работе топki в пульсирующем режиме.

Схема разработанного авторами энергосберегающего котла приведена на рис. 1.

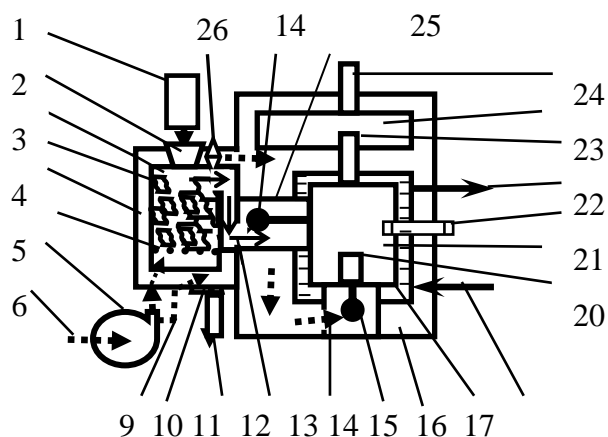


Рис. 1. Энергосберегающий котел для использования возобновляемых древесных источников энергии: 1 – дозировочный бункер с тарельчатым питателем, 2 – сырьевой затвор, 3 – газогенераторная камера, 4 – древесина на стадии термохимического разложения, 5 – воздушный кожух, 6 – колосник, 7 – вентилятор наддува, 8 – забор атмосферного воздуха, 9 – воздух для нагрева, 10 – зольный затвор, 11 – зольный транспортер, 12 – генераторный газ, 13 – нагретый воздух, 14 – мембранный клапан, 15 – воздушная рубашка, 16 – водяная рубашка, 17 – вход циркуляционной воды, 18 – аэродинамический клапан, 19 – топка, 20 – свеча зажигания, 21 – выход циркуляционной воды, 22 – резонансный патрубок, 23 – выхлопной ресивер, 24 – выхлопная труба, 25 – газовый ресивер, 26 – горелка розжига

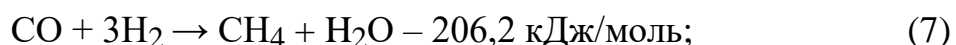
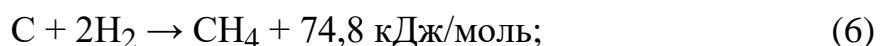
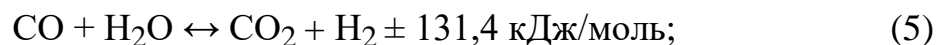
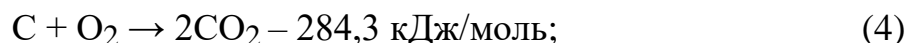
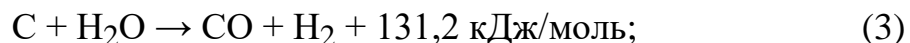
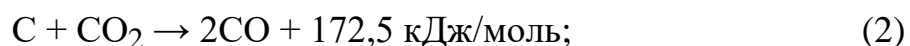
Для получения генераторного газа из древесины в разработанном котле использован прямой процесс газификации. В отличие от обращенного процесса газификации, при котором движение газов в камере газогенератора происходит сверху вниз, то есть воздух подводится выше

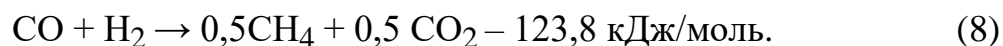
колосника, а генераторный газ отводится снизу, при прямом процессе продукты газификации движутся снизу вверх. При прямом процессе, в разработанной схеме котла (рис. 1), генераторный газ отводится сверху газогенераторной камеры 3.

В генераторном газе при выходе из камеры для прямого процесса содержится следующее количество конденсируемых веществ (в граммах на 1 м³ газа): воды 450–580, смолы 45–130, кислот 5–25 и спиртов 3–8. Выход генераторного газа в пересчете на сухой газ (при нормальных условиях, где температура 0 °С и давление 101,3 кПа) находится в пределах от 1,6 до 1,9 м³ на 1 кг абсолютно сухой древесины, и он содержит (в объемных долях процента): 21–33 % СО, 5–11% СО₂, 1,5–3 % СН₄, 0,1–0,8 % С_nН_m, 9–15 % Н₂, 0,2–0,5 % О₂ и 46–54% N₂. Теплота сгорания генераторного газа при прямом процессе $Q = 5400 - 6900$ кДж/м³.

В газогенераторной камере процесс газификации состоит из четырех этапов. Первый этап – быстрое высыхание древесины под действием высокой температуры; второй – термическое разложение древесины с образованием угля и дегтя, с последующим его испарением и преобразованием в смоляной газ; третий – сгорание органических соединений смоляного газа и части угля; и четвертый – восстановление на поверхности раскаленного угля двуокиси углерода СО₂ до ее монооксида СО, а воды Н₂О – до водорода Н₂.

Основная часть реакций, происходящих в камере газогенератора, является экзотермическими, то есть происходят с выделением тепла:





Первоначальный поджиг древесины, находящейся в камере 3, осуществляется от встроенной газовой горелки 26. После начала разложения древесины 4 горелка 26 выключается, и генераторный процесс идет за счет выделяющегося тепла с недостатком кислорода.

В воздушном кожухе 5 происходит первичный нагрев воздуха, нагнетаемого вентилятором 7. Образующаяся зола удаляется через колосник 6 и затвор 10 зольным транспортером 11. Часть воздуха после подогрева поступает в камеру 3, а другая часть поступает в воздушную рубашку 15.

Через мембранный клапан 14 нагретый воздух при помощи аэродинамического клапана 18 в пульсирующем режиме подается в топку 19. Аэродинамический клапан 18 представляет собой конструктивный элемент в виде отрезка трубы конкретной длины и площади поперечного сечения, определяемых конкретной формой и объемом топки 19 [9]. В предлагаемой конструкции клапан 18 позволяют изменять акустические характеристики топки в зависимости от требуемой тепловой мощности в соответствии с составом получаемого генераторного газа. Свеча зажигания 20 соединена с компьютеризированным пультом управления и служит для первичного воспламенения газозвушной смеси в топке.

Мембранный воздушный и газовый клапаны 14 служат для закрытия подачи воздуха и газа при повышении давления в камере сгорания. Клапаны 14 являются самодействующими и работают в пульсирующем режиме. Газовый ресивер 25 служит для создания противодействия генераторного газа, которое способствует быстрому заполнению топки генераторным газом после продувки ее воздухом.

Генераторный газ 12 после термохимического разложения древесины 4 из камеры 3 поступает через ресивер 25 и мембранный клапан 14 в топку 19, в которой сгорает при смешивании с воздухом, поступившим через аэродинамический клапан 18.

При сгорании генераторного газа возникает кратковременное повышение давления в топке 19, приводящее к генерации акустической волны в резонансном патрубке 22. При давлении в топке 19, превышающем давление в ресивере 25 и давление нагретого воздуха, мембранные клапаны 14 закрыты, и поступление генераторного газа и воздуха в топку 19 кратковременно прекращается.

Под избыточным давлением в топке 19 продукты сгорания выходят через патрубок 22 в выхлопной ресивер 23 и далее через выхлопную трубу

24 в атмосферу. При понижении давления в топке 19 клапаны 14 открываются, и в топку 19 поступают очередные количества генераторного газа и воздуха. Воспламенение образующейся газовой смеси производится не с помощью запальной свечи 3, а за счет остаточного пламени, постоянно присутствующего в зоне свечного пространства из-за завихрения пламени.

Далее процесс пульсирующего горения повторяется с частотой сотых долей секунды за счет всасывания воздуха и газа вследствие возникновения периодических полувольт разрежения в аэродинамическом клапане 18 и в патрубке 22. Выхлопной ресивер 23 предназначен для создания противодействия, обеспечивающего процесс возникновения акустической волны в резонансном патрубке 22. Резонансная частота колебаний патрубка 22 при генерации акустических волн при кратковременном повышении давления вследствие сгорания генераторного газа в топке 19 определяется по формуле [9]:

$$P = 54,14(S/VL)^{0,5}, \text{ Гц}, \quad (9)$$

где S – площадь поперечного сечения резонансного патрубка (рис. 1), м^2 ; V – объем топки, м^3 ; L – длина резонансного патрубка, м.

В разработанной конструкции энергосберегающего котла длина L резонансного патрубка может изменяться в зависимости от скорости сгорания генераторного газа. Теплота от сгорания генераторного газа 12 передается через водяную рубашку 16 нагреваемую циркуляционной водой 17, которая после нагрева поступает к потребителям тепловой энергии. Воздушная охлаждающая рубашка 15 служит для дополнительного подогрева воздуха, поступившего из воздушного кожуха 5 перед подачей этого воздуха через аэродинамический клапан 18 в топку 19.

Энергосберегающий эффект проявляется в отсутствии подсосов балластного воздуха, в сжигании нагретого генераторного газа с использованием нагретого воздуха, снижении потерь тепла от наружного охлаждения котла, снижении температуры продуктов сгорания, выбрасываемых в атмосферу. Процесс сжигания ведется при соотношении топлива и воздуха, близком к стехиометрическому, за счет пульсационного горения.

Источники

1. Таймаров М.А. Исследование эффективности объектов энергетического хозяйства. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2011. 136 с.

2. Таймаров М.А., Ахметова Р.В. Современные технологии газификации твердого топлива. Казань: Изд-во «Бриг», 2016. 76 с.

3. Таймаров М.А., Лавирко Ю.В. Теплогенерирующий агрегат с выработкой пиролизного газа // Известия КГАСУ. 2017. № 3 (41). С. 158–166.

4. Таймаров М.А., Сунгатуллин Р.Г., Ахметова Р.В. Интенсификация горения в топках котлов // Технические науки: современный взгляд на изучение актуальных проблем: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2016. Вып. 1. С. 23–29.

5. Таймаров М.А., Кувшинов Н.Е., Степанова Т.О. Технология воспламенения топлива // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. С. 41–44.

6. Таймаров М.А., Чикляев Е.Г., Касимова Л.И. Мобильная установка для термохимического разложения древесины // Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Казань, 2018. С. 43–44.

7. Таймаров М. А., Чикляев Е.Г., Касимова Л.И. Получение водорода из вторичной древесины // Наука в современном обществе: закономерности и тенденции развития: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Магнитогорск, 2018. С. 44–46.

8. Таймаров М.А., Чикляев Е.Г., Касимова Л.И. Пирогенетическая переработка древесины при переменных параметрах процесса // Новые идеи и перспективы развития: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Тюмень, 2018. С. 64–65.

9. Камера пульсирующего горения: п. м. 171012 Рос. Федерация № 2017100710; заявл. 10.01.17; опубл. 17.05.17, Бюл. № 14.

УДК 502.36

ОЦЕНКА РЕСУРСНОЙ ЦЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА

Н.С. Кныжова
СамГТУ, г. Самара
n-knyzhova@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук Ю.Э. Плешивцева

Аннотация. В статье рассмотрена проблема определения ресурсной ценности объектов хранения нефтесодержащих отходов, а также проведена апробация алгоритма анализа и контроля качества данных о компонентном составе отходов и основных характеристиках объектов их хранения.

Ключевые слова: ресурсосбережение, контроль качества данных, нефтесодержащие отходы, ресурсная ценность, компонентный состав, объект хранения отходов.

Россия занимает первое место в мире по добыче нефти по данным ОПЕК (547,497 млн т нефти было добыто в 2016 г.) и третье – по её переработке (суммарная мощность переработки основных нефтегазовых компаний – 284,1 млн т нефти). Самарская область относится к наиболее крупным нефтеносным регионам РФ, в котором общий объем переработки нефти составляет 25,5 млн т.

Результатом технологических процессов нефтепереработки являются не только полезные нефтепродукты, но и нефтесодержащие отходы (НСО), например: различные эмульсионные, плавающие и донные нефтешламы и т.п.

В нефтеперерабатывающей промышленности РФ имеются многочисленные системные проблемы. Затраты на хранение, транспортировку, утилизацию и захоронение НСО приводят к существенным потерям, связанным с неустраняемыми особенностями процессов переработки и с устранимыми причинами неэффективного использования ресурсов, а также с негативным влиянием НСО на экологическую ситуацию. Эффект, ожидаемый от совершенствования системы переработки НСО, может быть значительно больше, чем эффект от оптимизации процессов переработки первичного сырья. Наиболее остро проблема утилизации техногенных отходов возникает в связи с неблагоприятной экологической ситуацией в РФ.

Эти обстоятельства приводят к необходимости формулировки задачи инновационной реорганизации системы переработки НСО на основе учета их ресурсного потенциала.

Для реорганизации системы утилизации отходов нефтеперерабатывающей промышленности Самарской области необходимо иметь информацию о существующих в регионе хранилищах НСО, составе отходов в них и о доступных технологиях их переработки. Кроме того, необходимо классифицировать эту информацию, систематизировать и представить в виде, доступном для обработки и отбора по необходимым критериям.

Наиболее эффективным подходом к систематизации необходимой информации является создание базы данных (БД) по НСО. Для полноценного анализа разработанная БД должна включать в себя характеристики НСО и их объектов хранения, а также сведения о возможных технологиях переработки. К характеристикам НСО относятся наиболее важные для анализа физические и физико-химические

параметры, такие как агрегатное состояние, плотность, компонентный состав НСО, а также дата замеров этих параметров и класс опасности. К характеристикам объектов хранения относятся сведения о собственнике, номер в государственном реестре объектов размещения отходов, состояние объекта, сроки эксплуатации и географическое положение.

Эффективность переработки НСО определяется их ресурсной ценностью, под которой понимается количественная оценка их физико-химического состава и свойств, определяющая степень пригодности отходов для использования в качестве материальных ресурсов в технологиях переработки. Учет этой оценки необходим для определения значимости конкретного объекта хранения как источника этих ресурсов и расчета ресурсного потенциала отходов, который является комплексным показателем возможности повторного использования отходов и определяется технологическими, логистическими, технико-экономическими, экологическими и другими критериями [1].

Сравнительная оценка ресурсной ценности объектов хранения НСО основана на анализе данных об их компонентном составе. При оценке ресурсной ценности необходимо учитывать разнородные критерии как количественные, так и качественные. Поэтому предлагается использовать метод анализа данных Data Envelopment Analysis (DEA), который широко применяется для определения сравнительной эффективности и ранжирования процессов и производств [2–4].

DEA-метод предполагает построение кусочно-линейной оболочки – границы эффективности анализируемых объектов – по выбранным для анализа ресурсным переменным входа (inputs) и выходным переменным результативности (outputs), которые измеряются в различных единицах.

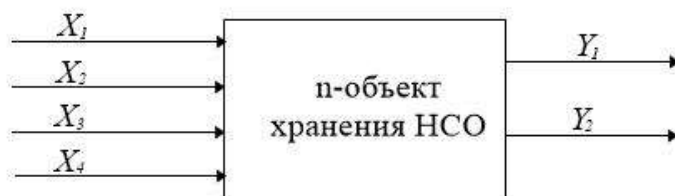


Рис.1. Модель оценки ресурсной ценности n-объекта хранения НСО

Согласно [5], математическая модель оценки ресурсной ценности n -го объекта хранения НСО может быть представлена в виде рис. 1. Объект имеет входы X_1 – X_4 , описывающие факторы, отрицательно влияющие на ресурсную ценность, и выходы Y_1 , Y_2 , описывающие факторы, положительно влияющие на ресурсную ценность.

В представленной модели X_1 – средневзвешенное процентное содержание асфальтенов и смол в НСО n -го объекта хранения [% масс]; X_2 – средневзвешенное процентное содержание минеральной части и механических примесей в НСО n -го объекта хранения [% масс]; X_3 – средневзвешенное процентное содержание серы в НСО n -го объекта хранения [% масс]; X_4 – средневзвешенное процентное содержание воды в НСО n -го объекта хранения [% масс]; Y_1 – средневзвешенное процентное содержание светлых нефтепродуктов в НСО n -го объекта хранения [% масс]; Y_2 – отношение массы светлых нефтепродуктов к массе вредных примесей (асфальтенов и смол, минеральной части и механических примесей, серы, воды).

При использовании DEA-метода ресурсная ценность в общем случае представляется как частное от деления суммы выходных параметров Y_1, Y_2 , на сумму входных параметров $X_1–X_4$ [1] и является целевой функцией. Тогда решение задачи оценки ресурсной ценности сводится к решению задачи математического программирования на максимум соответствующей целевой функции.

Применение DEA-метода требует наличия информации о значениях параметров входа $X_1–X_4$ и выхода Y_1, Y_2 , для каждого n -го объекта хранения НСО из рассматриваемой группы. Для проверки качества информации был разработан, адаптирован и апробирован алгоритм контроля качества данных [5], представленный на рис. 2, 3.

Разработанный алгоритм определяет следующие оценки качества информации:

1. Оценку достаточности информации как возможности анализа при неполном объеме данных.
2. Оценку актуальности информации как степени её значимости в момент использования.
3. Оценку точности информации как степени приближения измеренной информации к действительной при условии соблюдения всех требований ГОСТ Р 8.563–2009 [6].
4. Оценку достоверности информации как способности отражать реальную информацию об объекте.

Если хотя бы одна из перечисленных оценок равна 0, тогда оценка релевантности считается равной 0. Если все перечисленные оценки больше 0, тогда оценка релевантности информации определяется суммированием этих оценок с соответствующими весовыми коэффициентами.

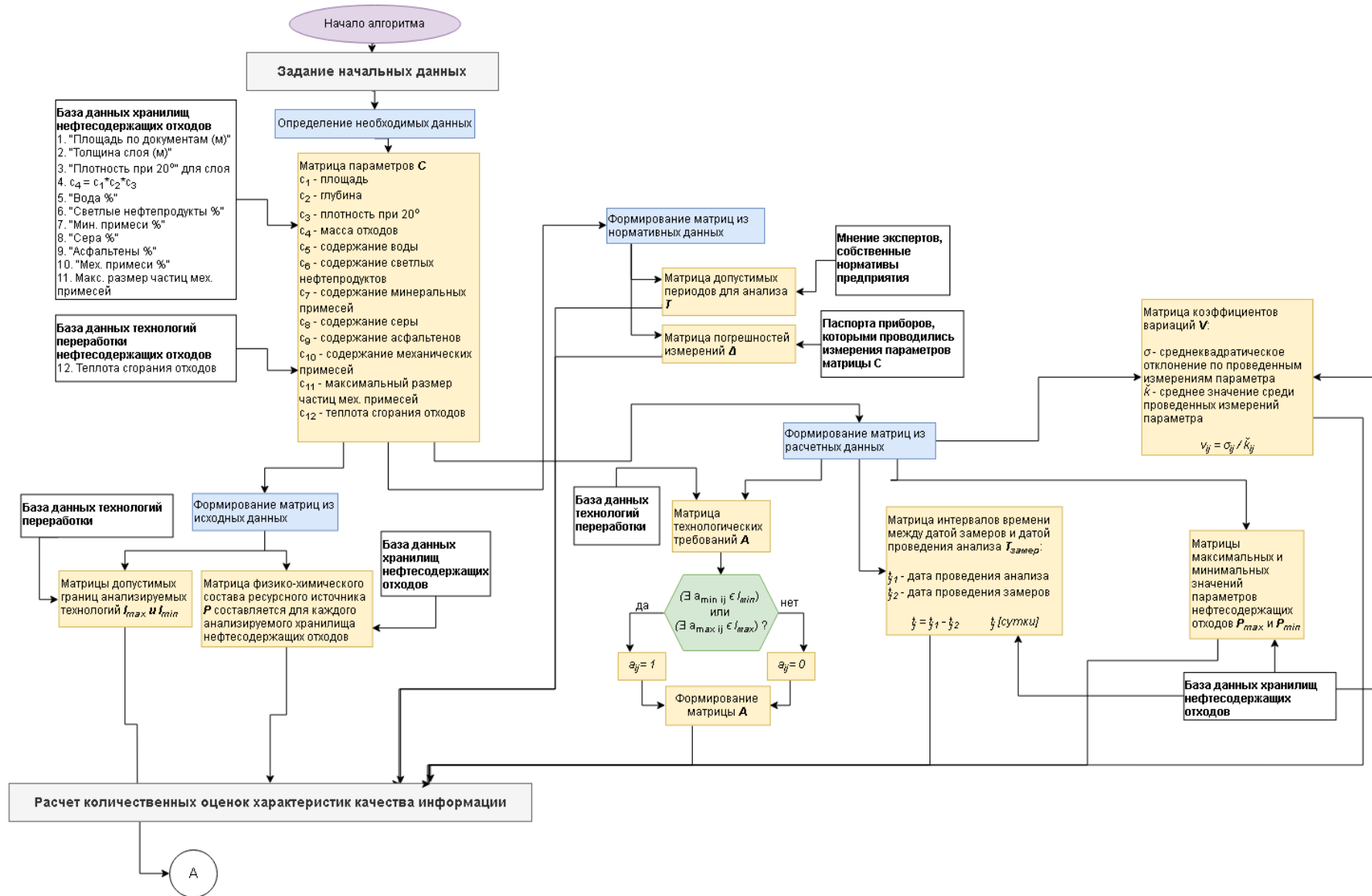


Рис. 2. Алгоритм анализа и контроля качества данных

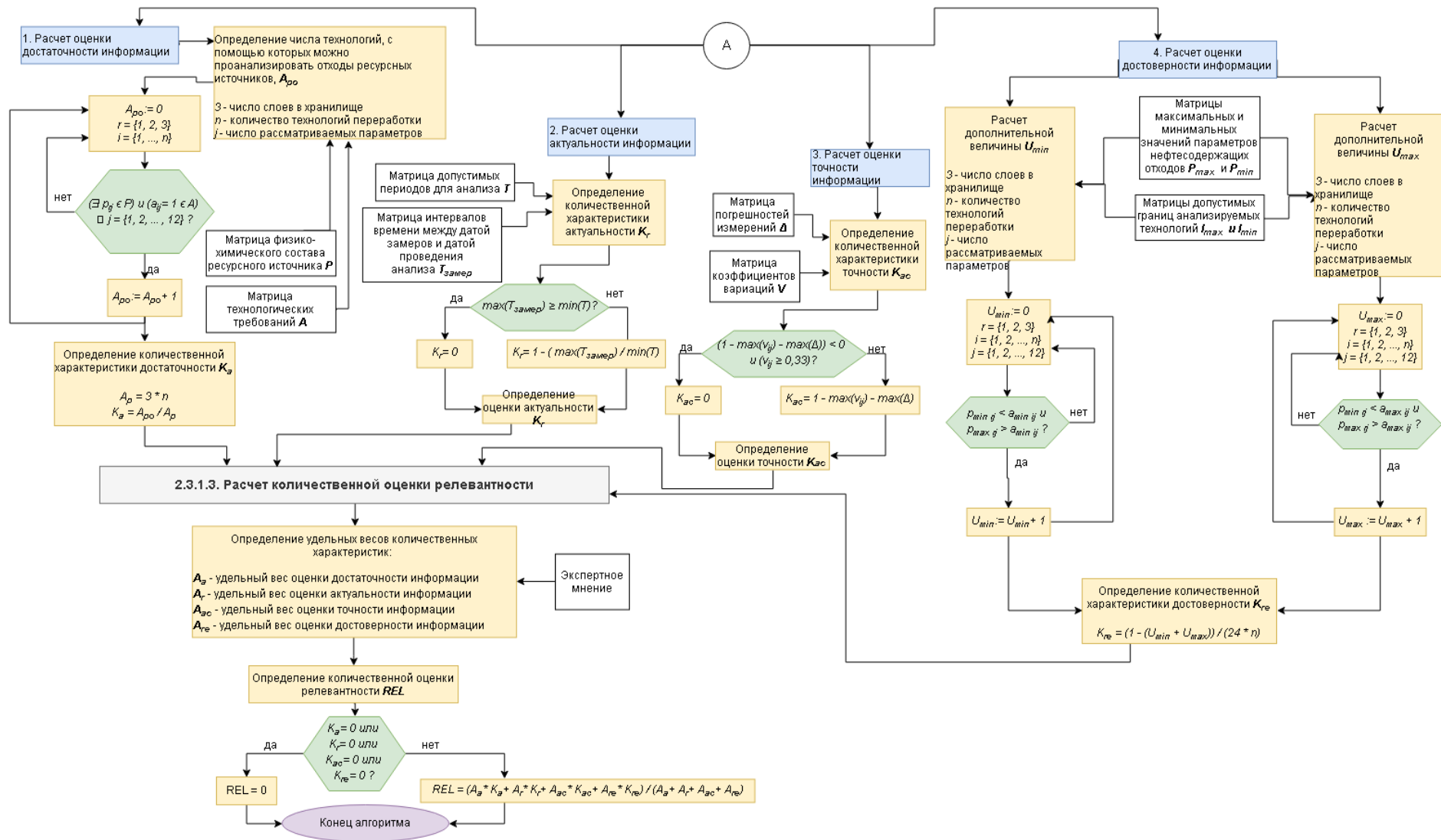


Рис. 3. Алгоритм анализа и контроля качества данных (продолжение)

Тестовый набор данных для апробации алгоритма контроля качества включал 12 технологий переработки и 26 объектов хранения НСО, расположенных на территории Самарской области. Результаты расчетов приведены в таблице [5].

Результаты расчетов на тестовом наборе данных

№	Наименование хранилища	Оценка достаточности	Оценка актуальности	Оценка точности	Оценка достоверности	Оценка релевантности
1	2	3	4	5	6	7
1	1 амбар за Луганским товарным парком	1,0000	0,0000	0,8214	0,9618	0,0000
2	2 амбар за Луганским товарным парком	1,0000	0,0000	0,8186	0,9549	0,0000
3	3 амбар за Луганским товарным парком	1,0000	0,0000	0,8082	0,9410	0,0000
4	Амбар №1 Яблоневского месторождения	1,0000	0,0000	0,8187	1,0000	0,0000
5	Амбар АГЗУ №2 Южно-Неприковского м/р	0,6667	0,0000	0,8165	0,9861	0,0000
6	Амбар АГЗУ №356 Подгорненского м/р	0,6667	0,0000	0,8234	1,0000	0,0000
7	Амбар АГЗУ №356а Подгорненского м/р	0,6667	0,0000	0,8223	0,9965	0,0000
8	Илонакопитель УКПН-1 №1	1,0000	0,1778	0,8119	0,9549	0,7728
9	Илонакопитель УКПН-1 №2	1,0000	0,1778	0,8040	0,9549	0,7708
10	Илонакопитель УКПН-1 №3	1,0000	0,1778	0,8224	0,9549	0,7754
11	Илонакопитель УКПН-1 №4	1,0000	0,1778	0,8060	0,9549	0,7713
12	Нефтеловушки1, район налива солёной воды ЦДНГ-3	1,0000	0,1778	0,8048	0,9410	0,7661
13	Нефтеловушки2, район налива солёной воды ЦДНГ-3	0,6667	0,1778	0,8267	0,9896	0,7219
14	Нефтеловушки3, район налива солёной воды ЦДНГ-3	0,6667	0,1778	0,8280	1,0000	0,7259
15	Обвалования свечи СУ-16	0,6667	0,4889	0,8022	0,9826	0,7756
16	Обвалования свечи СУ-2	0,6667	0,4889	0,8099	1,0000	0,7836
17	Старый илонакопитель УКПН-2 №1	1,0000	0,4889	0,8114	0,9410	0,8300
18	Старый илонакопитель УКПН-2 №2	1,0000	0,4889	0,8049	0,9583	0,8344

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
19	Старый илонакопитель УКПН-2 №3	1,0000	0,4889	0,8124	0,9583	0,8363
20	Старый илонакопитель УКПН-2 №4	1,0000	0,4889	0,8014	0,9549	0,8323
21	Старый илонакопитель УКПН-2 №5	1,0000	0,4889	0,8051	0,9583	0,8345
22	Старый илонакопитель УКПН-2 №6	1,0000	0,4889	0,8118	0,9549	0,8349
23	СУ-25 обвалование свечи аварийного сброса	0,6667	0,4889	0,8136	0,9896	0,7809
24	СУ-27 обвалование свечи аварийного сброса	0,3333	0,4889	0,7980	1,0000	0,7139
25	Шламонакопитель УКПН-2 №10	1,0000	0,4889	0,8104	0,9410	0,8297
26	Шламонакопитель УКПН-2 №8	1,0000	0,4889	0,8237	0,9583	0,8391

Алгоритм контроля качества данных был реализован в программном пакете MATLAB; результаты расчета записывались в файлы в формате Excel в соответствии с определенными требованиями.

Количественные оценки представлены для каждого проанализированного хранилища из тестового набора данных. Низкие значения оценки актуальности объясняются заведомо коротким допустимым промежутком времени использования данных для некоторых параметров. Оценки актуальности и, следовательно, релевантности информации объектов хранения НСО № 1-7 равны 0, что означает, что данные об этих объектах хранения не могут быть использованы при дальнейшем анализе и определении оценки ресурсной ценности объектов хранения без предварительного обновления и уточнения. Объекты хранения НСО № 17-22, 25, 26 напротив имеют высокие оценки релевантности, что показывает высокое качество информации об этих объектах хранения.

Полученные результаты тестирования показывают, что разработанный алгоритм контроля качества данных отвечает поставленным задачам и может использоваться для оценки ресурсной ценности объектов хранения НСО.

Источники

1. Сравнительная оценка ресурсной ценности объектов хранения нефтесодержащих отходов на основе DEA-метода / Ю.Э. Плешивцева [и др.] // Нефтяное хозяйство. 2018. № 8. С. 104–109.

2. Дилигенский Н.В., Давыдов А.Н., Цапенко М.В. Сравнительный многокритериальный анализ эффективности операционной деятельности промышленных предприятий // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: тр. XII Междунар. конф. Самара, 2010. С. 126–136.

3. Дилигенский Н.В., Цапенко М.В. Методология ДЕА: оценка эффективности экономических объектов, анализ метода и свойств решений // Высшее образование, бизнес, предпринимательство. 2001. С. 149–159.

4. Плешивцева Ю.Э., Деревянов М.Ю., Сетин С.П. Системный анализ качества управления процессом первичной переработки нефти // Нефтяное хозяйство. 2014. № 8. С. 124–128.

5. Оптимизация по критериям ресурсной ценности, энерго-сбережения и экологической безопасности организационно-технической системы утилизации отходов нефтегазового комплекса: отчет о НИР (промежут.) / Самарск. гос. тех. ун-т; рук. Ю.Э. Плешивцева. Самара, 2018. 487 с.

6. ГОСТ Р 8.563-2009. Методики (методы) измерений. М.: Стандартинформ, 2011. 15 с.

УДК 621.1

ВЛИЯНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ НА СКОРОСТЬ ОЧИСТКИ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

А.Д. Липагина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
konovalovaad@mail.ru
Науч. рук. д-р техн. наук В.К. Ильин

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема очистки теплообменных аппаратов. В качестве способа очистки был предложен метод наложения пульсаций на стационарный поток. Оценка влияния вынужденного потока на очистку производилась путем CFD моделирования с использованием метода описания движения частиц с учетом их взаимодействия (DEM). Показано, что скорость очистки повышается при импульсном потоке.

Ключевые слова: очистка, импульсный поток, скорость эрозии, CFD моделирование, модель DEM, загрязнение.

Частичное загрязнение на поверхностях теплообменника снижает эффективность теплопередачи и увеличивает нестабильность работы оборудования. Известно, что около 15 % затрат на техническое обслуживание технологических установок относится к теплообменникам и котлам, причем половина их вызвана загрязнением [7].

Наиболее распространенными методами очистки теплообменных аппаратов являются химическая и механическая очистка. Химическую очистку обычно используют при небольших загрязнениях, после такой очистки необходимо также проведение работ по утилизации химического раствора. Механическая очистка, в свою очередь, предполагает разборку теплообменного агрегата, что значительно повышает трудоемкость процесса.

Перспективным методом очистки теплообменного аппарата можно назвать метод использования импульсного потока. Импульсный поток представляет собой стационарный поток, на который наложили движение осциллирующей жидкости, например синусоидальное движение.

Импульсный поток создает периодические ускорения потока жидкости, которые приводят к более быстрому разрушению слоя загрязнения из-за увеличения напряжения сдвига, действующего на поверхность. Изменение направление потока жидкости также влияет и на скорость массопереноса, скорость эрозии, а также на скорость удаления загрязняющих слоев.

Эксперименты [4] показывают, что при импульсном потоке достигается сокращение времени очистки до 50 %, требуемое время уменьшается примерно с 25 до 10 мин.

Чтобы количественно оценить влияние импульсного потока на эффективность очистки, необходимо определить действующие силы. В работе [3] авторами были проведены серии экспериментов, где в качестве действующей силы взяли касательное напряжение на стенке. И далее было проведено сравнение экспериментальных данных с результатами моделирования: время очистки, полученное из эксперимента, и касательное напряжение на стенке, полученное моделированием, коррелируют и обратно пропорциональны. Для демонстрации результата очистки вынужденным потоком авторы работы [5] построили график зависимости измеренного времени локальной очистки t_{cx} от смоделированного числа удаления \tilde{A} . Между ними была четкая корреляция.

Не смотря на имеющие положительные результаты при применении пульсирующих потоков для очистки поверхностей теплообмен, данных в этой области крайне мало, а имеющие результаты далеки от завершения. Поэтому в данной работе было проведено математическое моделирование влияние импульсного потока на степень очистки поверхности теплообмена.

Течение несжимаемой жидкости описывалось системой уравнений Навье-Стокса, турбулентность потока описывалась моделью

турбулентности Spalart –Allmaras (SA). Модель SA была выбрана в связи с тем, что она показала удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными при нестационарном теплообмене в пучке труб с числами Рейнольдса $Re < 1000$ [1].

Для моделирования впрыскиваемых частиц, была использована модель дискретных элементов (DEM). Такое моделирование характеризуется большой объемной частью частиц, где важно взаимодействие частиц с частицами.

При соударении сила, действующая на частицу по нормали, рассчитывалась из закона об упругом соударении, а сила, действующая по касательной – из закона трения.

При упругом соударении сила, действующая на частицу, определяется следующим образом:

$$\vec{F}_1 = \delta \cdot K \cdot \vec{e}_{12}. \quad (1)$$

Сила, действующая на вторую частицу, по третьему закону Ньютона:

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1, \quad (2)$$

где $\delta = \|x_2 - x_1\| - (r_1 + r_2)$, x – координата соответствующей частицы, r – радиус частицы, а K – константа, которую мы назначаем сами.

Тангенциальная составляющая силы находится следующим образом:

$$F_{friction} = \mu F_{normal}, \quad (3)$$

где μ – коэффициент трения, а F_{normal} – сила нормальной реакции. Направление силы трения противоположно относительному тангенциальному движению и может препятствовать относительному тангенциальному движению.

Коэффициент трения является функцией относительной величины тангенциальной скорости (v_{rt}):

при $v_{rt} \leq v_{glide}$:

$$\mu(v_{rt}) = \mu_{stick} + (\mu_{stick} - \mu_{glide}) \left(\frac{v_{rt}}{v_{glide}} - 2 \right) \left(\frac{v_{rt}}{v_{glide}} \right) \quad (4)$$

при $v_{glide} \leq v_{rt} \leq v_{limit}$:

$$\mu(v_{rt}) = \mu_{glide}, \quad (5)$$

где μ_{stick} – коэффициент трения прилипания, μ_{glide} – коэффициент трения скольжения, v_{glide} – скорость проскальзывания, v_{limit} – предельная скорость, после которой коэффициент трения начинает снижаться с увеличением скорости [2].

Подача частиц песка осуществлялась по всему входному сечению (inlet) (рис. 1), частицы уносятся потоком, поэтому начальная их скорость не задавалась.

В качестве критерия очистки использовалось значение скорости эрозии. В данной работе была использована модель Zhu [6], использующая параметры, рассчитанные по модели дискретной фазы, для расчета скорости эрозии:

$$E = \sum_{p=1}^{N_{particle}} \frac{1.8 \cdot 10^{-9} \dot{m}_p}{A_{face}}, \quad (6)$$

где A_{face} – площадь ячейки сетки, прилегающей к поверхности стены, а \dot{m}_p – массовый расход потока частиц.

В качестве геометрии был взят пучок труб, расположенных в шахматном порядке, диаметр труб составлял 0,01 м (рис. 1).

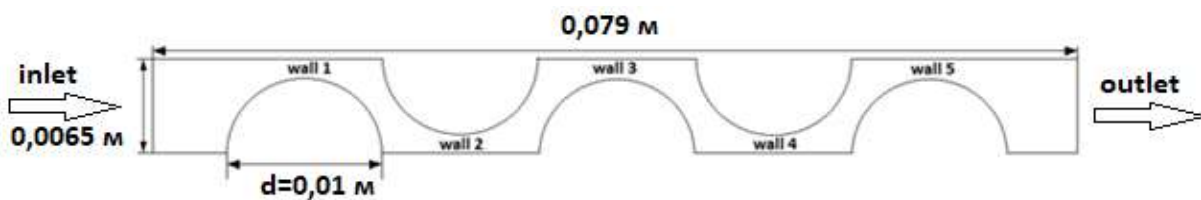


Рис. 1. Геометрия численного эксперимента

Сетка состояла из 4635 ячеек, в пристеночной области было десять слоев сгущения ячеек, для более точных результатов моделирования.

На рис. 2 показана форма импульса, подающегося на поверхность inlet в импульсном режиме, импульсы подаются непрерывно.

В табл. 1 указаны параметры, применяемые при моделировании. Числа Рейнольдса Re рассчитывались по диаметру цилиндра и скорости в самом узком сечении пучка труб.

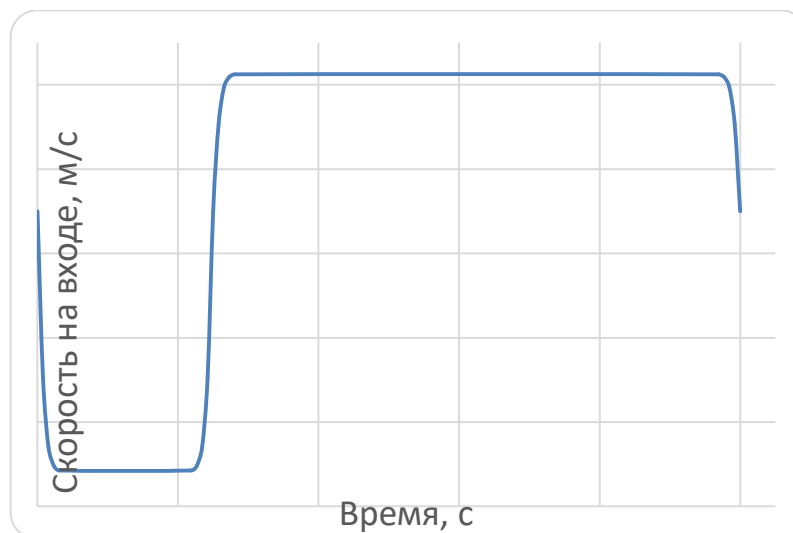


Рис. 2. Профиль импульса

Таблица 1

Параметры моделирования

Название параметра	Обозначение, ед. измерения	Значение
Число Рейнольдса	Re	100
Диаметр трубы	$d_{\text{трубы}}$, м	0,01
Диаметр частиц	$d_{\text{частиц}}$, м	0,0005
Константа упругого удара	K	1000
Коэффициент трения прилипания	μ_{stick}	0,5
Коэффициент трения скольжения	μ_{glide}	0,2
Скорость проскальзывания	v_{glide} , м/с	1
Предельная скорость	v_{limit} , м/с	10
Временной шаг	Δt , с	0,01

Как уже было сказано, в качестве критерия оценки воздействия импульсного потока на очистку теплообменного аппарата была взята скорость эрозии. По определению под эрозионным износом понимается «материальный ущерб, вызванный воздействием частиц, увлеченных жидкой системой, воздействующей на поверхность с высокой скоростью». То есть воздействующие твердые или жидкие частицы, переносимые в газе или жидкости, постепенно удаляют материал (загрязнение) с поверхности посредством повторного контакта с поверхностью.

Моделирование показало (табл. 2), что при импульсном режиме скорость эрозии выше на 24 %, чем при стационарном, т.е. при импульсном режиме частицы песка выбивают части загрязнения быстрее,

что приводит к более быстрой очистке теплообменного аппарата. Соответственно, можно сделать вывод о положительном влиянии импульсного потока на очистку теплообменного аппарата.

Таблица 2

Средневзвешенная по площади величина скорости эрозии при стационарном и при импульсном потоке за 10 с

Осредненная по поверхности стенки цилиндра скорость эрозии	Стационарный поток (kg/m ² -s)	Импульсный поток (kg/m ² -s)
wall_1	$1,206 \cdot 10^{-4}$	$1,807 \cdot 10^{-4}$
wall_2	$11,738 \cdot 10^{-4}$	$16,253 \cdot 10^{-4}$
wall_3	$1,203 \cdot 10^{-4}$	$1,603 \cdot 10^{-4}$
wall_4	$0,910 \cdot 10^{-4}$	$0,212 \cdot 10^{-4}$
wall_5	$0,177 \cdot 10^{-7}$	$0,187 \cdot 10^{-7}$
wall_1-5	$3,01 \cdot 10^{-4}$	$3,732 \cdot 10^{-4}$

Источники

1. Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р., Ильин В.К. Теплообмен в проточном канале с пучком труб коридорного расположения при наложении на поток жидкости противоточных низкочастотных несимметричных пульсаций // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 11-12. С. 56–67.

2. ANSYS FLUENT Theory Guide 18.2.0, 2017.

3. Pulsed flow for enhanced cleaning in food processing / W. Augustin [et al.] // Food and Bioproducts Processing. 2010. Vol. 8. Pp. 384–391.

4. Scholl Pulsed Flow Cleaning of Whey Protein Fouling Layers / K. Bode [et al.] // Heat Transfer Engineering. 2007. Vol. 28, № 3. Pp. 202–209.

5. Modeling and Validation of the Mechanism of Pulsed Flow Cleaning / H. Foste [et al.] // Heat Transfer Engineering. Vol. 34, Is. 8-9. Pp. 753–760.

6. Numerical analysis of flow erosion on sand discharge pipe in nitrogen drilling [Электронный ресурс] / H. Zhu [et al.] // Advances in Mech Eng. 2013. Vol. 5. 10 p. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1155/2013/952652> (дата обращения: 27.01.2019).

7. Hassan I. Fouling in Heat Exchangers // Heat Transfer Engineering. 2013. Vol. 34, Is. 8-9. Pp. 753–760.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕПЛО ДЛЯ «ГОРОДА БУДУЩЕГО»

Е.А. Маранцева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
enes-0413@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук Е.А. Лаптева

Аннотация. Данная статья знакомит нас с новейшими навыками решения теплотехнических задач для организации надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию, а также для обеспечения бесперебойной работы, правильной эксплуатации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования предприятий.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплоснабжение, котельная, тепловые сети, потребность, инженерные системы.

Летом 2015 г. в Республике Татарстан состоялось официальное открытие нового города – Иннополиса, призванного стать центром российской IT-индустрии. Его строительство заняло немногим более двух лет. Сейчас в «городе будущего» несколько улиц и больше тысячи жителей. К 2030 г. он займёт территорию площадью 1200 га, а его население вырастет до 155 тыс. человек.

Сегодня Иннополис признан одним из первых действующих территориально-инновационных кластеров, которые в недалёком будущем станут основой экономической и научной жизни страны. Поэтому всё в городе – от зданий технопарка до коммунальных сетей – выполняется по последнему слову техники и в полном соответствии с мировыми требованиями и стандартами.

Генеральный план Иннополиса был разработан компанией RSP Architects Planners & Engineers под руководством Лиу Тай Кера, бывшего главного архитектора Сингапура. Благодаря его прогрессивным идеям новые здания органично вписались в окружающий ландшафт. Архитектура города, который возводится в одном из живописнейших мест Татарстана – Верхнеуслонском районе, подчёркивает близость к природе.

В городе уже создана вся необходимая инженерная инфраструктура, которая будет расширяться по мере увеличения застройки: возведены электростанция и котельная, обеспечено водоснабжение, устроена канализация. Одной из ключевых задач при строительстве объектов Иннополиса стал выбор насосного оборудования, так как от последнего зависят не только надёжность работы сетей и комфорт жителей, но и общая энергоэффективность «города будущего».

Остановимся подробнее на решениях, реализованных в новом городе Татарстана.

1. Энергоэффективное тепло для Иннополиса.

Теплоснабжение всех объектов нового города осуществляется от автоматической модульной котельной мощностью 32 МВт, которая была введена в эксплуатацию в 2015 г. вместе с первой очередью Иннополиса. До этого строительную площадку временно обеспечивали теплом четыре блочно-модульных пункта суммарной мощностью 8,76 МВт.

Котельная расположена на территории энергоцентра наукограда, в ней смонтированы четыре отопительных агрегата, работающих на газе: два мощностью по 10 МВт и два – по 6 МВт. В аварийных ситуациях предусмотрено использование дизельного топлива. За подготовку, отпуск и транспортировку теплоносителя отвечает оборудование серии TP компании GRUNDFOS, ведущего мирового производителя насосов. Модели изготовлены из чугуна, а для обеспечения устойчивости к перекачиваемой среде на проточную часть оборудования нанесено коррозионностойкое катафорезное покрытие.

Котельная полностью автоматизирована: всё оборудование включено в систему удалённого контроля и диспетчеризации. Для обеспечения надёжного и бесперебойного функционирования объекта также были построены вспомогательные здания и сооружения. К ним относятся два контрольно-пропускных пункта; два подземных резервуара для пожаротушения и два – для сырой воды; подземный резервуар ливневых стоков; наземный резервуар минерализованных стоков; резервное топливное хозяйство из четырёх наземных и одного подземного резервуара; эстакада трубопроводов; кабельная эстакада и эстакада дизельного топлива.

Сама схема отопления в жилых и общественных зданиях Иннополиса реализована на основе горизонтальной двухтрубной разводки с возможностью индивидуального регулирования в каждом помещении. Такие сооружения потребляют в среднем на 30–50 % ресурсов меньше, чем дома с традиционными системами отопления. В итоге снижается нагрузка на генерирующие мощности, тепловые сети, уменьшается расход топлива, растут темпы и возможности застройки и развития городской инфраструктуры.

2. Особенности инженерных систем для «зданий будущего».

Безусловно, инженерная «инновационность» нового города не ограничивается общими коммунальными сетями: у жилых и общественных объектов есть системы жизнеобеспечения, которые также оснащены по

последнему слову техники. Особый интерес представляет семиэтажный административно-деловой центр им. А.С. Попова. В здании круглой формы общей площадью 43000 м² реализована система холодоснабжения с применением уникальной разработки под названием «замкнутая водная петля». Это решение создано специально для кондиционирования больших коммерческих сооружений с открытой планировкой, таких как корпус технопарка. Преимущество «водной петли» заключается в рекуперации. В замкнутой трубе, опоясывающей корпус технопарка, циркулирует вода с постоянной температурой, для поддержания которой используются специальные тепловые насосы. Они, в свою очередь, при необходимости забирают «лишнее» тепло из помещений, требующих охлаждения, и отправляют его туда, где необходим обогрев.

За движение хладагента в системе и его доставку к «конечным» точкам отвечают насосы GRUNDFOS серии NB с оптимизированной проточной частью, благодаря этому оборудование может перекачивать большие объёмы хладагента в кратчайшие сроки. Так же, как модели линейки TP и установки повышения давления Hydro MPC, насосы NB выпускаются на заводе «ГРУНДФОС Истра». Оборудование подвергается статической балансировке в соответствии с классом 6,3 стандарта ISO 1940-1, а рабочие колёса насосов проходят гидравлическую балансировку.

3. Теплоснабжение г. Иннополис.

Для теплоснабжения потребителей территориально-обособленного центра «Иннополис» используется источник теплоснабжения: водогрейная котельная общей тепловой мощностью 32 МВт (1 этап) с возможностью увеличения тепловой мощности до 100 МВт, расположенная на площадке площадью 4,72 га, которая находится в восточной части города Иннополис, на расстоянии 750 м от Технопарка. Для водогрейной котельной произведено строительство следующих зданий и сооружений:

- здание котельной с дымовой трубой;
- аккумуляторные емкости;
- ГРП (газовый распределительный пункт);
- подземная резервная емкость сырой воды;
- подземные пожарные емкости;
- хозяйство резервного дизельного топлива;
- очистные сооружения;
- контрольно-пропускной пункт;
- внутриплощадочные технологические коммуникации;
- эстакады технологических трубопроводов.

Здание водогрейной котельной с дымовой трубой занимает площадь 1654,38 м², вспомогательные здания и сооружения – 4892,54 м².

Проектным решением было предусмотрена установка следующего котельного оборудования:

– двух водогрейных котлов высокого давления для жидкого и газообразного топлива VTOMAX 200HW типа M238 фирмы «VIWSSMANN», теплопроизводительностью 11,3 МВт с газовыми горелками фирмы «Weishaupt»;

– двух водогрейных котлов высокого давления для жидкого и газообразного топлива VTOMAX 200HW типа M238 фирмы «VIWSSMANN», теплопроизводительностью 6,8 МВт с газовыми горелками фирмы «Weishaupt».

Собственником сетей и эксплуатирующей организацией является АО ОЭЗ «Иннополис».

Фактически сложившийся баланс тепловой мощности и тепловой нагрузки показывает, что мощность существующего в муниципальном образовании «город Иннополис» теплоисточника обеспечивают потребителей в необходимом объеме. Дефицит пропускной способности сетей в муниципальном образовании «город Иннополис» отсутствует. Имеющаяся водоподготовительная установка обеспечивает в необходимом количестве технически неизбежные потери теплоносителя в водяных тепловых сетях. Наиболее слабым звеном системы теплоснабжения являются тепловые сети. Повреждения на трубопроводах большого диаметра могут привести к длительным перерывам в подаче теплоты целым жилым районам и к выходу из строя систем отопления зданий.

По итогам проведенного анализа системы теплоснабжения муниципального образования «город Иннополис» установлено, что основной проблемой теплоснабжения на настоящий момент является низкая загруженность системы теплоснабжения. Имеющиеся в городе Иннополис объекты городской инфраструктуры способны принять вдвое большее количество населения по сравнению с имеющимся. Теплоснабжающая организация вынуждена поставлять тепловую энергию для поддержания необходимых температурных параметров в зданиях в отопительный период, даже если не все помещения в этих зданиях используются.

Объектом исследования является водогрейная котельная для «города Иннополис» мощностью 32 МВт.

Котельная предназначена для обеспечения потребностей территориально-обособленного центра «Иннополис» электричеством, тепловой энергией и холодом.

Основное оборудование:

- водогрейный котел RIELLO 1,2 МВт – 3 шт.;
- газопоршневой агрегат MWM 2 МВт – 8 шт.;
- аварийно-резервный Дизель генератор 1,12 МВт – 1 шт.;
- абсорбционная холодильная машина 2 МВт – 2 шт.

Основные характеристики котельной:

- устанавливаемая мощность: тепловая – 16,4 МВт, электрическая – 17,12 МВт, холодоснабжения – 4 МВт;
- система теплоснабжения – независимая, закрытая, двухтрубная;
- основное топливо – природный газ;
- аварийное топливо – дизельное топливо.

Местоположение: Республика Татарстан, г. Казань

Расчетная тепловая мощность – 32,0 МВт

Период строительства – 2014 г.

Источники

1. Котельная г. Иннополис [Электронный ресурс]. URL: <https://energybase.ru/power-plant/innopolis-boiler> (дата обращения 23.01.2019).
2. Водогрейная котельная для «Иннополис» [Электронный ресурс]. URL: <http://geproekt.ru/objects/portfolio/vodogreynaya-kotel'naya-dlya-innopolis/> (дата обращения 23.01.2019).

УДК 620.91

ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ СЕВЕРА И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Н.П. Местников
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
sakhacase@bk.ru
Науч. рук. д-р техн. наук Э.Г. Нуруллин

Аннотация. В данной статье отражены основные проблемы электроснабжения отдаленных потребителей Северо-Восточных регионов Российской Федерации в арктических условиях. Подробно указаны практические методы решения проблемы экономии горюче-смазочных материалов (ГСМ) для дизель-генераторных установок (ДГУ) 50, 10 и 5 кВт с помощью солнечной генерации.

Ключевые слова: ионистор, дизель-генератор, солнечные панели, автономная генерация, экономия ГСМ и АСУ.

Республика Саха (Якутия) (РС(Я)) является уникальным регионом в единой энергетической системе Российской Федерации. Компания ПАО «Якутскэнерго» занимает одно из первых мест в РАО «ЕЭС России» по количеству установленных энергетических источников, площади обслуживания и протяженности линий электропередачи. Площадь ее обслуживания охватывает всю территорию Якутии и составляет 3,2 млн км² (20 % от площади России). Свыше 40 % территории РС(Я) находится за полярным кругом [4].

Якутия обладает значительными запасами минеральных ресурсов: алмазов, золота, цветных и благородных металлов; энергоносителей: нефти, газа, урана; крупным гидроэнергетическим потенциалом [4].

Высокая стоимость топлива в местах потребления, низкие технико-экономические показатели существующих энергетических источников малой мощности приводят к высокой себестоимости производства электроэнергии и тепла. В России ежегодно на завоз топлива в северные регионы затрачивается более 16 млрд руб., в том числе в северные районы РС(Я) – свыше 7,5 млрд [2] руб., время доставки топлива до конечного пункта составляет от 500 до 600 суток, износ дизельных генераторов составляет на 40–60 % в большинстве районов северной части Якутии, несмотря на то, что на территории РС(Я) за год вводятся в эксплуатацию 7 новых автоматизированных дизельных электростанций (ДЭС) [6].

Использование и внедрение ветроэнергетики на территории Республики Саха (Якутия) развивается на непостоянной основе. В 2019–2020 гг. в п. Тикси Булунского района планируется ввод ВЭС мощностью 3×300 кВт. Эксплуатация ВЭС в Якутии наиболее рациональна с точки зрения технической эксплуатации вдоль береговой линии Моря Лаптевых с глубиной до 200 км и тонкого перешейка вдоль северной части реки Лена.

Постройка ВЭС на данной области экономически нецелесообразна из-за низкой плотности населения. Ведь средний срок окупаемости подобных проектов составляет от 15 до 25 лет. Данный вид энергии невозможен для малонаселенных пунктов Якутии [3].

Значительным проектом АО «Сахаэнерго» является постройка солнечной электростанции (СЭС) мощностью 1 МВт в п. Батагай. За второе полугодие 2016 года было сэкономлено более 40 тонн дизельного топлива. Данные показатели показывают эффективность проекта по экономии ГСМ, но экономическая составляющая имеет свои

недостатки, так как срок окупаемости равен от 15 до 20 лет в условиях РС(Я) [6].

Долгота и периодичность солнечных дней в южной части Якутии более высокая, чем на северной части. Например, показатель солнечной радиации составляет 4–4,5 кВт·ч/м²·день, продолжительность солнечного сияния равна в среднем от 1700 до 2000 ч/г, суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность, равна 3600–4000 МДж/м² в год на южную часть Якутии.

Солнечная энергетика в Республике Саха имеет динамичное развитие в увеличении суммарной мощности генерации преимущественно в населенных пунктах децентрализованного электроснабжения. В 2016 г. в п. Батагай была введена в эксплуатацию крупнейшая СЭС мощностью 1 МВт и системой накопления энергии на основе работы Li-ion аккумуляторов. Руководством АО «Сахаэнерго» планировался ввод на полную автономную работу СЭС для 100%-го электроснабжения п. Батагай без ДЭС на летний период.

Далее топливоснабжение отдаленных потребителей северной Якутии производится при сложной схеме транспортировки:

- Усть-Кут – Якутск (до 30 дней);
- Якутск – Тикси (30–40 дней);
- Тикси – п. Батагай (от 180 до 360 дней).

В ближайшей перспективе планируется ввод на 50 кВт СЭС в п. Охотский Перевоз для уменьшения затрат на топливоснабжение. Данный населенный пункт является центром Охот-Перевозовского наслега Томпонского района, он расположен на правом берегу р. Алдан (правого притока р. Лена), в 120 км к югу от районного центра п. Хандыги (ближайший источник электроэнергии).

В настоящее время по состоянию на 2018 г. население данного населенного пункта составляет 124 человек. Электроснабжение производится при помощи ДГУ с мощностями 60, 75, 30 и 16 кВт. За 2017 г. общий объем потребления ГСМ составил 46,759 натурального топлива и 67,8 т у.т. Подвод новых ВЛ 35 кВ является экономически нецелесообразным ввиду отсутствия стратегических объектов и малого количества потребителей.

В целях оптимизации затрат ГСМ в п. Охотский Перевоз необходимо построить солнечную электростанцию мощностью 50 кВт (СЭС–50 кВт).

Приводятся данные однолинейных электрических схем поселка и ДЭС п. Охотский Перевоз (рис. 1).

Класс напряжения, подводимого к потребителям, является 3-фазным 380 В при частоте 50 Гц. Следовательно, установка повышающих трансформаторов 10/0,4 кВ является нецелесообразной из-за малого количества потребителей и их малыми расстояниями между станцией и потребителями (рис. 2).

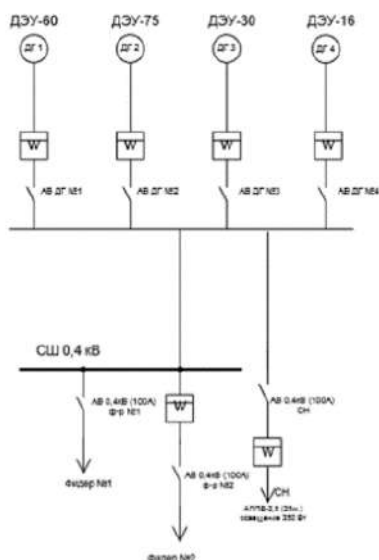


Рис. 1. Оперативная схема ДЭС п. Охотский Перевоз

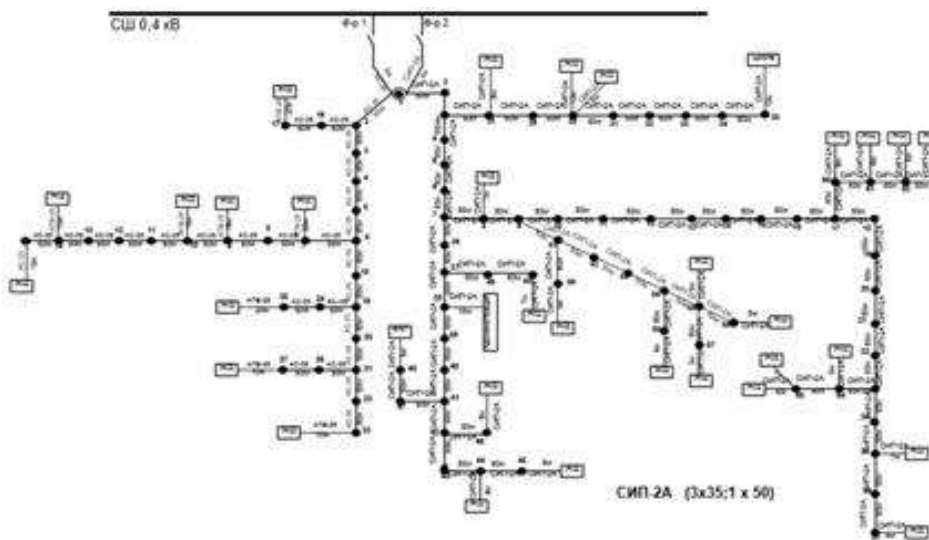


Рис. 2. Параметрическая схема ВЛ 0,4 кВ от ДЭС п. Охотский Перевоз

Для автономной работы солнечной электростанции 50 кВт требуется система накопления энергии. В настоящее время активно используются в данной системе Li-ion, карбоновые или гелиевые аккумуляторы. В связи с недавними открытиями при исследовании свойств конденсаторов стало возможным использование ионисторов для нужд автомобильной отрасли

и т.д. Ученые из стран Восточной Европы планируют внедрение ионисторов в системы накопления энергии в крупных объектах ВИЭ.

Далее приводился расчет выработки солнечной электростанции 50 кВт в п. Охотский Перевоз по проектным данным [1] (см. таблицу).

$$E_B = E_{\text{инс}} \cdot k \cdot \frac{P_{\text{СП}}}{P_{\text{инс}}},$$

где $P_{\text{СП}}$ – мощность солнечных панелей, Вт; E_B – вырабатываемая энергия солнечными панелями, Вт·ч в сутки; $E_{\text{инс}}$ – среднемесячная инсоляция кВт·ч/м²/день; $P_{\text{инс}}$ – мощность инсоляции на земной поверхности на одном квадратном метре (4250 Вт/ м²); k – коэффициент потерь на заряд-разряд аккумуляторов, преобразование постоянного напряжения в переменное.

Вырабатываемая энергия с учетом ясных, облачных и пасмурных дней

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Выработка СЭС, кВт·ч	4426,6	9025	30447	28977,1	23814,4	29376,4
	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Выработка СЭС, кВт·ч	33764,2	25551	14156,8	5750,7	3395,9	796,6

Основная окупаемость проекта СЭС-50 кВт п. Охотский Перевоз заключается в экономии топлива, которая равна 30 т за 1 год работы СЭС-50 кВт. Дисконтированный срок окупаемости составляет 10 лет. Данный результат соответствует реальным параметрам проектов по ВИЭ компании АО «Сахаэнерго».

Источники

1. Баскаков А.П., Мунц В.А., Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебник для вузов. М.: Изд-во Дом «БАСТЕТ», 2013. 368 с.
2. Константинов А.Ф. Гидроэнергетические установки: учеб. пособие для студентов очной и заочной форм обучения по специальности 13.03.02 «Электротехника и электроэнергетика». Якутск: Изд-во Якутского университета, 2009. 171 с.

3. Константинов А.Ф., Нетрадиционные энергоисточники Якутии. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. 212 с.

4. Кудрин Б.И. Системы электроснабжения: учеб. пособие для студентов ВПО. М: Издательский центр «Академия», 2011. 352 с.

5. Схема и программа развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2017–2021 гг. [Электронный ресурс]: утв. указом Главы Республики Саха (Якутия) от 19 мая 2017 г. № 1908. URL: <http://docs.cntd.ru/document/450352561> (дата обращения: 23.10.2018).

6. Топливоно-энергетические показатели АО «Сахаэнерго» за 2018 г.

УДК 621.564

ПРИМЕНЕНИЕ ВАКУУМНОГО ИСПАРИТЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Н.Р. Мингалимова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nelya.mingalimowa@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук Л.Р. Гайнуллина

Аннотация. В статье рассмотрен способ применения вакуумного испарителя взамен химводоочистки в процессе производства химической продукции. Целью внедрения является энергосбережение на комбинате. Рассмотрены преимущества и недостатки внедрения данного испарителя.

Ключевые слова: энергосбережение, вакуум-испаритель, мыловарение, химическое производство.

Процесс водоподготовки на комбинате включает в себя несколько различных этапов, в зависимости от того, для какой цели необходима вода и как в дальнейшем планируется использоваться. Чаще всего простой фильтрации оказывается недостаточно, чтобы достичь необходимого качества воды. Для этого проводятся различные мероприятия: обезжелезивание, обеззараживание, обессоливание воды.

В настоящее время на химическом комбинате применяется два способа очистки воды – это ионообменная и мембранно-осмотическая очистка воды. В данной работе рассмотрена возможность использования вакуумного испарителя.

Вакуумный испаритель – это изобретение для осуществления различных физико-химических процессов, проходящих при высоких температурах, преимущественно для отделения взвешенных частиц от жидкости путем ее выпаривания, позволяет повысить надежность и обеспечить герметичность испарителя при рабочих температурах

400–450 °С. Испаритель содержит обогреваемый корпус, вал со скребками. Уплотнение вращающегося вала установлено между двумя камерами охлаждения, в которых циркулирует охлаждающая среда. Внутренняя камера охлаждения соединена с резервуаром охлаждающей воды, закрепленным на валу.

Вакуумное испарение – это технология концентрации, которая может применяться в тех отраслях промышленности, где целью является отделить растворяющее средство, часто это вода для рециркуляции во время производственного процесса, от раствора с более высокой температурой кипения. Установки являются наиболее перспективными системами, которые применяются для решения проблем использования сырых материалов и переработки загрязненных жидкостей. Вакуумные испарители в производстве, как правило, применяются для концентрации промывных вод при многоступенчатой промывке, а также воды из ванн улавливания. Использование вакуумного испарителя на очистных сооружениях позволяет вернуть в технологические процессы электролиты и снизить, либо полностью исключить, сброс сточных вод, содержащих токсичные соединения тяжелых металлов: меди, цинка никеля, хрома. При этом сами очистные сооружения становятся ненужными. Это позволяет освободить площади в производство, и персонал, задействованный на очистных сооружениях, заняться производством готовой продукции. При использовании данной технологии значительно сокращаются эксплуатационные затраты на очистку сточных вод.

Данное устройство имеет преимущество при использовании в производстве мыльной продукции. Поток мыльного клея вводится в вакуум-испаритель тангенциально и закручивается в нем. В результате крутки потока возникает центробежная сила, которая перемещает более тяжелые дисперсные частицы к периферии аппарата, что приводит к интенсивному радиальному и продольному перемешиванию реакционной массы. Возрастает скорость самоиспарения воды, увеличивается разрушение гексагональной структуры клея паром при взрывном вскипании воды.

В практике мыловарения механическое и тепловое воздействие на мыльный клей осуществляют в вакуум-испарителях. Назначение вакуум-испарителя – это механическое разрушение гексагональной структуры мыльного клея за счет силы давления вторичного пара и тепловая дестабилизация его мыльно-щелочной эмульсии. Вторичный пар получают за счет теплоты самоиспарения при охлаждении мыльного клея от температуры реакции 145 °С до температуры 90 °С путем снижения

давления в вакуум-испарителе от 4 до 0,7 кгс/см². Вода в слоях гексагональной структуры вскипает, и образующийся пар разрушает ее решетку, а снижение температуры переводит мыльно-щелочную эмульсию в нестабильное мицеллярное состояние.

В случае использования мембранно-осмотической очистки в цехе жидких моющих средств показатель очищенной воды достигает ~ 50 м³/ч. Также применяется метод ионообменной очистки. В этом случае показатель составляет ~ 20 м³/ч, что значительно меньше по сравнению с мембранно-осмотическим методом. Применение ионообменной технологии очистки воды рационально в цехах, где водоочистка не требует больших показателей. Производительность вакуумного испарителя составляет 70 м³/ч, что значительно выше остальных показателей. Следует отметить, что ионообменная очистка является не экологичным способом, поскольку требует регенерации фильтров, и на выходе получают высококонцентрированные сточные воды.

Применения вакуумного испарителя для подготовки воды в цехе мыловарения показало ряд преимуществ:

- высокое качество дистиллята;
- получение высококонцентрированных субстанций;
- автоматическая работа без наблюдения;
- простота обслуживания;
- сопоставимость с другими процессами;
- возможность разработки установок с нулевым выбросом сточных вод;
- устойчивость к коррозии;
- испарение при низких температурах.

В ходе проведенного исследования показателей качества очищенной воды, а также сопоставления производительности водоподготовительного оборудования выяснилось, что применение вакуумного испарителя является целесообразным, поскольку повышает качество продукции, снижает энергозатраты, а также повышает экологический показатель производства за счет значительного сокращения количества сточных вод.

Источники

1. Синельников А.Г., Скопинцева Т.В., Конькова К.А. Расчет оптимальных параметров работы вакуумного испарителя в случае очистки сточных вод // Биоразнообразие и рациональное использование природных ресурсов: матер. докл. IV Всерос. заочной науч.-практ. конф. с международным участием. Махачкала, 2016. С. 167–169.

2. Вакуум-испаритель: пат. 1274696 СССР № 3780789; заявл. 16.08.84; опубл. 07.12.86.

3. Комарова Л.Ф. Использование воды на предприятиях и очистка сточных вод в различных отраслях промышленности. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. 174 с.

4. Соколов М.П. Очистка сточных вод. Наб. Челны: КамПИ, 2005. 213 с.

УДК 620.92

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Б.И. Миннуллин¹, Л.А. Абзалова², Э.И. Гиниятуллина³

^{1,2,3} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

^{1,2,3} b.minnullin@yandex.ru

Науч. рук. д-р техн. наук Э.Г. Нуруллин

Аннотация. В статье рассмотрена ветроэнергетическая установка. Выбран наиболее эффективный тип ротора ветроэнергетической установки для энергообеспечения сельскохозяйственного предприятия.

Ключевые слова: энергообеспечение, ветроэнергетические установки, ветроэнергетика, достоинства, недостатки, мощность, нетрадиционные источники.

В последнее время все страны проявляют большой интерес к использованию нетрадиционных источников энергии. Большинство россиян проживают в сельской местности, которые не обслуживаются централизованной энергетикой и испытывают огромный недостаток в электрической энергии. Одним из перспективных направлений развития автономного энергоснабжения, позволяющих в некоторой степени решить проблемы электроэнергетики, является ветроэнергетика.

Целью наших исследований является энергообеспечение сельскохозяйственных предприятий на основе ветроэнергетической установки.

Ранее нами рассмотрены обоснование актуальности использования ветроэнергетических технологий, перспективные нетрадиционные виды энергии для сельского хозяйства, классификация ветроэнергетических установок, анализ систем автоматического управления ветроэнергетическими установками.

При исследовании были изучены общенаучные и специфические методы, а именно изучены существующие патенты, проведен

литературный поиск российских и зарубежных ученых [5, 6] и собственные труды [1–4].

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее эффективным типом для сельскохозяйственных предприятий малой мощности является вертикальный многолопастной ротор Савониуса или Ротор Дарье со встроенным ротором Савониуса.

Ветроэнергетические установки могут взаимодействовать со существующей электростанцией, с другими возобновляемыми ресурсами либо быть автономными системами [7].

На сегодняшний день существуют различные типы ВЭУ, такие как горизонтально осевые и вертикально осевые. У них есть свои достоинства и недостатки.

Для ветроэнергетических установок огромную роль играет географические, климатические и технические характеристики конкретного населенного пункта: среднегодовая температура воздуха, количество зимних и летних дней, уровень комфортности коммунально-бытовой сферы [5].

Ветроэнергетической установки, согласно ГОСТ Р 51237-98, подразделяются на 4 класса мощности [1]:

- очень малой мощности, под данный класс попадают все ветроэнергетические установки мощностью до 5 кВт. Данные установки предназначены для электроснабжения отдельных потребителей;

- малой мощности. К ним относятся все ветроэнергетические установки мощностью от 5 до 100 кВт. Данные установки перспективно использовать для электроснабжения удаленных поселков и отдельных потребителей, не имеющих централизованного электроснабжения;

- средней мощности. К ним относятся все типы ветроэнергетических установки мощностью от 100 до 1000 кВт. Данные ветроэнергетические установки предназначены в основном для электроснабжения небольшого поселка;

- большой мощности. К ним относятся все ветроэнергетические установки мощностью более 1000 кВт. Данные ветроэнергетические установки предназначены в основном для электроснабжения небольшого города.

Для обоснования типа нами была составлена собственная классификация ветроэнергетической установки [2].

К достоинствам относят способность запускаться при малых значениях ветра, движение начинается при значениях от 3 м/с; быстрый набор высоких показателей крутящего момента; высокая надёжность конструкции; низкая цена в производстве.

Недостатки его – малая эффективность преобразования воздушного потока, отсюда, выпуск устройств с мощностью, не превышающей 4–6 кВт.

Достоинства ротора Дарье: самостоятельная ориентация на направление воздушного потока; основной вал привода располагается вблизи уровня земли, что создаёт удобство в его обслуживании; простая кинематическая схема конструкции.

Недостатки: отсутствие возможности в самостоятельной раскрутке; высокая нагрузка на опорные узлы, вызванная динамическим воздействием от воздушных потоков; необходимость строго придерживаться заданного профиля лопасти по всей её длине; достаточно высокий уровень шума при работе.

Ортогональный ротор обладает следующими достоинствами: не требует ориентацию на ветер, расположен на уровне земли, поэтому можно расположить во дворах и на крышах зданий.

Недостатками являются: массивные по сравнению с горизонтальными ВЭУ, эффективность работы низкая по сравнению с горизонтальными ВЭУ.

Достоинства геликоидного ротора – низкий уровень шума, можно устанавливать вблизи жилых домов, не требует ориентацию на ветер, самоторможение при ураганном ветре. Максимальная скорость вращения ограничена аэродинамическими силами, вследствие чего, не требуется дополнительные системы для торможения.

К недостаткам относят низкую эффективность работы системы по сравнению с горизонтально ВЭУ, закрученные лопасти усложняют технологию производства.

К достоинствам многолопастного ротора относят высокую эффективность работы относительно с другими вертикальными ВЭУ, работу при низких скоростях ветра, не требует ориентацию на ветер, расположено на уровне земли, поэтому можно расположить во дворах и на крышах зданий.

Недостатки – высокая материалоемкость лопастей, сложность в изготовлении, отсюда высокая стоимость вертикального ветряка.

Выполненная классификация позволяет определить направления исследований по созданию ВЭУ с более высоким КПД.

И вертикальный, и горизонтальный роторы по-своему хороши в разных районах нашей страны.

Расчетная скорость ветра для горизонтальных ветроэнергетических установок обычно принимается на уровне 9–15 м/с. Как правило, чем больше мощность агрегата, тем на большую скорость ветра он

рассчитывается. Однако в связи с непостоянством скорости ветра большую часть времени ВЭУ вырабатывает меньшую мощность. Считается, что если среднегодовая скорость ветра в данном месте менее 9 м/с, то целесообразнее ставить вертикальные ветроэнергетические установки.

Необходимо рассматривать сельскохозяйственное предприятие на примере автономного энергоснабжения биогазом, ветроэнергетикой или солнечной энергией. Каждая из них выгодна в зависимости от времени года.

Солнечная энергия выгодна зимой и летом, так как солнце в это время года светит наиболее ярко.

Биогаз выгоден летом, т.к. процесс сбраживания происходит лучше в теплую погоду.

Разработанные классификации ВЭУ и анализ их преимуществ и недостатков показал, что наиболее рациональным с технологической и экономической точки зрения для сельскохозяйственного предприятия РТ: для скорости ветра от 3 и до 8 м /с является вертикальный ротор, а именно многолопастной ротор Савониуса или ротор Дарье со встроенным ротором Савониуса; для скорости от 9 и до 15 м/с целесообразнее поставить горизонтальный ротор с тремя лопастями.

Источники

1. Миннуллин Б.И. Обоснование актуальности использования ветроэнергетических технологий // XXI Аспирантско-магистерский науч. семинар: тез. докл. Казань, 2017. Т. 2. С. 124.

2. Миннуллин Б.И. Классификация ветроэнергетических установок // XXII Аспирантско-магистерский науч. семинар: матер. конф. Казань, 2018.

3. Миннуллин Б.И. Анализ систем автоматического управления ветроэнергетическими установками // XXII Аспирантско-магистерский науч. семинар: матер. конф. Казань, 2018.

4. Гиниятуллина Э.И., Абзалова Л.А., Миннуллин Б.И. Перспективные нетрадиционные виды энергии для сельского хозяйства // Тинчуринские чтения: тез. докл. XIII Молод. науч. конф. Казань, 2018. Т. 2. С. 317–319.

5. Фортов В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире М.: Интеллект, 2011. 168 с.

6. Соломин Е.В. Итерационная оптимизация параметров и режимов работы вертикально-осевых ветроэнергетических установок // Вестник ЮУрГУ. 2011. Вып. 15 (232). С.73–81. (Энергетика).

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВОСХОДЯЩЕЙ КОЛОНОЧНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

В.В. Михеева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Veroni4ka.24@mail.ru
Науч. рук. д-р техн. наук В.Ф. Новиков

Аннотация. Рассмотрены вопросы применения природных пористых материалов в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Показано, что природные цеолитосодержащие породы используются в качестве вспененных теплоизоляционных материалов и применяются в строительной технологии для устройства дорожной одежды с суровыми климатическими условиями. Установлено, что при проведении исследований кислотно-основных свойств природных цеолитосодержащих пород с использованием механической активации были улучшены сорбционные и эксплуатационные характеристики пористых материалов. Обработка цеолитосодержащих пород водным раствором соляной кислоты приводят к увеличению удельной поверхности и объема мезопор, что способствует повышению сорбционной емкости полученных адсорбентов. Приведена принципиальная схема экспериментальной установки для исследования сорбционных свойств природных пористых материалов. Приведены физико-химические характеристики гексана и изопропилового спирта, которые способны вступить в донорно-акцепторное взаимодействие с образованием водородных связей с поверхностью пористых материалов, обладающих высокой сорбционной способностью.

Ключевые слова: сорбент, селективность, полярность, пористые материалы, бентониты, магнитное поле, колоночная хроматография.

В настоящее время природные пористые материалы широко применяются в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Кремний, кислородные и алгоносиликатные, природные пористые материалы используют в качестве минеральной добавки в бетоны, так как обладают высокой пористостью и способны к самостоятельному гидратационному твердению [1]. Природные цеолитосодержащие породы используются в качестве вспененных теплоизоляционных материалов с целью устройства дорожной одежды в районах с суровыми климатическими условиями. Для этого были подобраны оптимальные технологические условия, при которых получают пористые материалы с плотностью до $0,25 \text{ г/см}^3$ [2]. Были разработаны прогрессивные технологии получения гибридных органосиликатных композиционных материалов на основе природного цеолитосодержащего сырья Восточного Забайкалья [3].

Проведено исследование кислотно-основных свойств природных цеолитов, и в результате применения механической активации удалось повысить их сорбционную емкость и улучшить эксплуатационные характеристики [4]. Для улучшения сорбционной емкости цеолитосодержащих пород Татарского-Шатрашановского месторождения была проведена их кислотная обработка, определены величины удельной поверхности, объема пор и распределения их по размерам. Показано, что обработка цеолитосодержащих пород водным раствором соляной кислоты позволяет увеличить удельную поверхность и объем мезопор, что увеличивает сорбционную емкость полученного таким способом адсорбента [5, 6].

Хорошей сорбционной способностью обладает также бентонитовая глина, которая легко поглощает воду и сильно набухает. Поэтому она находит практическое применение при бурении нефтяных скважин. В этом случае на основе бентонитовой глины готовят бурильный гелеобразный раствор, с использованием которого проводят промывку нефтяных скважин. Механизм действия гелеобразной жидкости из бентонитовой глины заключается в том, что указанная жидкость обволакивает устье скважин тонким слоем, который препятствует попаданию в нее нефтепродуктов и исключает возможность фонтанировать из скважин нефти. Такая технология позволяет ускорить процесс бурения скважин, так как раствор бентонитовой глины выполняет роль гидроизоляции [7].

Экспериментальная часть работы проводилась на установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 1.

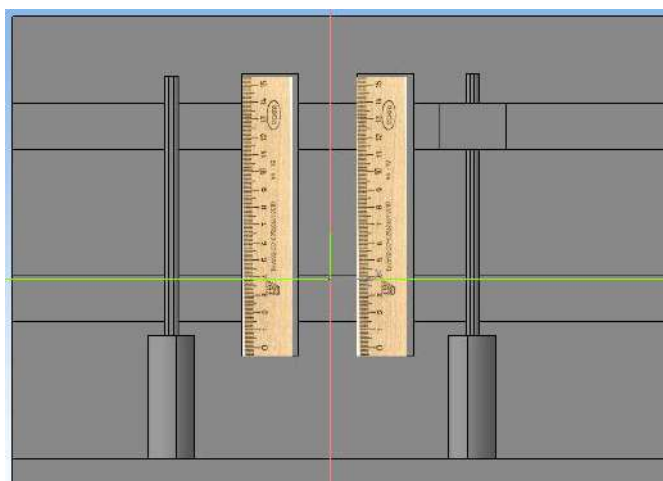


Рис.1. Экспериментальная установка для исследования адсорбентов

Растворитель заливался сверху и по капиллярным трубкам одновременно поступал в виалу. Затем растворитель попадал в

хроматографическую колонну, заполнял сорбент и по капиллярам поднимался вверх. Включали секундомер, и через каждые 10 мм проводился отсчет времени подъема растворителя. Предварительно хроматографическая колонка взвешивалась на аналитических весах с точностью до пятого знака, и по разнице массе сорбента до и после эксперимента определяли его сорбционную емкость.

Эксперименты проводили с использованием цеолитосодержащих пород Татарско-Шатрашанского месторождения, а также бентонитовой глины. Природные цеолиты относятся к водным каркасным алюмосиликатам цеолита и щелочноземельных металлов, имеющие обобщенную эмпирическую формулу $M_{x/n}[(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot ZH_2O$, где M – катион с валентностью n , Z – число молекул воды.

Цеолитосодержащие породы содержат кристаллическую решетку, которые построены из четырех-, пяти-, шести колец образованных кремний-кислородными тетраэдрами. При этом некоторое количество атомов кремний занято алюминием. Во внутрикристаллическом пространстве цеолитосодержащих пород имеется система соединений между собой и с окружающей средой полости и каналов. В этих каналах располагаются обмены катионов кальция и натрия, и в некоторых атомах магния, лития и молекул «цеолитовой» воды. При нагревании цеолитосодержащих пород происходит их обезвоживание, и они начинают адсорбировать внутри своей структуры молекул различных веществ, не превышающих по своим размерам диаметр входных окон или пор [7, 8].

В отличие от цеолитосодержащих пород бентонитовая глина состоит из кристаллической решетки монтморионита на основе SiO_2 и Al_2O_3 . В состав бентонитовой глины входят также TiO_2 и Fe_2O_3 , которые являются красящими оксидами. При наличии в структуре молекулы бентонитовой глины большой концентрации трехвалентного железа она имеет зеленоватый цвет, при двухвалентном железе – голубоватый.

Бентонитовая глина в своем составе содержит свободную и физически связанную воду, которая при температуре более $130^\circ C$ выделяется из минерала с образованием эндотермического эффекта. При температуре около $800^\circ C$ выделяется гидроксильный силикат, который характеризует термическую устойчивость материала и зависит от соотношения ионов алюминия, железа и магния в октоэдрических слоях бентонитовой глины. При взаимодействии с водой объем бентонитовой глины увеличивается в шесть раз, и она в этом случае приобретает достаточно сильный электромагнитный заряд, что, как правило, приводит к связыванию солей тяжелых металлов [8].

Для оценки сорбционной способности исследуемых материалов использовали органические растворители, например неполярный гексан C_6H_{14} с температурой кипения $69\text{ }^{\circ}C$, плотностью $0,66\text{ г/см}^3$, показателем преломления $1,42$, диэлектрической постоянной $1,90$, вязкостью $0,32\text{ мПа}$ и дипольным моментом $0,05Д$. Структурная формула гексана приведена на рис. 2.

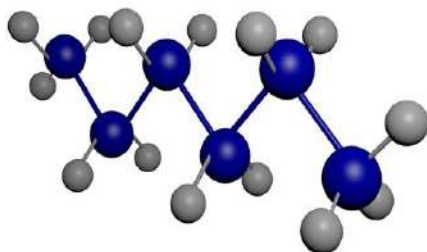


Рис. 2. Структурная формула гексана

В качестве полярного сорбата применяли изопропанол C_3H_8O с температурой кипения $82,6\text{ }^{\circ}C$, плотностью $0,78\text{ г/см}^3$, показателем преломления $1,38$, диэлектрической постоянной $18,00$, вязкостью $1,38$. Изопропанол имеет дипольный момент $1,78Д$ и способен вступать в межмолекулярные водородные связи с поверхностью твердого адсорбента за счет наличия гидроксильной группы. Структурная формула изопропанола приведена на рис. 3 [9].

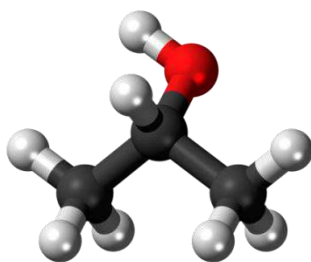


Рис. 3. Структурная формула изопропанола

Сорбционная емкость цеолитсодержащих пород Татарско-Шатрашановского месторождения и бентонитовой глины по отношению к гексану была определена гравиметрическим методом и составила для обоих сорбентов 46% .

Сравнительная характеристика химического состава цеолитсодержащих пород Татарско-Шатрашановского месторождения и бентонитовой глины приведены в таблице.

Сравнительная характеристика химического состава цеолитосодержащих пород Татарско-Шатрашановского месторождения (ЦПТШМ) и бентонитовой глины (БГ)

№	Вещество	Концентрация, %	
		ЦПТШМ	БГ
1	SiO ₂	56,0	58,0
2	Al ₂ O ₃	5,4	14,0
3	Fe ₂ O ₃	2,3	4,0
4	FeO	–	0,5
5	TiO ₂	0,3	0,4
6	CaO	15,0	2,1
7	MgO	1,3	3,6
8	P ₂ O ₅	0,1	0,2
9	S	–	0,1
10	K ₂ O	1,2	1,2
11	Na ₂ O	0,14	2,2
12	H ₂ O+CO ₂	18	20

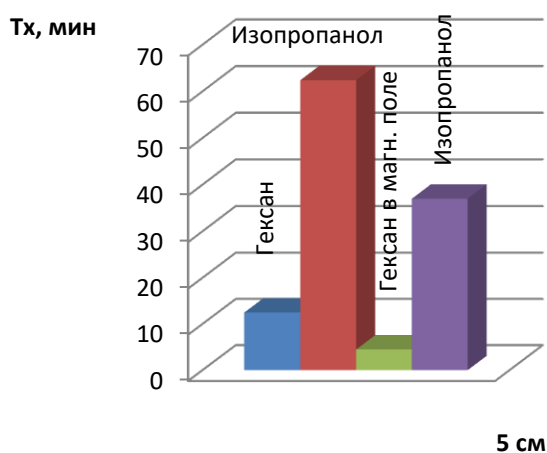


Рис. 4. Зависимость времени удержания гексана и изопропанола от природы сорбционного материала

Как видно из таблицы, по содержанию SiO₂ оба минерала практически одинаковы. В бентонитовой глине наблюдается большее содержание Al₂O₃, которое достигает 14 %, и низкая концентрация CaO (2,1 %). За исключением этих компонентов химический состав исследования минералов является близким, и очевидно, что их сорбционные свойства будут зависеть от структуры получения сорбционных материалов.

На рис. 4 приведена гистограмма зависимости времени удержания гексана и изопропанола от природы сорбционного материала.

Как видно на рис. 4, для ЦСПТШМ наблюдается большее время удерживания гексана и изопропанола по сравнению с бентонитовой глиной. Это свидетельствует о существовании кристаллической решетки цеолитосодержащих пород в общей величине удерживания. Особенно этот вклад является существенным для изопропанола, то есть в данном случае повышение времени его удержания определяется способностью к образованию междумолекулярной водородной связи.

На основании представленных данных необходимо провести оценку влияния постоянного магнитного поля на процесс сорбции органических растворителей. Как видно из рис. 4, постоянное магнитное поле практически не оказывает влияние на сорбцию гексана как природными цеолитами, так и бентонитовой глины, что и объясняется неполярными свойствами молекул гексана. Напротив, для изопропанола наблюдается существенное увеличение времени задерживания на бентонитовой глине. При этом направление потока магнитного поля также влияет на сорбцию молекул изопропанола. Причем направление магнитного потока вниз оказывает более существенное влияние, чем вверх.

Источники

1. Макаров Ю.А., Терешкин И.П. Применение цеолитосодержащих пород для изготовления растворов на минеральных вяжущих // Альманах современной науки и образования. 2013. № 11 (78). С. 102–105.

2. Сигачев Н.П., Коновалова Н.А. Низкотемпературная вспениваемость химических и механохимических модифицированных цеолитосодержащих пород для получения теплоизоляционных материалов. // Вестник ЗабГУ. 2014. № 6 (109). С. 130–137.

3. Разработка прогрессивных технологий получения гибридных органосиликатных композиционных материалов на базе использования природного цеолитосодержащего сырья Восточного Забайкалья / А.Н. Хатыкова // ГИПБ. 2011. № 10. С. 278–282.

4. Исследование сорбционной способности цеолитсодержащей породы Тербунского месторождения / С.М. Мотылева [и др.] // Аграрный вестник Урала. 2012. № 12 (104). С. 12–24.

5. Каратаев О.Р., Новиков В.Ф., Каралин Э.А. Влияние кислотной обработки на текстурные характеристики цеолитсодержащих пород // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 10. С. 55–56.

6. Специфика сорбции органических растворителей природными материалами на основе органических растворителей природными

материалами на основе цеолитсодержащих пород Татарско-Шатрашановского месторождения / В.Ф. Новиков [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20, № 23. С. 32–35.

7. Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение / А.И. Буров [и др.]. Казань: ФЭН, 2001. 176 с.

8. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. М.: ГЕОС, 2013. 57 с.

9. Лурье А.А. Хроматографические материалы: справочник. М.: Химия, 1978. 440 с.

УДК 621. 315. 615. 2

ПРОБЛЕМА СТАРЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Нгуен Зуи Хынг¹, Ву Нгок Зан²

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

^{1,2}hungnguyenat73@gmail.com

Науч. рук. д-р хим. наук В.Ф. Новиков

Аннотация. Трансформаторное масло широко применяется в высоковольтном электрооборудовании и выполняет функции диэлектрика, а также является охлаждающей средой. Оно состоит из сложной смеси углеводородных композиций с различными примесными соединениями. В процессе эксплуатации маслonaполненного электрооборудования под воздействием технологических условий эксплуатации высоковольтных аппаратов, к которым относятся высокая напряженность электрического поля, кислород воздуха, влажная среда, температура, происходит старение как трансформаторного масла, так и твердой изоляции, к которой относится электротехнический картон. В этом случае диэлектрические свойства трансформаторного масла ухудшаются, что может вывести трансформаторное оборудование из строя. Для увеличения срока эксплуатации маслonaполненного электрооборудования в трансформаторное масло на стадии его изготовления вводится антиокислительная присадка, в качестве которой наиболее часто применяют ионол, концентрацию которого необходимо постоянно контролировать различными инструментальными методами.

Ключевые слова: трансформаторное масло, маслonaполненное электрооборудование, нафтеновые, ароматический углеводород, ионол, тонкослойная хроматография, 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенил, структурная формула ионола.

Бесперебойная работа маслonaполненного электрооборудования зависит от своевременной его диагностики. Как правило, в трансформаторном оборудовании применяется маслoбарьерная изоляция, которая состоит из чередующихся масляных каналов и барьеров электрокартона. В результате воздействия на эту изоляцию переменного напряжения в масляных каналах возникает напряженность электрического

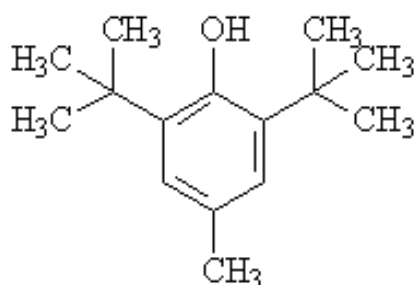
поля. В результате этого процесса в этих каналах могут возникать электрические пробой изоляции, которые обычно способствуют необратимому повреждению электроизоляционного картона. Технический ресурс силовых трансформаторов зависит от углеводородного состава трансформаторного масла и степени его окисления кислородом воздуха. Под воздействием высокой температуры в присутствии влаги и кислорода воздуха происходит окисление трансформаторного масла, что приводит к преждевременному его старению и требует замены или регенерации. При этом в трансформаторном масле образуются термодинамически более устойчивые соединения [1, 2].

Трансформаторное масло имеет сложный углеводородный состав, состоящий из нафтеновых и ароматических углеводородов (см. таблицу). Оно относительно легко окисляется кислородом воздуха в присутствии влаги и под влиянием высокой температуры. Для повышения стойкости трансформаторного масла к окислению в него вводят антиокислительные присадки. Наиболее часто в качестве антиокислительной присадки применяют антиоксидант фенольного типа 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенил, имеющий фирменное название «Ионол». Этот антиоксидант достаточно широко используется в различных технологических процессах [3, 4].

Групповой состав трансформаторного масла

№ п/п	Групповой состав трансформаторного масла	%, масс.
1	Парафиновые углеводороды	10–15
2	Нафтеновые и циклопарафиновые углеводороды	60–70
3	Ароматические углеводороды	15–20
4	Асфальто-смолистые вещества	1–2
5	Сернистые соединения	< 1,0
6	Азотистые соединения	< 0,8
7	Нафтеновые кислоты	< 0,002
8	Антиокислительная присадка	0,2 – 0,5

Структурная формула Инола приведена на рисунке.



Структурная формула антиокислительная присадка «Ионол»

Для определения ионола в трансформаторном масле применяют различные инструментальные методы. Наиболее часто используют хроматографические методы контроля содержания ионола в трансформаторном масле. В частности, применяют метод газовой хроматографии с жидкофазной экстракцией ионола из трансформаторного масла с последующим анализом с использованием насадочной или капиллярной колонок. Кроме того, с этой целью используют также тонкослойную хроматографию, которая обладает достаточно высокой чувствительностью и простотой в эксперименте [5, 6].

В данной работе определение ионола проводили методом тонкослойной хроматографии в восходящем режиме. Анализ проводился на тонкослойных пластинах «Sorbfil», модифицированных люминофором. Была сконструирована установка, в которой проводили облучение светом по длине сорбционного слоя. В результате проведения эксперимента найдены зависимости времени удерживания ионола от природы используемого экстрагента. Идентификацию ионола проводили в отраженном ультрафиолетовом свете с длиной волны 240 нм.

Источники

1. Карапетьянц М.Х., Карапетьянц М.Л. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ. М.: Химия, 1968. 472 с.
2. Sarathi R. Yadav K. S. Sibarha M. Understanding the surface discharge characteristics of thermally aged copper sulphide diffused oil impregnated pressboard material // IEEE Dielec and Elec. Insul. 2015. Vol 22, № 5. Pp. 2513–2521.
3. Рогинский В.А. Фенольные антиоксиданты. Реакционная способность и эффективность. М.: Наука, 1988. 247 с.
4. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. Л.: Химия, 1985. 312 с.
5. СТО 56947007-29.180.010.008-2008. Методические указания по определению содержания ионола в трансформаторных маслах методом газовой хроматографии: утв. приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 25 июня 2007 г. № 176. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2007. 42 с.
6. ГОСТ Р МЭК 60666-2013. Масла изоляционные нефтяные. Обнаружение и определение установленных присадок. М.: Стандартинформ, 2014. 23 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЛАСТИНЧАТОГО ПРОТИВОТОЧНОГО РЕКУПЕРАТОРА

Н.Ж. Нуруллин¹, А.М. Хворысткаина²

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

^{1,2}amkhv@bk.ru

Науч. рук. д-р техн. наук Ю.В. Ваньков

Аннотация. В работе представлены результаты численного моделирования течения воздуха в каналах пластинчатого противоточного рекуператора. Повышение его эффективности достигается путем совершенствования формы поверхности пластин, что влечет за собой изменение степени турбулизации потоков воздуха в пространстве между пластинами и увеличивает их коэффициенты теплоотдачи. Передача тепла в пластинчатом рекуператоре рассчитывается при разных вариациях форм пластин: гладкие плоские пластины; пластины с оребрением в виде равнобедренных треугольников с прямым и обратным движениями воздуха; пластины с оребрением в виде прямоугольных треугольников.

Ключевые слова: пластинчатый противоточный рекуператор, теплообменник, турбулизация, численное моделирование, оребрение.

Системы утилизации теплоты удаляемого воздуха используются для уменьшения затрат энергии на нагревание приточного воздуха в холодный период года [1–3]. Одним из современных часто используемых и эффективных теплоутилизаторов является пластинчатый рекуператор с противоточным движением воздуха. В данной работе исследуются пластинчатый противоточный рекуператор и одно из возможных направлений повышения его эффективности – совершенствование формы теплопередающих пластин.

Целью данного исследования является изучение влияния форм теплопередающих пластин в каналах пластинчатого противоточного рекуператора на его температурную эффективность и аэродинамическое сопротивление.

В настоящее время для исследования прикладных задач аэродинамики и теплопередачи в области вентиляции и кондиционирования воздуха успешно применяются методы вычислительной аэрогидродинамики CFD (Computational Fluid Dynamics) [4,5], которые менее затратны по сравнению с физическим моделированием. Поэтому в данной работе применяется метод CFD для исследования аэродинамики и теплопередачи в противоточном пластинчатом теплоутилизаторе при некоторых выбранных конфигурациях теплопередающих пластин.

При численном моделировании использовалась $k-\epsilon$ модель турбулентности. Плотность воздушной среды ρ была принята постоянной, так как предварительное численное моделирование с плотностью, зависящей от ее температуры воздуха t (модель Boussinesq) не приводило к существенному уточнению результатов расчета. Поэтому в расчетах принята плотность воздуха $\rho_0 = 1,2 \text{ кг/м}^3$, соответствующая температуре $t_0 = 293 \text{ К}$.

Постоянными величинами принимались при температуре $t_0 = 293 \text{ К}$ теплоемкость воздуха $c_p = 1006,43 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$, динамическая вязкость $\mu = 1,81 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,0259 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Задача решалась как двумерная. Были сформулированы граничные условия для всех четырех разновидностей пластинчатого рекуператора, у которых в результате расчета и обработки полученных результатов выявлены значения температуры и давления на выходе из каналов теплообменника. На основе этих данных были рассчитаны коэффициенты местных сопротивлений ζ и температурная эффективность E_t для каждой модели рекуператора, также определено влияние формы пластин на повышение температурной эффективности и рост потерь давления.

В ходе численного расчета первоначальная грубая расчетная сетка, на которой решается система уравнений турбулентного движения и теплообмена, измельчается до достижения сходимости контрольной величины, в качестве которой выбрана температура на выходе нагретого в рекуператоре воздуха.

Рассматриваются четыре варианта формы теплопередающих пластин (рис. 1–4). При этом часть граничных условий одинакова:

- скорость движения воздуха на поверхности твердых непроницаемых стенках равна 0, толщина пластин – 0,2 мм, шероховатость поверхности пластин принята 1,25 мкм (алюминий);

- скорость движения воздуха на входе в каждый канал равномерна и составляет 1 м/с, давление воздуха на выходе из каналов равно атмосферному;

- крайние стенки каналов – адиабатические;

- внутренние стенки (теплопередающие пластины) имеют коэффициент теплопроводности (алюминий) $\lambda_A = 202 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$;

- температуры на входе в каналы наружного воздуха 253 К ($-20 \text{ }^\circ\text{C}$), на входе в каналы удаляемого воздуха 293 К ($20 \text{ }^\circ\text{C}$).

На основе выполненных методом CFD расчетов, находятся средние значения температуры на выходах из каждого канала, а затем их величины осредняются отдельно для потоков наружного и удаляемого воздуха. Температурная эффективность рассчитывается по формуле:

$$E_t = (t_{\text{под}} - t_{\text{хол}}) / (t_{\text{тепл}} - t_{\text{хол}}), \quad (1)$$

где $t_{\text{под}}$, $t_{\text{хол}}$, $t_{\text{хол}}$ – соответственно значения температур подогретого в рекуператоре, холодного и теплого воздуха, °С.

Находятся расчетные потери полного давления в каналах наружного и удаляемого воздуха, их величины осредняются, и рассчитывается коэффициент местных сопротивлений аппарата по формуле:

$$\zeta = \Delta P_{\text{п}} / P_{\text{д}}, \quad (2)$$

где $\Delta P_{\text{п}}$ – осредненное значение перепада полного давления, Па;
 $P_{\text{д}}$ – величина динамического давления, Па;

$$P_{\text{д}} = \rho \cdot v^2 / 2, \quad (3)$$

ρ , v – плотность и скорость воздуха на входе в каналы, м/с.

Рассмотрим модель 1. Противоточный пластинчатый рекуператор содержит четыре канала с гладкими стенками из алюминия (рис. 1). По двум каналам подается наружный холодный воздух, по двум – теплый воздух, удаляемый из помещения. Длина аппарата и каналов 1 м, ширина каждого канала – 12 мм, толщина алюминиевых стенок каналов – 0,2 мм.

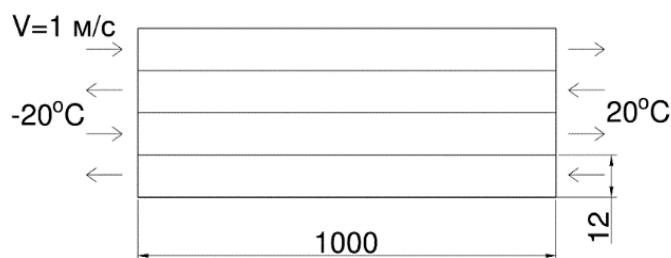


Рис. 1. Расчетная схема пластинчатого противоточного рекуператора с гладкими пластинами

По формулам (1) и (2) были найдены температурная эффективность $E_t = 53,73 \%$ и коэффициент местного сопротивления рекуператора $\zeta = 6,16$. Эта модель принята как образец для сравнения результатов расчетов.

Рассмотрим модель 2. Конструкция противоточного рекуператора такая же. Отличие заключается в форме пластин: на них имеются ребрения в форме прямоугольных треугольников (рис. 2) высотой 4 мм и длиной 4 мм.

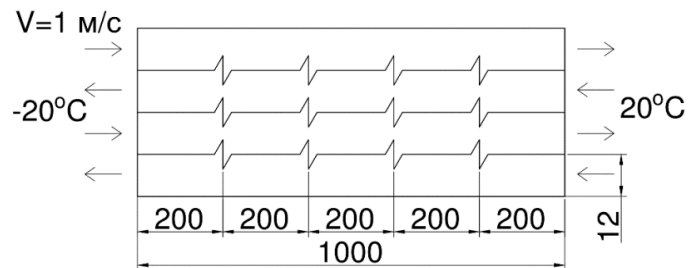


Рис. 2. Расчетная схема пластинчатого противоточного рекуператора с пластинами, имеющими оребрение в форме прямоугольных треугольников

По формулам (1) и (2) были рассчитаны $E_t = 56,66 \%$, $\zeta = 28,99$. Использование данной модели не целесообразно, так как при увеличении эффективности в $56,66/53,73 = 1,05$ раз коэффициент местных сопротивлений увеличился в $28,99/6,16 = 4,7$ раза.

Рассмотрим модель 3. Конструкция противоточного рекуператора такая же, но с оребрением пластин в виде равнобедренных треугольников (рис. 3), высотой 4 мм и длиной 4 мм .

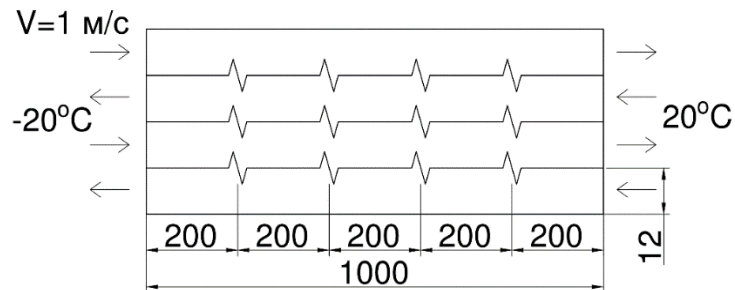


Рис. 3. Расчетная схема пластинчатого противоточного рекуператора с пластинами, имеющими оребрение в форме равнобедренных треугольников

По формулам (1) и (2) были определены $E_t = 61,58 \%$, $\zeta = 13,78$. В данной модели возрастание эффективности произошло в $61,58/53,73 = 1,15$ раза, однако потери давления – в $13,78/6,16 = 2,24$ раза.

Рассмотрим модель 4. Конструкция противоточного рекуператора такая же, но с оребрением пластин в виде равнобедренных треугольников при реверсивном движении воздуха (рис. 4).

По формулам (1) и (2) были найдены $E_t = 65,84 \%$, $\zeta = 10,97$. Соответственно, возрастание эффективности в $65,84/53,73 = 1,23$ раза, а потери давления – в $10,97/6,16 = 1,78$ раза.

Исходя из выполненных расчетов, можно сделать вывод о том, что данная модель более рациональна из всех рассмотренных, так как достигается больший рост эффективности теплоутилизатора при умеренном возрастании коэффициента местного сопротивления.

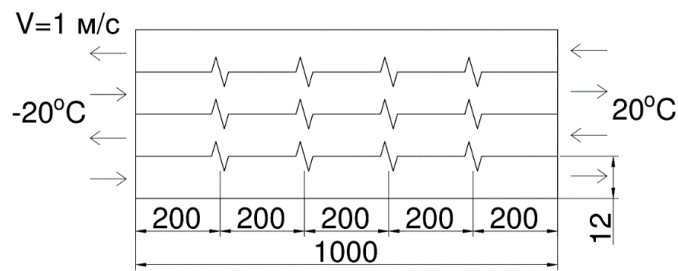


Рис. 4. Расчетная схема пластинчатого противоточного рекуператора с пластинами, имеющими оребрение в форме равнобедренных треугольников с реверсивным движением воздуха

Исходя из результатов исследования, можно сделать выводы о том, что эффективность во многом зависит от формы поверхности смежных пластин и повышается при наличии турбулизаторов в виде ребер различной формы. Но при нахождении более рационального варианта следует учитывать и повышение коэффициента местного сопротивления рекуператора. Из рассмотренных вариантов наиболее перспективным является четвертая модель с турбулизирующими ребрами в виде равнобедренного треугольника с реверсивным движением воздуха.

Задачей дальнейшего исследования является поиск наиболее рациональных форм турбулизаторов, которые повышая эффективность устройства, приводили бы к умеренному росту потерь давления.

Источники

1. Посохин В.Н., Сафиуллин Р.Г., Бройда В.А. Вентиляция: учеб. издание / под общ. ред. проф. В.Н. Посохина. М.: Изд-во АСВ, 2015. 624 с.
2. Богословский В.Н., Поз М.Я. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Стройиздат, 1983. 319 с.
3. Хаузен Х. Теплопередача при противотоке, прямотоке и перекрестном токе / пер. с нем. И.Н. Дулькина. М.: Энергоиздат, 1981. 383 с.
4. CFD simulation of air to air enthalpy heat exchanger, Energy Conversion and Management / Rafat Al-Wakeda // Energy Conversion and Management. 2013. 10. Vol. 74. Pp. 377–385.
5. Oyelami A.T., Adejuyigbe S.B., Olusunle S.O. Computational modeling of temperature distribution of streams in recuperative heat exchanger // J. of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences. 2014. Vol. 5, № 8. Pp. 164–169.

СПОСОБ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Г.А. Патрушев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹gleb.patrushev@yandex.ru
Науч. рук. канд. техн. наук Л.С. Сабитов

Аннотация. Известные способы испытания опор создают продольные и поперечные статические нагрузки, приложенные к опоре. В реальных условиях эксплуатации значительная часть повреждений опор связана с воздействием на них динамических нагрузок, которые могут превосходить статические. Предложенный способ позволит провести экспериментальные исследования процессов каскадного разрушения анкерного участка вследствие обрыва проводов, когда потенциальная энергия натяжения проводов преобразуется в динамическое воздействие на конструкцию опор.

Ключевые слова: надежность, способ испытания, динамические нагрузки, система опор.

Интенсивное развитие воздушных линий (ВЛ) возможно за счет широкого внедрения новых опор из трубчатых стержней (включая многогранные опоры), модификации существующих опор с применением прогрессивных материалов, обеспечивающих их высокую надежность и прочность при минимальной металлоемкости. Повсеместное внедрение новых типов опор обуславливает необходимость проведения динамических испытаний их конструкции с учетом конструктивных особенностей. В связи с этим разработка новых эффективных методов и установок контроля опор ВЛ является актуальной задачей.

Согласно стандарту Международной электротехнической комиссии (IEC) МЭК 652-79 «Испытание опор воздушных линий электропередачи механическими нагрузками» [7] при внедрении новых типов опор возникает необходимость в определении их фактической несущей способности при приложении к ним испытательной нагрузки, соответствующей реальной нагрузке, оказывающей воздействие на опору. Реальные нагрузки могут быть постоянными и временными. К постоянным нагрузкам относятся нагрузки от собственного веса элемента опор (провода, изоляторы, рекламные конструкции, опоры и т.д.). Под временными понимают воздействие ветра и гололеда, а также нагрузки, которые образуются в результате обрыва проводов.

Динамические испытания осуществляются для исследования НДС конструкций под действием динамических нагрузок, характеризующихся

быстрым изменением во времени их значения, направления или точки приложения и вызывающие в элементах конструкций значительные напряжения вследствие воздействия инерционных сил [6].

Известен способ проведения сейсмических испытаний опор воздушных линий электропередачи, включающий установку, по меньшей мере, одной опоры в грунтовый лоток сейсмоплатформы, закрепление на траверсах опоры грузов, вес которых соответствует весу проводов между опорами, приведение грунтового лотка в колебательное движение в режимах, моделирующих возможные сейсмические нагрузки на опоры. Однако при моделировании реального воздействия сейсмических колебаний на опору не учтены ее основные динамические характеристики, включая приведенную жесткость опоры и закрепленных на траверсах опоры проводов, а также собственную частоту колебаний системы опора-провода. Указанный недостаток снижает объективность и достоверность испытаний.

Известен способ испытания опор, заключающийся в установке опор в вертикальное положение, крепление к ним наклонных тросовых тяг и создание при помощи лебедок расчетного нагружения [5].

Недостаток данного способа состоит в сложности моделирования распределенной по конструкции ветровой нагрузки (основной), требующий установки множества тросовых тяг, что затрудняет создание расчетного нагружения.

Известен другой способ испытания конструкций опор, заключающийся в том, что конструкцию укладывают в лежачее положение, закрепляют ее на опоре и при помощи гидродомкратов создают продольное усилие [4].

Недостаток известного способа состоит в том, что не представляется возможность создания поперечного усилия, имитирующего ветровую нагрузку, являющуюся основной для осветительных опор.

Новый стенд для динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи включает установку не менее трех промежуточных опор на основании силовой прямоугольной рамы, моделирующей анкерный участок, в котором боковые стойки рамы представляют собой макеты анкерных опор, закрепление на изоляторах, установленных на траверсах, тросовых тяг со встроенными в них калиброванными разрывными вставками, динамометрами и пружинами растяжения, являющимися упругими эквивалентами проводов в промежуточных пролетах, у которых зависимость между усилием растяжения и удлинением пружины соответствует зависимости силы натяжения провода в промежуточном пролете от его удлинения, вызванного воздействием на провод нагрузки от

собственного веса провода и веса гололеда, а также закрепление на изоляторах опор грузов, веса которых соответствуют весам приложенных к проводу нагрузок, что позволило на компактном стенде исследовать работу опор в анкерном участке в расчетных и аварийных режимах в условиях, максимально приближенных к реальным. Отмеченные обстоятельства позволяют уточнить методики расчета опор на основе полученных экспериментальных данных, так как теоретические методы описания сложных динамических процессов, происходящих в воздушных линиях электропередачи, с множеством влияющих факторов, имеют ограниченное применение вследствие недостаточно высокой точности расчетов.

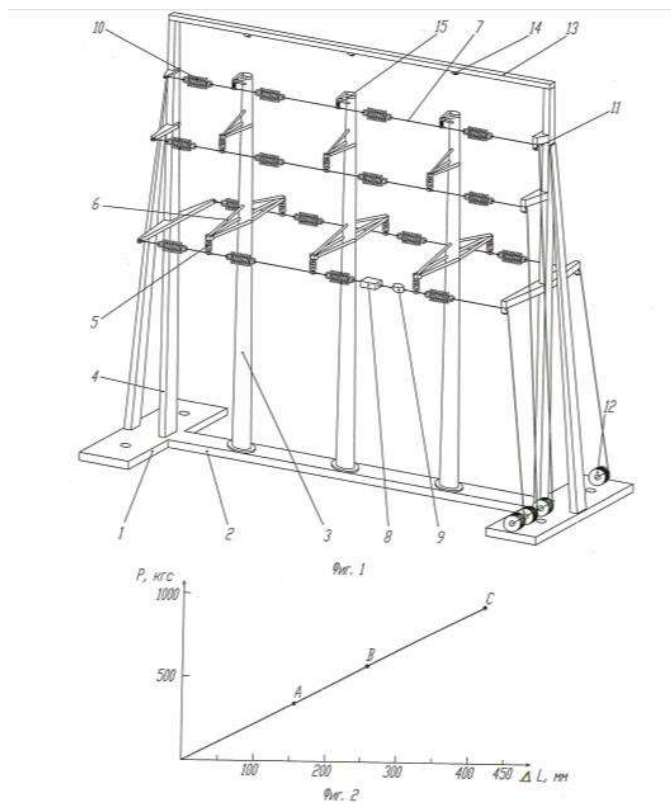
Нагружение опор в конце испытаний разгружающей нагрузкой и регистрации основных параметров разрушения конструкций опор позволяют определить предельную расчетную нагрузку на опору и выявить наименее прочные узлы конструкций опоры.

На рисунке представлены схема стенда для динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи и зависимость силы натяжения провода в пролете от его удлинения, вызванного изменением удельных нагрузок от гололеда.

Стенд для динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи включает силовую прямоугольную раму 1, на основании 2 которой установлено не менее трех испытуемых опор 3, моделирующих анкерный участок, в котором боковые стойки 4 рамы 1 представляют собой макеты анкерных опор. На изоляторах 5, установленных на траверсах 6, закреплены тросовые тяги 7 со встроенными в них калиброванными разрывными вставками 8, динамометрами 9 (устройства 8 и 9 показаны только на одной тросовой тяге) и пружинами растяжения 10, представляющими собой упругие эквиваленты проводов, включая грозозащитный трос закрепляемых на изоляторах 5 испытуемых опор 3 в реальных промежуточных пролетах. Концы тросовых тяг 7 через блоки 11 соединены с соответствующими лебедками 12, закрепленными на основании 2. На верхней балке 13 рамы 1 установлены датчики перемещения 14, вершин 15 опор 3.

Динамические испытания опор осуществляют следующим образом. Предварительно, для проведения динамических испытаний опор в полном соответствии с реальными условиями, на каждом изоляторе 5 испытуемой опоры 3 закрепляют тарировочный груз, вес которого равен разности между весом провода в реальном пролете и весом тяги 7, со встроенными в нее калиброванной разрывной вставкой 8, динамометром 9 и пружиной

растяжения 10, закрепленной в пролете между двумя опорами 3, установленными на стенде.



Установка для динамических испытаний опор воздушных ЛЭП

После этого осуществляют контролируемое динамометрами 9 натяжение тросовых тяг 7 с помощью лебедок 12 до разрыва одной из калиброванных вставок 8, рассчитанных на минимальное усилие натяжения тросовой тяги 7, определяемое нагрузкой от собственного веса провода в реальном пролете. При разрыве калиброванной вставки 8 определяют отклик промежуточных опор 3 на реальное импульсное воздействие, соответствующее условиям эксплуатации, а именно обрыв провода в пролете. При этом измеряют амплитуду и частоту собственных колебаний опор 3, соединенных между собой тросовыми тягами 7 с встроенными пружинами растяжения 10, являющимися упругими эквивалентами проводов, с помощью датчиков перемещения 14.

Также тензодатчиками определяют механические напряжения в критических точках конструкций опор 3 в период воздействия на них импульсной нагрузки. Аналогичным образом осуществляют повторение описанных операций после закрепления на изоляторах 5 дополнительных грузов, вес которых соответствует весу гололеда с возрастающими степенями толщины его стенки, включая её максимальное значение.

С учетом повышения силы натяжения провода в пролете от увеличения дополнительной нагрузки на него от веса гололеда повышают величину усилия разрыва калиброванной вставки 8 до значения, соответствующего этой дополнительной нагрузке и собственному весу провода.

После окончания испытаний по моделированию воздействия на провод гололеда с максимальной сверхнормативной толщиной стенки устанавливают величину усилия разрыва калиброванной вставки 8, равной усилию разрыва провода, и за счет натяжения тросовой тяги 7 производят разрушение наименее прочной конструкции опоры 3. При этом вследствие редукации натяжения проводов разрушаются конструкции опор 3 в соседних с аварийным пролетах. Также осуществляют регистрацию параметров процесса разрушения конструкций опор 3 и определяют коэффициенты динамичности опор 3.

Использование предложенного способа динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи позволит обеспечить динамические испытания единой системы опор, объединенных упругими механическими связями, выполненными в виде тросовых тяг со встроенными в них пружинами растяжения, наиболее полно моделирующей реальный анкерный участок, для определения динамических характеристик опор при имитации реального импульсного воздействия на них, соответствующего условиям эксплуатации, а именно обрыв провода как в расчетных условиях, так и в аварийных режимах, вызванных воздействием гололедных нагрузок, превышающих предельные значения, включающих разрушение конструкций опор.

Также предложенный способ позволит провести экспериментальные исследования процессов каскадного разрушения анкерного участка вследствие обрыва проводов, когда потенциальная энергия натяжения проводов в пролетах анкерного участка преобразуется в мощное динамическое воздействие на конструкции опор, приводящее к их разрушению.

Источники

1. Способ испытания опор: пат. 2554285 Рос. Федерация № 2013148965/28; заявл. 01.11.13; опубл. 10.05.15, Бюл. № 13.
2. Бирбраер А.Н. Экстремальные воздействия на сооружения. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 594 с.
3. Способ проведения сейсмических испытаний опор линий электропередач: пат. 2574419 Рос. Федерация № 2014134998/28; заявл. 28.08.14; опубл. 10.02.16, Бюл. № 4.

4. Металлические конструкции: справочник проектировщика. В 3 т. Т. 1. Общая часть / под общ. ред. В.В. Кузнецова. М.: Изд-во АСВ, 1998. 576 с.

5. Металлические конструкции: справочник проектировщика. В 3 т. Т. 2. Стальные конструкции зданий и сооружений / под ред. В.В. Кузнецова. М.: АСВ, 1999. 512 с.

6. Металлические конструкции: справочник проектировщика. В 3 т. Т. 3. Стальные сооружения, конструкции из алюминиевых сплавов. Реконструкция, обследование, усиление и испытание конструкций зданий и сооружений / под ред. В.В. Кузнецова. М.: АСВ, 1999. 528 с.

7. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. Л.: Энергия, 1979. 312 с.

8. Стандарт МЭК. Публикация 652. Издание первое. «Испытания опор воздушных линий электропередачи механическими нагрузками», 1979.

9. Детали машин: расчет и конструирование: справочник: в 3 т. / под ред. проф. д-ра техн. наук заслуж. деят. науки и техники РСФСР Н.С. Ачеркана. 3-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1968–1969. Т. 2. 408 с.

УДК 621.175

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГРАДИРЕН

И.М. Сагатдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

tatarinilnar9428@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук Е.А. Лаптева

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос оборотного водоохлаждения на Уфимской ТЭЦ-4. В связи с ужесточением требований по охране окружающей среды, необходимостью экономии материальных и топливно-энергетических ресурсов все большее применение на предприятиях многих отраслей промышленности находят системы оборотного водоснабжения. В состав этих систем входят насосные станции, участки подготовки воды, включая химреагентную обработку, градирни, коммуникации и т.д. Основное назначение градирен – охлаждение оборотной воды атмосферным воздухом.

Ключевые слова: вода, градирня, оборотное водоснабжение, энергия, температура воды, орошение, промышленные предприятия.

Уфимская ТЭЦ-4 отпускает электрическую и тепловую энергию в виде пара и горячей воды, а также снабжает энергоресурсами

промышленную площадку филиала ОАО АНК «Башнефть» – «Башнефть – Уфанефтехим», в непосредственной близости от которого и располагается.

На Уфимской ТЭЦ-4 нет собственного водоснабжения, источником водоснабжения Уфимской ТЭЦ-4 является река Белая, которая протекает в 15 км от станции. Береговые насосные станции находятся на территории ОАО АНК «Башнефть». Уфимская ТЭЦ-4 вынуждена оплачивать поставку воды с водозаборной станции. Вода с водозаборной станции Уфанефтехим подается на ТЭЦ-4 по двум линиям технических водоводов. Этот процесс поставки воды на станцию не очень экономичен. Есть и другая проблема, охлаждение воды, прошедшей через конденсаторы турбин. Для охлаждения оборотной воды на станции используются башенные градирни.

На Уфимской ТЭЦ-4 установлено четыре башенных градирен. Основными параметрами, характеризующими эффективность работы градирни, являются:

1. Охлаждающая способность градирен:

$$\Delta t = t_1 - t_2, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где t_1 – температура входящей воды в градирню, $^\circ\text{C}$; t_2 – температура выходящей воды из градирни, $^\circ\text{C}$.

2. Плотность дождя:

$$p = \frac{W}{F}, \text{ т/м}^2,$$

где W – расход охлаждающей воды, т/ч, F – площадь орошения градирен, 1600 м^2 .

3. Снижение охлаждающей способности всех 4-х градирен на $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ ограничивает мощность станции на 2,5 МВт и увеличивает удельный расход условного топлива на 0,5 г/кВт·ч. В таблице приведены наиболее типичные причины снижения охлаждающей способности градирен [2].

Для ведения контроля за работой градирен необходимо вести периодические наблюдения персоналом режимной группы за:

- 1) качеством орошения;
- 2) температурой циркуляционной воды на входе и выходе из градирни;
- 3) положением поворотных щитов;
- 4) техническим состоянием градирни;

5) проводить ежегодные эксплуатационные испытания градирен для определения и сравнения фактической и нормативной температуры (РД 34.22.402-94, РД 34.09.212) [6].

Причины снижения охлаждающей способности градирен

№	Перечень дефектов	Недоохлаждение, °С
1.	Неплотности в вытяжной башне до 10 % площади	2,0
2.	Проемы в оросители до 20 % общей площади	2,5
3.	Засорение сопел до 20 %	1,5
4.	Неравномерная плотность орошения из-за поломки разбрызгивающих сопел до 2 %	1–1,5
5.	Отклонение асбестоцементных листов от вертикального положения (приводит к одностороннему смачиванию листов – уменьшение поверхности охлаждения)	2–3
6.	Гидравлическая перегрузка или недогрузка (неравномерность нагрузки градирни)	3
7.	Отклонение зазоров между асбестоцементными листами от оптимальных	0,6

Работа градирни считается неудовлетворительной, если по результатам испытаний практическое значение температуры охлажденной воды в градирне превышает на 0,5–1,0 °С нормативное значение, определенное по номограмме.

Градирня представляет собой сооружение для охлаждения воды в оборотных системах водоснабжения. Башня градирни в плане имеет форму правильного шестнадцатиугольника со стороной 10,384 м у основания на отметке 2,770 м. Нижняя часть башни до отметки 14,500 м имеет призматическую форму, верхняя – форму усеченной пирамиды с размером грани верхнего основания 6,474 м. Башня градирни выполнена с применением металлического каркаса с обшивкой с внутренней стороны алюминиевыми профилированными листами, толщиной $t = 1$ мм, с наружной стороны плоскими листами $t = 2$ мм по ГОСТ 21631-76 «Листы из алюминия и алюминиевых сплавов». Металлические конструкции каркаса вынесены из зоны непосредственного увлажнения охлаждаемой водой.

Башни градирен имеют дневную маркировку, необходимость выполнения которых устанавливается Федеральными авиационными правилами «Размещение маркировочных знаков и устройств на зданиях сооружений, линиях связи, линиях электропередачи, радиотехническом оборудовании и других объектах, устанавливаемых в целях безопасности полетом воздушных судов» [5].

Градирня № 4 имеет оросительное устройство, выполненное блочным капельно-пленочным типом, с размером ячейки в плане 32x50 мм.

Градирни № 1, 2, 3 имеют оросительное устройство, состоящее из полипропиленовых блоков низкого давления стабилизированного углеродом, что обеспечивает поддержание его механических характеристик в течение длительного периода времени. Блок-ороситель представляет собой объемную сетчатую структуру, собранную из слоев сетчатых оболочек диаметром 65 мм, размещенных параллельно друг другу и сваренных по торцам блока между собой в местах соприкосновения по сегменту. Геометрические размеры блока составляют 1000×500×500 мм [6].

Водораспределительное устройство состоит из стальных труб и пластмассовых сопел эвольвентного типа. На градирнях установлено по 2316 сопел диаметром 25 мм. На каждую градирню подводятся по два стояка, которые ответвляются от напорных водоводов диаметром 1800 мм, по этим стоякам вода подается на распределительные водопроводы-лучи. Стояки обеспечивают работу центра или периферии градирни.

Номинальная охлаждающая способность градирни по циркуляционной воде, т.е. разности температур воды на входе и выходе, равна 8,5 °С при температуре наружного воздуха, равной 15 °С.

В летнее время года щиты поворотные должны быть открыты и закреплены в открытом положении.

Уровень в чаше градирни должен быть не менее 2 м. Расход воды должен быть отрегулирован таким образом, чтобы было правильное распыливание воды. Задвижки опорожнения должны быть закрыты полностью. Не допускается перелив воды через переливные линии. Нормальной считается работа градирни при условии охлаждения циркуляционной воды на 6–10 °С [4].

Также необходимо постоянно следить за коэффициентом упаривания по отношению содержания хлоридов в циркуляционной и в исходной воде, который не должен превышать 1,5, для этого во время работы должен вестись постоянный контроль анализов циркуляционной воды. В случае превышения коэффициента упаривания свыше 1,5 необходимо производить обмен воды с градирен через линию опорожнения с градирен ст. № 2 и 3. При понижении коэффициента упаривания до 1,2 нужно закрыть задвижки опорожнения градирен и убавить подпитку градирен технической водой.

В зимнее время года ветровые щиты должны быть закрыты, и регулировка работы теплообмена градирни ведется при помощи открытия щитов в зависимости от состояния градирен внутри и температуры циркуляционной воды. Температурный перепад горячей и охлажденной воды в зимних условиях не должен превышать 13 °С, а температура охлажденной воды должна быть не ниже 12 °С [6].

Во время низких температур наружного воздуха соответственно будет низкая температура циркуляционной воды, поэтому при останове циркуляционных насосов надо помнить о том, что при малом расходе ороситель может обмерзнуть и обвалиться. Для исключения обмерзания оросителя на внутренние лучи должен быть ограничен расход воды. При появлении наледи на оросителях ее следует обкалывать при помощи специальных приспособлений.

Технические характеристики градирни:

- площадь орошения – 1600 м²;
- производительность – 8000 м³/ч;
- высота башни – 50 м;
- диаметр чаши – 48,6 м;
- глубина чаши – 2,2 м;
- плотность орошения – 5,0 м³/(ч·м²);
- давление циркуляционной воды на соплах – 0,6–0,9 кгс/см [6].

Основные технические решения по данному проекту предусматривают монтаж внутреннего технологического оборудования градирни, в том числе:

- системы трубопроводов подвода теплой воды;
- системы трубопроводов распределения и разбрызгивания через напорные полимерные сопла воды на оросители;
- системы капельно-пленочных оросителей из полимерных материалов;
- системы улавливания и возврата в бассейн градирни воды капельного уноса с помощью водоуловителей из полимерных материалов.

Проектом предусмотрено выполнить систему подвода теплой воды внутри градирни к системе трубопроводов распределения с помощью подводящих трубопроводов, трасса которых расположена в верхней зоне водоприемной чаши градирни с отметками осей труб от + 3,15 до + 2,265. Подобное размещение больших труб с теплой водой в нижней зоне градирни и позволяет снять основные вопросы зимней эксплуатации – обледенения входного тамбура градирни. Типовыми проектными

решениями предусматриваются варианты обогрева тамбура с помощью монтажа специальных проходных трубопроводов теплой воды в зоне тамбура. Но, как правило, количества тепла в сильные морозы при этом недостаточно, и происходит обледенение тамбуров (как правило, связанное с повреждениями конструкций и ухудшения показателей охлаждения). В данном случае вся масса воды будет участвовать в процессах обогрева, и проблемы обледенения будут сняты.

Подводящие трубопроводы (ввод двумя трубами $D=1220$ мм) разветвляются на несколько ниток (по 4 нитки на каждой вводной трубе) и разводятся равномерно по площади чаши градирни. Диаметры труб приняты переменными (предусмотрены переходы на диаметры 1020, 920 и 720 мм, а для окончных участков приняты диаметры 530 мм). Подводящие трубопроводы опираются на систему опорных стоек (из труб $D = 325$ мм), которые устанавливаются на пол чаши градирни на бетонную подливку и закрепляются анкерными болтами. Болты устанавливаются в просверленные в бетонном полу чаши отверстия с эпоксидным клеем. В состав подводящих трубопроводов включены вертикальные трубы-стойки (диаметром 325 мм с шагом 6×4 м), на которые опирается и гидравлически связывается верхняя опорная площадка, выполненная из гидравлически связанных между собой труб (диаметром 325 мм с продольным шагом 4,0 м и поперечным шагом 6,5 м, с отметкой по осям +6,650).

Торцевые участки подводящих трубопроводов (восемь лучей) оснащены сбросными вентилями, позволяющими ограничить подачу воды на оросители и обеспечить сброс части теплой воды в бассейн напрямую (режим зимней эксплуатации) [1].

Подача воды на сопла осуществляется через вертикальные стойки, которые ввариваются в продольные трубы верхней опорной площадки с равномерным шагом по длине и ширине рабочей площади градирни. На каждой стойке устанавливается до 3-х разбрызгивающих сопел, которые разнесены на расстояние до 1,3 м с помощью горизонтальных консолей из труб. Перекрестная гидравлическая связь подводящих трубопроводов и верхней опорной площадки позволяет добиться равномерного распределения напора во всех точках отбора воды на разбрызгивающие сопла. Гидравлическая система подвода воды выполнена в две независимые нитки. Гидравлическая схема разводки воды по градирне также разделена на две независимые системы водораспределения, привязанные к этим трубопроводам. Для этого верхняя опорная площадка гидравлически разделена пополам, и вода на распылительные сопла подается на каждую половину градирни от привязанного к ней трубопровода.

В проект заложены эвольвентные сопла современной конструкции из полимерных материалов, с диаметром выходного отверстия 28 мм. Данные сопла создают устойчивый водяной факел, при напоре начиная от 1 до 4 м вод. ст. и обеспечивают равномерное распределение капельной воды по площади градирни (количество рабочих сопел принято 1444 шт.). Расход воды через сопло составляет до $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ [3].

Несколько (18 шт.) вертикальных раздаточных стояков выполнены без заглушек и выведены на отметку +13,500 м для перелива воды при избыточном напоре. В процессе отладки гидравлической системы и выбора оптимального режима по напору, отметку этих колонн допускается уменьшать (обрезать), обеспечивая необходимый уровень перелива (напор).

Конструктивные решения данного проекта характеризуются малой длиной горизонтальных участков трубопроводов и, соответственно, малой вероятностью их заиливания. В торцах каждой нитки подводящих трубопроводов предусмотрены продувочные отверстия с запорными кранами. Через эти отверстия при необходимости осуществляется прямой сброс воды, минуя оросительные системы градирни.

Проектом предусмотрено применение оросителей из полимерных материалов, характеризующихся высокими теплотехническими и аэродинамическими показателями на уровне современных образцов.

Применение трех ярусов оросителей позволяет достичь максимального охлаждающего эффекта при пиковых сочетаниях расчетных факторов, но требует повышенных капиталовложений (на приобретение оросителей). Допускается выполнить поэтапное строительство – на первом этапе выполняется монтаж оросителей в два яруса, и ведется отладка и опытная эксплуатация градирни. Далее по техническим показателям определяется необходимость улучшения работы градирни, и проводится монтаж третьего яруса оросителей [4].

Источники

1. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий: справочное пособие / под общ. ред. В.С. Пономаренко. М.: Энергоатомиздат, 1998. 376 с.

2. Трухний А.Д., Ломакин Б.В. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2002. 540 с.

3. Шабалин А.Ф. Обратное водоснабжение промышленных предприятий. М.: Стройиздат, 1972. 296 с.

4. Бергман Д. Испарительные градирни: современные конструкции и преимущества реконструкции // Энергетик. 2000. С. 15–21.

5. Градирни и охладительные башни [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tems.ru/catalog/gradirni> (дата обращения: 23.10.2018).

6. Инструкция по эксплуатации градирен Уфимской ТЭЦ-4 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bgkrb.ru/activities/business/143.pl> (дата обращения: 23.10.2018).

УДК 621.6.022

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ЗОНЕ БАРБОТАЖА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПАРОВОЗДУШНОГО ТИПА

П.С. Соколов¹, М.В. Козлова²

^{1,2}ИГЭУ, г. Иваново

^{1,2}mariyakozlova1996@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук А.В. Банников

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты исследования влияния начальной температуры воды в зоне барботажа на эффективность опреснительных установок паровоздушного типа. В рамках исследования на автономной опреснительной установке проводился однофакторный физический эксперимент, параметром оптимизации которого является производительность установки по пресной воде. По результатам опытов, проводимых при неизменных давлении, расходе и температуре воздуха, была получена экспериментальная зависимость производительности установки от начальной температуры воды в зоне барботажа. Установлено, что этот параметр оказывает существенное влияние на эффективность установок данного типа, а его увеличение способствует интенсификации процесса получения пресной воды.

Ключевые слова: опреснительная установка, барботажа, паровоздушный метод, насыщение, температура воды, воздух, влагосодержание, производительность установки.

Обеспечение качественного водоснабжения засушливых регионов, лишенных чистых пресных водоемов и рек, является актуальной задачей. В ряде случаев опреснение морских и океанических вод позволяет удовлетворить потребности населения в пресной воде. Сегодня процесс опреснения в основном осуществляется обратноосмотическим или дистилляционным методами, которые в силу своих особенностей требуют существенных энергетических и материальных затрат. Паровоздушный метод, исследованию которого посвящена настоящая работа, по причине своей энергоэффективности является перспективным и актуальным.

Для оценки влияния температуры слоя воды в зоне барботажа на эффективность работы установок паровоздушного типа на автономной

опреснительной установке [1] был проведен физический эксперимент. Установка, принципиальная схема которой показана на рис. 1, представляет собой двухсекционную емкость с источником тепловой энергии для подогревателя соленой воды и включает в себя барботер, конденсатор и расширитель.

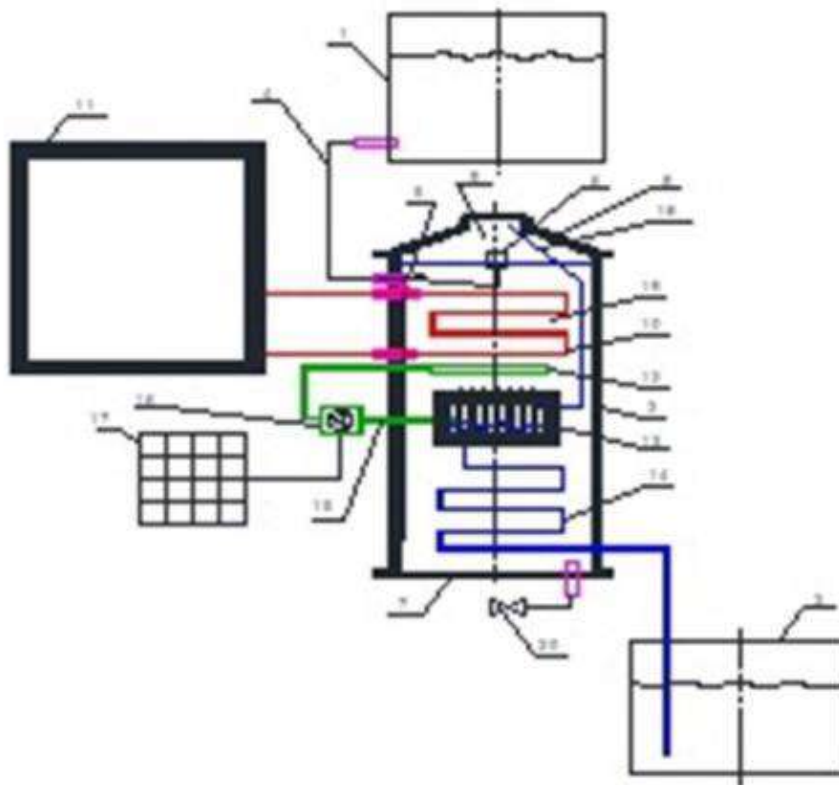


Рис. 1. Принципиальная схема автономной опреснительной установки: 1 – емкость опресняемой воды; 2 – испарительная камера; 3 – емкость-сборник пресной воды; 4 – переливная труба; 5 – клапан; 6 – датчик уровня воды; 7 – съемное дно; 8 – съемная крышка; 9 – зона паровоздушной смеси; 10 – нагревательный элемент; 11 – солнечный коллектор; 12 – барботажное устройство; 13 – конденсатор-сепаратор; 14 – змеевик; 15 – труба; 16 – нагнетатель воздуха; 17 – солнечная батарея; 18 – труба паровоздушной смеси; 19 – зона нагрева; 20 – кран слива рассола

В рассматриваемой экспериментальной установке процесс получения пресной воды основывается на законе равновесного состояния паро-газожидкостных смесей и заключается в реализации следующего цикла: изначально воздушные массы с малым влагосодержанием поступают в нагнетатель, где они нагреваются, и повышается их давление, при этом их влагосодержание остается неизменным, а относительная влажность уменьшается. После нагнетателя воздух отправляется в барботажное устройство, через отверстия которого он пропускается сквозь слой нагретой воды и насыщается при этом влагой. Полученная

паровоздушная смесь, характеризующаяся высоким влагосодержанием, поступает в конденсатор-сепаратор, в котором в результате теплообмена с опресняемой водой, она осушается и с малым влагосодержанием отправляется в нагнетатель, а полученный конденсат в приемную емкость пресной воды.

При контакте нагретой воды с ненасыщенным воздушным потоком в результате действия сил тепло- и массообмена вода охлаждается до температуры, близкой к температуре термодинамического равновесия, соответствующей температуре мокрого термометра, которая ниже температуры насыщения при том же давлении. Теплота, выделяющаяся в этом процессе, расходуется на дополнительную генерацию обессоленного водяного пара, что повышает энергоэффективность установок данного типа.

При взаимодействии воздуха и горячей воды одновременно протекают диффузия, молярный перенос теплоты и массы, лучистый теплообмен, термическая диффузия и неизотермическая массопроводность, все эти элементарные процессы оказывают взаимное влияние друг на друга, а их интенсивность определяется начальными условиями протекания процесса [2].

На протяжении всей серии экспериментов давление, расход воздуха и его температура поддерживались постоянными, а температура воды изменялась в пределах от 70 до 100 °С.

Тепловая энергия на испарение воды поступает от двух источников: самой жидкости и барботируемого воздуха, если его температура превышает температуру воды. Подвод тепловой энергии в зоне барботажа способствует интенсификации данного процесса. В серии опытов в начальный момент времени температура воды была выше температуры пропускаемого через нее воздуха, соответственно процесс насыщения осуществлялся только за счет внутренней теплоты воды и продолжался до тех пор, пока температура воды не становилась ниже температуры воздуха.

По результатам проведенного исследования была получена графическая зависимость производительности опреснительной установки от начальной температуры воды в зоне барботажа, которая представлена на рис. 2.

Резюмируя все вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что температура воды в зоне барботажа оказывает существенное влияние на эффективность работы опреснительных установок паровоздушного типа, а ее увеличение является одним из способов интенсификации данного процесса.

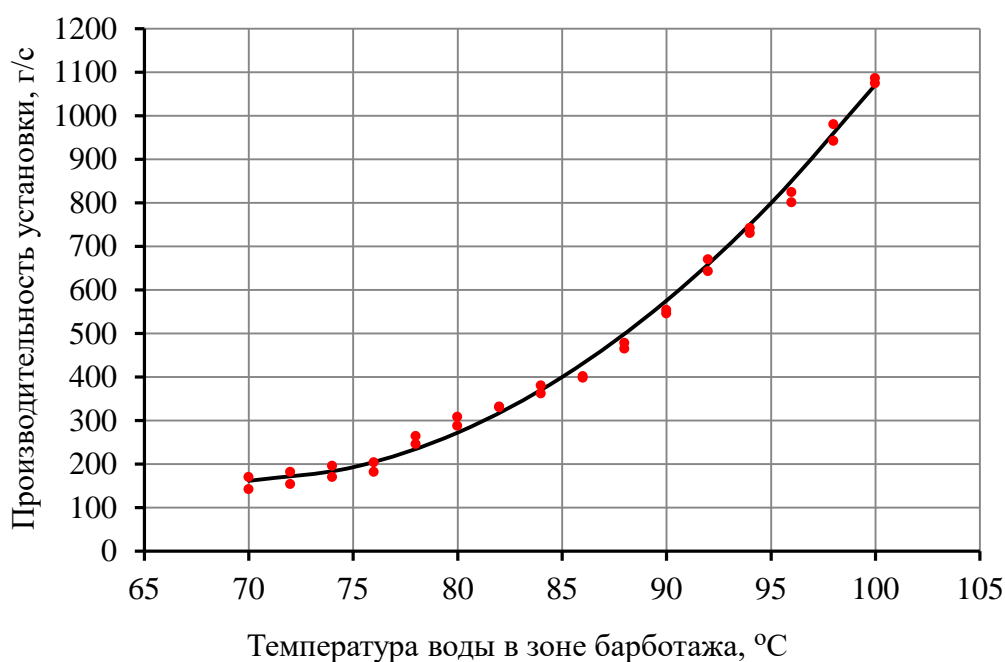


Рис. 2. Зависимость производительности опреснительной установки паровоздушного типа от начальной температуры

Источники

1. Автономная опреснительная установка: пат. 2613920 Рос. Федерация № 2016100701; заявл. 11.01.16; опубл. 22.03.17, Бюл № 9.
2. Дикий Н.А. Энергоустановки геотермальных электростанций. К.: Высш. шк. головное изд-во, 1989. 198 с.

УДК 621.6.022

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА АВТОНОМНОГО ОПРЕСНИТЕЛЯ ПАРОВОЗДУШНОГО ТИПА

П.С. Соколов¹, М.В. Козлова²
^{1,2}ИГЭУ, г. Иваново

^{1,2}mariyakozlova1996@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук А.В. Банников

Аннотация. В работе рассмотрены конструктивные особенности экспериментальной автономной опреснительной установки паровоздушного типа, ее принцип действия. Установка представляет собой систему, состоящую из источника опресняемой воды, испарительной камеры и емкости-сборника пресной воды. В цилиндрической испарительной камере установлены: нагревательный элемент, расположенный ниже уровня опресняемой воды, барботажное устройство, представляющее собой плоскую спираль с отверстиями, конденсатор-сепаратор и

регенеративный теплообменный аппарат, выполненный в виде змеевика. Тепло- и электроснабжение установки осуществляется на базе возобновляемых источников энергии, что делает ее работу полностью автономной. Принятые конструктивные решения позволяют повысить энергетическую эффективность процессов, протекающих в установке, за счет снижения затрат на нагрев воды, использовать ее в регионах, лишенных централизованных источников тепловой и электрической энергии.

Ключевые слова: барботаж, насыщение, пресная вода, паровоздушный, закон равновесного состояния паро-газожидкостных смесей, влагосодержание.

Сегодня проблема недостатка чистой пресной воды становится одним из факторов, воздействующих на мировое экономическое развитие. Дефицит воды становится ограничителем экономического роста в развивающихся странах. Одним из способов решения данной проблемы является опреснение минерализованных вод, в связи с этим исследование данного процесса является актуальным. В настоящей работе приведены описание и принцип действия экспериментальной автономной опреснительной установки паровоздушного типа [1].



Рис. 1. Общий вид опытной автономной опреснительной установки морской воды паровоздушного типа

Опреснительная установка паровоздушного типа представляет собой двухсекционную емкость, с источником тепловой энергии для подогревателя соленой воды в виде солнечного коллектора с теплоносителем, имеющим нормальную температуру кипения выше нормальной температуры кипения соленой воды, барботером, конденсатором и расширителем. Общий вид установки показан на рис. 1.

Экспериментальная установка имеет следующие конструктивные особенности. Она включает в себя ёмкость опресняемой воды, обеспечивающую подачу исходной морской воды в нижнюю часть корпуса, испарительную камеру, выполненную в виде цилиндра с крышкой в виде усеченного конуса, ёмкость-сборник пресной воды. Установленная выше испарительной камеры ёмкость опресняемой воды сообщается с испарительной камерой посредством переливной трубы. Входное отверстие для переливной трубы расположено в верхней части испарительной камеры, а выходное отверстие – в нижней ее части.

Испарительная камера представляет собой цилиндр со съёмным дном и съёмной крышкой, крепление которых с приемной секцией осуществляется посредством фланцевого соединения. Внутренняя поверхность крышки и уровень воды образуют зону паровоздушной смеси. В верхней части испарительной камеры ниже уровня опресняемой воды установлен нагревательный элемент, выполненный из медной трубы в виде змеевика, который соединен с солнечным коллектором, при этом циркуляция теплоносителя в этом контуре происходит естественным образом. Под нагревательным элементом размещено барботажное устройство, выполненное в форме плоской спирали из трубы с отверстиями, расположенными со стороны уровня воды.

Под барботажным устройством установлен конденсатор-сепаратор, соединенный змеевиком с ёмкостью-сборником пресной воды, а через нагнетатель воздуха – с барботажным устройством, труба паровоздушной смеси – с зоной паровоздушной смеси. Нагнетатель воздуха питается от солнечной батареи, представляющей собой панель фотоэлементов.

В основу работы устройства положен иной, более эффективный по сравнению с традиционными опреснительными установками кипящего типа, принцип генерации пара, основанный на законе равновесного состояния паро-газожидкостных смесей [2].

В процессе опреснения ненасыщенный воздух взаимодействует с опресняемой водой, процесс насыщения влагой воздуха во время работы установки показан на рис. 2.

В результате взаимодействия нагретой воды и воздушного потока вода будет охлаждаться до температуры, близкой к температуре термодинамического равновесия, которая ниже температуры насыщения при этом же давлении. Теплота, выделяющаяся в этом процессе, идет на дополнительную генерацию обессоленного водяного пара. Кроме этого, насыщению потока воздуха влагой будет способствовать подвод теплоты в зоне барботажа [3], что позволяет получать высокие значения влагосодержания. Энергетическая эффективность опреснительной

установки морской воды паровоздушного типа состоит в значительном увеличении производительности установки за счет дополнительной генерации пара, на основе закона равновесного состояния парогазожидкостных смесей, полной утилизации теплоты конденсации паров паровоздушной смеси в конденсаторе-сепараторе и охлаждения конденсата в змеевике пресной воды.

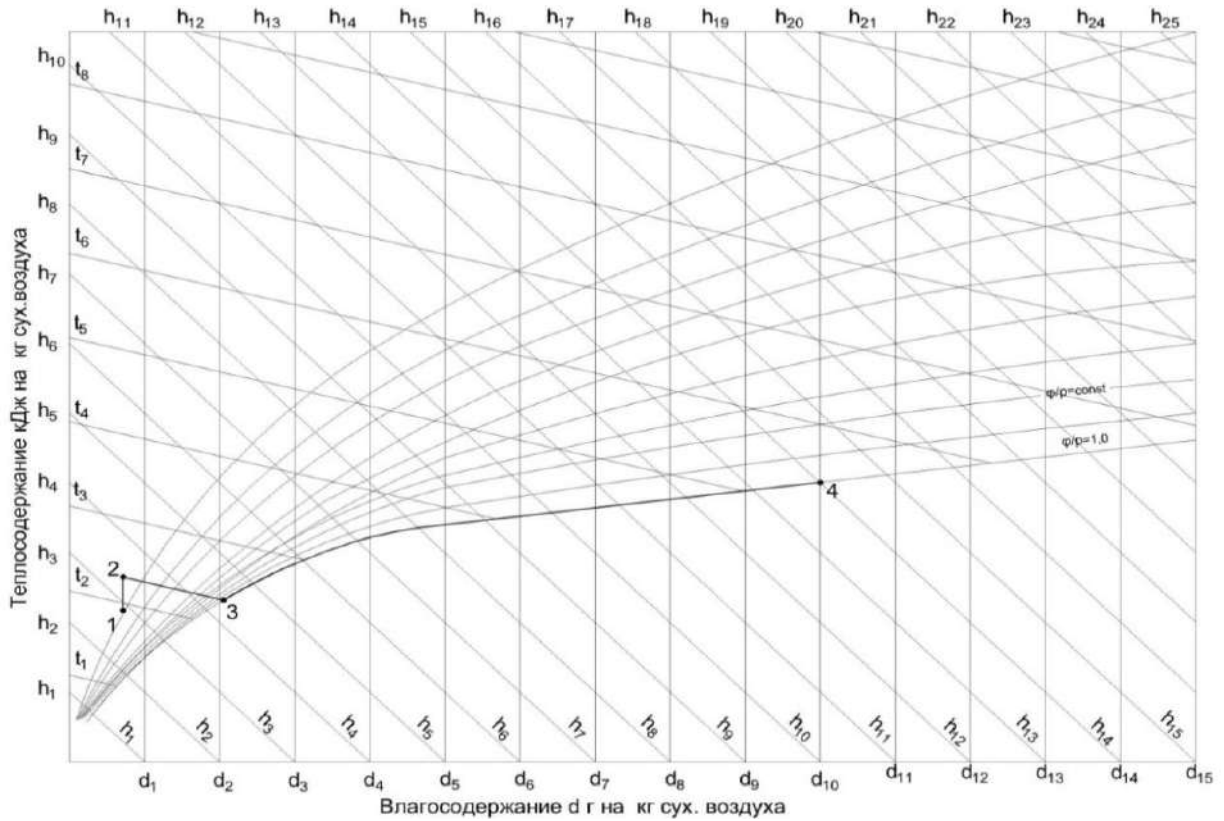


Рис. 2. Представление процесса насыщения воздуха в опреснительной установке морской воды паровоздушного типа в диаграмме $h-d$: 1–2 – процесс повышения давления воздуха в нагнетателе; 2–3 – процесс взаимодействия воздуха с нагретой водой в начальной стадии барботажа; 3–4 – процесс подвода теплоты к насыщенному воздуху от нагретой воды в развитой стадии барботажа

Эти обстоятельства снижают затраты тепловой энергии на процессы нагрева воды в установке. При этом источником тепловой и электрической энергии является солнечная энергия, что позволяет использовать установку в регионах планеты, в которых отсутствуют централизованные источники тепловой и электрической энергии.

Источники

1. Автономная опреснительная установка: пат. 2613920 Рос. Федерация № 2016100701; заявл. 11.01.16; опубл. 22.03.17, Бюл. № 9.

2. Дикий Н.А. Энергоустановки геотермальных электростанций. К.: Высшая школа, 1989. 198 с.

3. Прохоров В.И. J - d -диаграммы влажного воздуха для переменных давлений / под ред. д-ра техн. наук проф. Е.Е. Карписа. М.: Книга, 1973. 29 с.

УДК 621.577

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В СИСТЕМЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

С.А. Тюряева¹, И.Ф. Ялалов²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
^{1,2}sve_t_i_ka@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук А.Л. Осипов

Аннотация. В данной работе рассмотрено использование тепловых насосов в системе кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: тепловой насос, водяной контур, температура, перенос тепла, нагрев, охлаждение.

При обычных условиях тепло имеет направление движения от высокой температуры к более низкой. Однако тепловые насосы могут изменить движение тепла в противоположном направлении, принудительно затрачивая на это сравнительно малое количество энергии (электроэнергии, топлива или избыточного тепла). Ввиду этого тепловые насосы способны переносить тепло от природных источников тепла (воздуха, земли или воды) или от техногенных (промышленные и бытовые отходы, здания или производственные процессы). Также тепловые насосы используются для охлаждения, тогда тепло движется в противоположном направлении: от охлаждаемого источника к нагреваемому приемнику. Иногда избыточное тепловыделение, образовавшееся от охлаждения, одновременно используют для отопления. Например, обогрев бассейна с помощью тепла, выделяющегося от охлаждаемого дома.

Некоторые преимущества теплового насоса перед другими видами теплоснабжения:

- высокая экономичность, производят энергии в 2–7 раз больше, чем потребляют;
- функции отопления и кондиционирования воздуха одновременно;
- надежность;
- долговечность;
- экологическая чистота;
- безопасность.

Основу кольцевых систем кондиционирования воздуха составляют тепловые насосы типа «вода – воздух», выполняющие функции кондиционирования воздуха в помещениях. Тепловой насос в описываемом случае состоит из компрессорного агрегата, снабженного перепускным четырехходовым клапаном для смены режимов нагрева и охлаждения, и вентилятора, нагнетающего воздух в помещение. В теплообменнике «хладагент – вода» постоянно циркулирует вода, а через теплообменник «воздух – хладагент» воздух вентилятором нагнетается в помещение. Если теплообменник «воздух – хладагент» работает как испаритель, то воздух, проходящий через него, охлаждается, а теплообменник «хладагент – вода» играет роль конденсатора и вода в нем нагревается. При необходимости нагрева воздуха перепускной клапан в агрегате переключается, направление движения хладагента меняется на противоположное и вся система работает наоборот: воздух нагревается, вода охлаждается.

При установке теплового насоса в помещения, где необходимо кондиционирование воздуха, необходимо подобрать мощность в соответствии с параметрами и назначением помещения, характеристиками необходимой приточно-вытяжной вентиляции, возможным количеством присутствующих людей, установленным в нем оборудованием и другими факторами. Все тепловые насосы реверсивные, т.е. могут как охлаждать, так и нагревать воздух. Все они связаны общим водяным контуром – трубами, в которых циркулирует вода. Вода является одновременно источником и приемником тепла для всех тепловых насосов. Температура в контуре может изменяться в пределах от 18 до 34 °С. Это та температура воды, при которой тепловые насосы работают стабильно и эффективно.

Помещению необходимо либо охлаждение воздуха, либо его нагрев, в зависимости от того, какие работы будут в нем выполняться, а также какое количество людей будет задействовано, сколько оборудования будет находиться в рабочем режиме, а также необходимо учитывать время года или суток в данный момент времени. Тепловые насосы, охлаждающие или нагревающие воздух в различных помещениях, соединены водяным контуром для обмена теплом. По этому контуру и осуществляется перенос тепла в те помещения, где наблюдается его нехватка и наоборот.

Когда для нагрева воздуха, а также его охлаждения задействовано равное количество тепловых насосов, и добавление тепла в систему или удаление из нее не требуется, то основные затраты энергии идут на работу циркуляционного насоса водяного контура или на работу приводов насоса. Такое происходит в переходные периоды года, такие как весна и осень.

Зимой же, когда необходимо большее количество тепловых насосов и большее количество тепла, отбираемого из водяного контура, будет необходим дополнительный нагреватель, например котел или теплообменник. Если рассмотреть летний период, то увеличивается количество охлаждающих тепловых насосов, что может привести к перегреву воды. В связи с этим необходим охладитель для удаления тепла из водяного контура. Здесь подойдет градирня любого типа.

В состав водяного контура входит также низкотемпературный бак-накопитель, который, увеличивая объем воды, способствует большему накоплению тепла, а также стабилизирует температуру воды в начале контура. Чем больше этот бак, тем больше система способна аккумулировать тепло, которое затем при необходимости может быть использовано. Увеличение объема бака снижает мощности как охладителя (градирни), так и дополнительного нагревателя.

Теоретически бак может иметь размеры, которые бы позволили употребить зимой накопленное за лето тепло, но тогда его габариты были бы чрезмерными. На практике приходится выбирать оптимальное соотношение имеющихся площадей для размещения бака и мощностей нагревателя и охладителя. В качестве нагревателя в баке могут быть размещены электрические ТЭНы, что экономит пространство.

Преимущества кольцевых систем кондиционирования воздуха:

- тепло из помещений с большими тепловыделениями (например, кухня, прачечных, технических помещений) может быть использовано для обогрева других помещений (жилых комнат, административных помещений, офисов и т. д.);

- в переходные периоды, когда дневная температура наружного воздуха может значительно превосходить ночную температуру, в течение дня в водяном контуре происходит накопление тепла (тепловые насосы, охлаждая воздух, нагревают воду в контуре в течение дня с 18–20 до 28–30 °С). Это тепло может быть использовано в ночное время (тепловые насосы, переходя в режим нагрева воздуха, охлаждают воду постепенно в течение ночи обратно до 18–20 °С). Имеющийся низкотемпературный бак-накопитель, увеличивая объем воды в системе, как раз и усиливает такое суточное перераспределение тепла;

- в переходные периоды в солнечные дни, когда солнечная сторона здания значительно прогревается и в помещениях этой стороны требуется охлаждение воздуха, а помещения с теневой стороны здания необходимо обогревать, при работе теплового насоса кольцевой системы происходит перенос тепла из помещений фасада, перегретых солнцем, в помещения теневой стороны;

– техническое устройство теплонасосных систем с водяным контуром, а также их способность накапливать и многократно перерабатывать тепловую энергию делают возможным совместно использовать многие альтернативные источники энергии в теплоснабжении (например, солнечные коллекторы), компенсируя недостатки и оптимизируя характеристики этих источников;

– при температуре воды 18–34 °С нет заметной теплоотдачи, и не образуется конденсат на поверхности, поэтому для труб водяного контура, проходящих внутри зданий, не требуется теплоизоляция;

– допускается использование любых материалов для монтажа водяного контура (стальные, пластиковые, металлопластиковые трубы и др.).

Так как тепловые насосы потребляют меньше первичной энергии, чем традиционные системы отопления, они занимают передовые места среди технологий сокращения выбросов вредных газов, наносящих значимый ущерб экологии. Это такие газы, как двуокись углерода (CO₂), диоксид серы (SO₂) и окиси азота (NO_x). Также на окружающую среду воздействует выработанная электрическими тепловыми насосами электроэнергия. Тепловые насосы, использующие электроэнергию, например ГЭС или ВИЭ, значительно уменьшают выбросы, чем насосы, которые используют электроэнергию, вырабатываемую при использовании угля, нефти или газовых электростанций.

Источники

1. Ермаков А. Исследование тепловых насосов. LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 172 с.

2. Поляков В.В., Скворцов Л.С. Насосы и вентиляторы. М.: Стройиздат, 2013. 336 с.

3. Суслов А.В. Применение воздушных тепловых насосов в условиях холодного климата // Аква-Терм. 2009. № 3.

4. Гришков А.А. Модель работы теплового насоса в системе теплоснабжения жилого здания с использованием системы низкотемпературного отопления // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: матер. III Междунар. науч.-техн. конф. М.: МГСУ, 2009. С. 156–158.

5. Гликсон А.Л., Дорошенко А.В. Гелиосистемы и тепловые насосы в системах автономного тепло- и хладоснабжения // АВОК. 2004. № 7. С. 52–54.

6. Горшков В.Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор // Справочник промышленного оборудования. 2004. № 2. С. 47–80.

8. Калнинь И.М. Энергосберегающие теплонасосные технологии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.g-mar.ru/Statyi11.htm> (дата обращения: 09.12.2018).

9. Литвинчук Г. Работа современной сплит-системы в условиях низких температур [Электронный ресурс] // АВОК. 1998. № 4. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=51 (дата обращения: 09.12.2018).

10. Шабанов В.Е. Кольцевая система кондиционирования воздуха в гостинице [Электронный ресурс] // АВОК. 2004. № 7. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2605 (дата обращения: 09.12.2018).

11. Шабанов В.Е. Применение кольцевых теплонасосных систем [Электронный ресурс] // АВОК. 2006. № 4. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3254 (дата обращения: 09.12.2018).

УДК 697.343

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИХ УВЛАЖНЕНИИ

А.М. Хакимова¹, А.Р. Хайруллин²

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

^{1,2}Aliya567894@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук А.М. Гусячкин

Аннотация. В данной статье экспериментальным методом рассмотрено влияние увлажнения теплоизоляционного материала на его коэффициент теплопроводности. Для измерения теплопроводности использовался прибор ИТС–1, измерения проводились в соответствии с ГОСТ 7076–99. В качестве изоляционного материала была выбрана минеральная вата марки Рагос 80. В результате исследования установлено, что увлажнение теплоизоляционного материала приводит к увеличению коэффициента теплопроводности. При увлажнении материала на 15 % коэффициент теплопроводности увеличивается в 4,13 раза.

Ключевые слова: теплоизоляция, коэффициент теплопроводности, минеральная вата, увлажнение.

Протяженность тепловых сетей, в том числе и магистральных теплопроводов в развитых промышленных центрах и крупных городах РФ, как правило, составляет километры, а иногда даже десятки километров [1].

В настоящее время неоднократно отмечалось, что уровень тепловых потерь при транспортировке теплоносителя существенно превышает нормативные значения. Одним из основных факторов, приводящим

к увеличению теплопотерь, является эксплуатация теплопроводов в измененных термовлажностных условиях. В последнее время типичной становится работа тепловых сетей в условиях увлажнения изоляции [2].

Основным типом теплоизоляционных материалов до недавнего времени были изделия из минеральной ваты, обладающие рядом преимуществ.

Основным недостатком тепловой изоляции из минеральной ваты является ее гидрофильность. Проникающая в изоляцию вода при неудовлетворительном состоянии тепловой изоляции трубопроводов вызывает увеличение потерь теплоты, которые могут достигать 35–50 % в процессе эксплуатации тепловых сетей [3].

В работе [4] показано, что тепловые потери через теплоизоляцию теплопровода в условиях затопления возрастают в 3,21...3,61 раза. В другой работе [7] было изучено влияние увлажнения изоляционного материала на его теплопроводность при различных температурах. В качестве материалов рассматривалась минеральная вата с разной плотностью. Установлено, что плотность, температура и степень увлажнения материала влияют на коэффициент теплопроводности. Относительная влажность φ изоляции находилось в диапазоне от 0 до 46,6 %, температура T от 14 до 34 °С и плотность ρ от 27 до 145 кг/м³. Максимальное увеличение теплопроводности составило 446 % при $T = 34$ °С, плотности $\rho = 145$ кг/м³ и относительной влажности 15 %.

В настоящее время ряд предприятий производят волокнистые гидрофобизированные теплоизоляционные материалы (с гидрофобизированными присадками). Эти материалы обладают свойством не впитывать, а отталкивать воду. Однако поведение этих материалов в условиях эксплуатации при увлажнении мало изучено. Поэтому в данной работе планируется исследовать влияние увлажнения современного теплоизоляционного материала Paroc 80 на его коэффициент теплопроводности.

На сегодняшний день нет стандартного метода для проверки коэффициента теплопроводности увлажненных теплоизоляционных материалов. Важно отметить, что результаты зависят не только от используемого метода тестирования, но и от того, как готовятся образцы. Для определения коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов применяется ГОСТ 7076–99 [5]. Определение коэффициента теплопроводности в соответствии с данным ГОСТ осуществляется на приборе ИТС–1, который использовался в ходе данного исследования.

Принцип действия прибора основан на создании проходящего через исследуемый плоский образец стационарного теплового потока. По величине этого теплового потока, температуре противоположных граней образца и его толщине вычисляется теплопроводность образца λ :

$$\Lambda = (\delta \cdot q) / \Delta T \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}, \quad (1)$$

где δ – толщина образца, м; q – плотность теплового потока, проходящего через образец Вт/м^2 ; ΔT – разность температур между противоположными гранями образца, $^\circ\text{С}$.

Для измерений изготавливались образцы в виде прямоугольного параллелепипеда, наибольшие грани которого имеют форму квадрата с размерами 150×150 мм. Толщина образцов для данного эксперимента была 30 мм. Перед экспериментами каждый образец взвешивался на электронных весах для определения его плотности ρ . Толщина образцов измерялось цифровым штангенциркулем, мод. ШЦЦ–I–150–0,01, с погрешностью не более 0,03 мм в четырёх углах от вершины угла и посередине каждой стороны. За толщину образца принималось среднеарифметическое значение результатов всех измерений. Для выявления изменения теплозащитных свойств увлажненного гидрофобизированного волокнистого теплоизоляционного материала подготовленные образцы увлажнялись путем подачи определенного количества воды внутрь материала, аналогично работе [6].

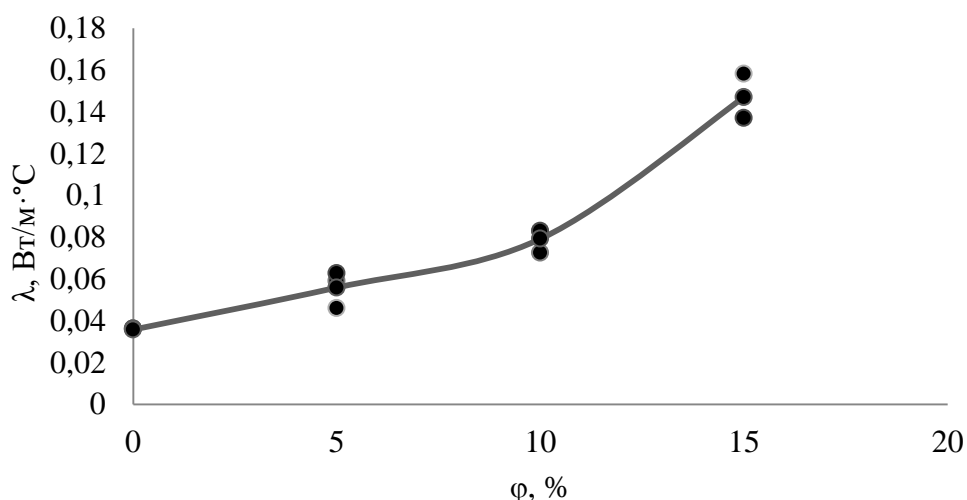
В результате проведения эксперимента были определены коэффициенты теплопроводности материала Paroc 80 с разной степенью увлажненности (см. таблицу). Технические характеристики теплоизоляционного материала Paroc 80 [8]: номинальная плотность $\rho = 80 \text{ кг/м}^3$, максимальная температура эксплуатации $T = 750 \text{ }^\circ\text{С}$, огнезащитные свойства – негорючий, коэффициент теплопроводности при $T = 25 \text{ }^\circ\text{С}$ равен $\lambda = 0,038 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$.

Образцы теплоизоляционного материала увлажнялись на 5, 10 и 15 %. Коэффициент теплопроводности образцов, при разной степени увлажненности, получены при средней температуре изоляции $T = 25 \text{ }^\circ\text{С}$. При монтаже изоляционного материала происходит его уплотнение, поэтому при проведении опытов материал зажимался до заданного значения плотности ρ^* непосредственно в приборе ИТС–1. Данные результатов эксперимента представлены в таблице и на рисунке. По рисунку видно, что с увлечением степени влажности коэффициент

теплопроводность материала увеличивается. Теплопроводность изоляции с повышением ее относительной влажности φ с 0 до 15 % повысилась в 4,13 раза. Полученные данные согласуются с результатами работы [7]. В этой работе было зафиксировано повышение теплопроводности минеральной ваты в 3,2 раз с увеличением φ от 0 до 15 %, при средней температуре изоляционного материала $T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ и плотности $\rho = 145\text{ кг/м}^3$.

Коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала Paroc 80

φ , %	T , $^{\circ}\text{C}$	ρ , кг/м^3	ρ^* , кг/м^3	$\lambda_{\text{ср}}$ $\text{Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$	$\lambda_{\text{образец1}}$ $\text{Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$	$\lambda_{\text{образец2}}$ $\text{Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$	$\lambda_{\text{образец3}}$ $\text{Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$
0	25	80	120	0,0358	0,0362	0,0355	0,0356
5	25	80	120	0,0559	0,0468	0,0591	0,0681
10	25	80	120	0,0792	0,0828	0,0730	0,0818
15	25	80	120	0,1434	0,1582	0,1371	-



Зависимость коэффициента теплопроводности материала Paroc 80 от степени влажности

С помощью прибора ИТС–1 экспериментально определены коэффициенты теплопроводности тепловой изоляции, предназначенной для изоляции теплопроводов. Измерение коэффициента теплопроводности проводилось для материала Paroc 80 при ее средней температуре $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности φ , равной 5, 10 и 15 %. В результате исследований установлено, что увлажнение теплоизоляционного материала приводит к увеличению коэффициента теплопроводности, а следовательно, и к повышению тепловых потерь в магистральных теплопроводах. При увеличении относительной влажности φ теплоизоля-

ционного материала Paroc 80 с 0 до 15 % коэффициент теплопроводности увеличивается в 4,13 раза.

Источники

1. Делюкин А.С. Концепция реконструкции системы теплоснабжения Приморского района Санкт-Петербурга // Энергосбережение. 2001. № 6. С. 26–29.
2. Шишкин А.В. Определение потерь тепла в сетях централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2003. № 9. С. 68–74.
3. Балувев Е.Д. Перспективы развития централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2001. № 11. С. 50–54.
4. Экспериментальное исследование тепловых режимов теплопроводов в условиях увлажнения изоляции / В.С. Логинов [и др.] // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 315, № 4. С. 34–37.
5. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. Технические требования. М.: Издательство стандартов, 1999. 22 с.
6. Кумаран М.К. Переход влаги через изоляцию стекловолокна в присутствии термического градиента // Журнал теплоизоляции. 1987. № 10. С. 243–255.
7. Abdou A., Budaiwi I. The variation of thermal conductivity of fibrous insulation materials under different levels of moisture content // Construction and Building Materials. 2013. Pp. 533–544.
8. Paroc Group [Электронный ресурс]. PURL: <https://www.paroc.ru>. (дата обращения: 25.12.2018).

УДК 621.3.002.3(076.5)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ю.А. Хасанова
КНИТУ-КАИ, г. Казань
79050392427@mail.ru
Науч. рук. канд. техн. наук Ю.Б. Александров

Аннотация. В работе рассматривается возможность обеспечения энергоэффективности энергетической установки, работающей с использованием

газотурбинного двигателя (ГТД), за счет улучшения показателей работы камеры сгорания (КС). Оптимизация камеры сгорания достигается за счет использования многоуровневого моделирования. Такой подход позволяет проработать все возможные конструктивные и режимные варианты работы КС и сократить трудоёмкость и время на оптимизацию.

Ключевые слова: камера сгорания, процесс горения, моделирование.

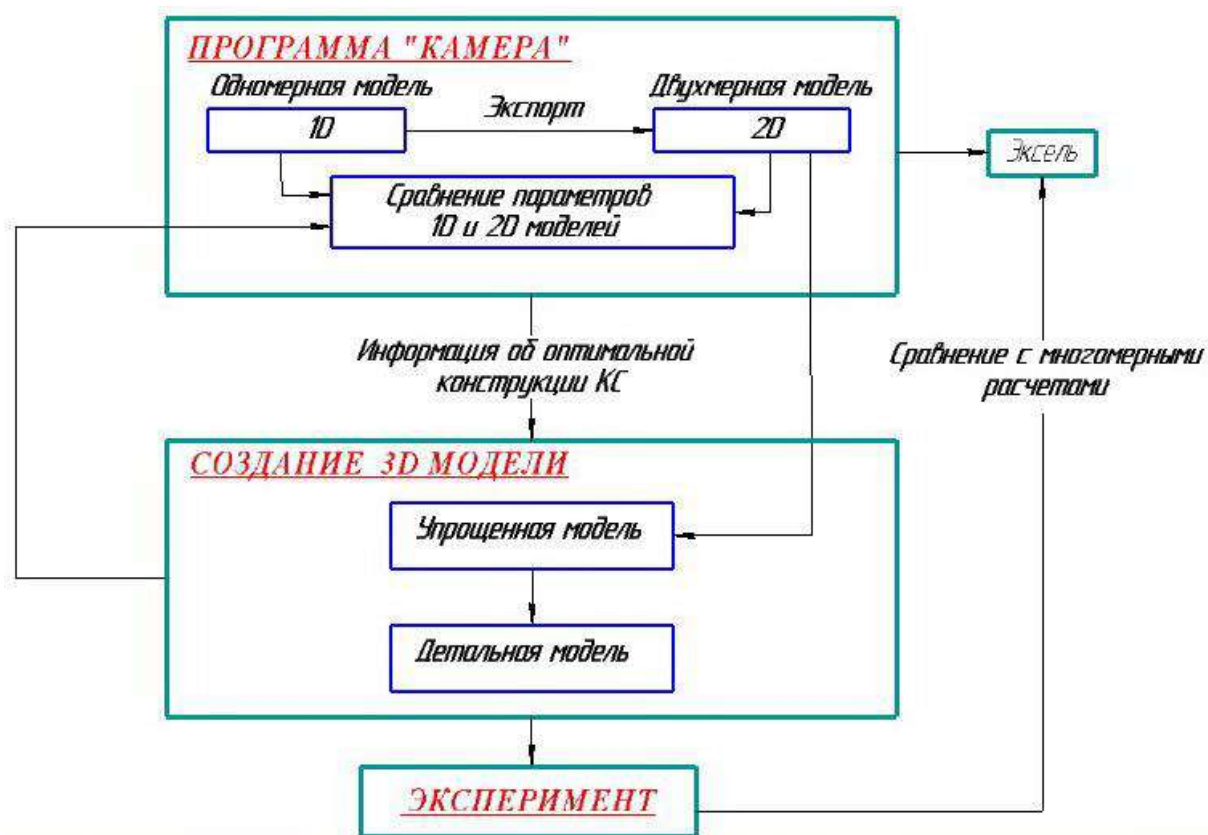
Усовершенствование энергетических установок, выполненных на базе газотурбинных двигателей (ГТД), производится за счет улучшения удельных показателей работы, с одновременным ужесточением требований по надежности и ресурсу. Одним из основных узлов двигателя является камера сгорания. Ее назначение – сжигание топлива и получение высоконагретого рабочего тела. Надежность пуска и работы камеры сгорания, ее экономичность и долговечность определяют аналогичные показатели всего двигателя и энергетической установки [1]. Для оценки совершенства камер сгорания, эффективности их рабочего процесса, а также при расчетах основных характеристик двигателя в качестве одного из показателей используют коэффициент полноты сгорания [2]. От этого параметра зависит, насколько полно используется энергия, получаемая от сжигания топлива, коэффициент полезного действия и экологические показатели установки [3]. В свою очередь, показатель полноты сгорания имеет зависимость от конструктивных решений при проектировании и доводке камеры сгорания.

При проведении научно-исследовательских работ по проектированию и доводке камер сгорания газотурбинных двигателей в настоящее время широко применяются численные методы. Основными этапами создания численной модели являются создание геометрической модели, нанесение сетки на расчетную область, выбор граничных условий, решение задачи, анализ результатов. Каждый из этапов работ занимает значительное время и требует высокую трудоемкость.

Расчетных вариантов при доводке камер сгорания анализируется довольно большое количество, и для сокращения времени и систематизации полученных результатов предлагается использование компьютерной программы [4, с. 8–11; 5], позволяющей автоматизировать и ускорить процесс оптимизации КС. В этой компьютерной программе имеется возможность проводить анализ камеры сгорания по квази-одномерной и 2D постановке и выполнять автоматизированные сопоставления с 3D расчетами. Взаимодействие модулей программы схематично представлено на рисунке.

Создание расчётной модели начинается с ввода геометрических размеров анализируемой камеры сгорания в программу «Камера», после

чего прописываются данные о расходах воздуха и топлива, давления и температуры за компрессором. Вводятся данные о количестве и типе завихрителей, варианты подвода вторичного воздуха через стенки жаровой трубы, количество отверстий и их координаты относительно продольного направления камеры сгорания. Программа автоматически показывает облик камеры сгорания и распределение параметров в продольном направлении, данные на выходе, а также цветное схематическое представление температурных полей в области жаровой трубы. При изменении параметров работы камеры сгорания программа автоматически пересчитывает все полученные данные за доли секунд.



Схематичное представление многоуровневого подхода при проектировании и доводке КС

Для получения дополнительной информации о внутрикамерных процессах производится двухмерный расчет. Программа автоматически строит сетку и производит расчеты в области камеры сгорания. По итогам расчета производится сравнение с одномерным режимом работы программы. Для расчета подобных зависимостей с использованием 3D модели требуется значительное время, а расчет по 1D модели, хоть и носит приближенный характер, но в основном показывает тенденции по

изменению основных параметров практически мгновенно. Это является весьма важным преимуществом программы при проведении расчетов, анализа и оптимизации камер сгорания.

Использование созданной программы «Камера» значительно ускоряет расчеты внутри камерных процессов, что позволяет проводить оптимизацию конструкции камеры сгорания по различным режимным и конструктивным параметрам в кратчайшие сроки и обеспечить энергоэффективность газотурбинной установки в целом.

Источники

1. Чигрин В.С., Белова С.Е. Конструкция камер сгорания газотурбинных двигателей. Рыбинск, Изд-во РГАТА, 2004. 25 с.

2. Рудаченко А.В., Чухарева Н.В. Газотурбинные установки для транспорта природного газа: учеб. пособие. 2 изд. перераб. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 217 с.

3. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД. М.: Мир, 1986. 566 с.

4. Александров Ю.Б., Мингазов Б.Г. Моделирование процессов в камерах сгорания ГТД // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2016: матер. Междунар. науч.-техн. конф. Казань, 2016. Ч. 2. С. 8–11.

5. Программа одно- и двух- мерного расчета и оптимизации камер сгорания газотурбинных двигателей (Combustion chamber 1D-2D): свид. 2016611770 о гос. рег. прогр. для ЭВМ Рос. Федерация № 2015662645; заявл. 22.12.15; опубл. 20.03.16.

Секция 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НАХОЖДЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ В ПОМЕЩЕНИИ

Н.Г. Акбердин¹, И.Э. Сафин²

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук А.Н. Богданов

Аннотация. В большинстве государственных учреждений имеется необходимость контроля перемещения учтенных материальных ценностей (мебели, оргтехники, инструментов, материалов) между помещениями и структурными подразделениями. Контроль местоположения материальных средств сейчас в основном осуществляется вручную. С целью повышения эффективности работы материально ответственных лиц разрабатывается система автоматического контроля нахождения и перемещения материальных средств. Данная система работает на основе радиочастотной идентификации.

Ключевые слова: радиочастотная идентификация, материальная ответственность, учет материальных ценностей, инвентаризация.

В большинстве современных государственных учреждений имеются материально ответственные лица. За ними закрепляется ответственность за имуществом (материальными средствами) отдельной структуры (отдела, кафедры, лаборатории) учреждения. Во время эксплуатации материальные средства (мебель, оргтехника, инструменты) иногда перемещаются между помещениями. В этом случае материально ответственные лица должны своевременно отслеживать данные перемещения.

Современная цифровизация различных процессов позволяет повысить их эффективность, облегчить работу людям, оптимизировать затрачиваемые временные и материальные ресурсы. С целью повышения эффективности мониторинга наличия материальных средств разрабатывается автоматическая система контроля на основе радиочастотной идентификации (RFID).

Радиочастотная идентификация – способ автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах, или RFID-метках. RFID-система состоит из считывателя и метки. В метку (состоит из интегральной схемы и антенны) заносится

необходимая информация. Считыватель с помощью радиосигнала определяет метки и считывает хранящуюся информацию [1]. Различают технологии на основе активной и пассивной метки.

Активная метка подразумевает, что в одном корпусе с интегральной схемой и антенной имеется источник питания (батарейка). Преимуществом такого подхода является легкость и повышенное качество считывания метки на больших расстояниях, недостатком – необходимость контроля за зарядом батареи. В отдельных случаях «большие» активные метки могут снабжать разными датчиками. Возможность непрерывного мониторинга и передачи в радиоэфир сигнала даёт возможность передавать значения температуры, влажности, сообщать о толчках и ударах, уровне вибрации, показывать уровень освещённости, загазованности (в том числе качественно, например только по углекислоте), радиации. Такие метки активно применяются на различных производствах за границей [2].

Пассивная метка не имеет встроенного источника питания, но при этом значительно сокращается расстояние (для активной метки – около 200 м, для пассивной – до 5 м) и качество считывания, увеличиваются габариты считывателя. Подобные системы используются в магазинах (к вещи прикрепляется пассивная RFID-метка, а на выходе устанавливается RFID-считыватель), на автостоянках (на машину крепится метка, а к системе управления шлагбаумом добавляется считыватель) и др. [3].

В связи с дешевизной и простотой обслуживания для реализации проекта было решено использовать технологию пассивной метки. Это накладывает свои ограничения по дальности и количеству информации в метке, но в данном случае выше обозначенные преимущества более весомы. Разрабатываемая система состоит из программной и аппаратной составляющих.

Программная составляющая (сервер):

- база данных, содержащая информацию о материальных средствах (инвентарные номера, номер помещения, дата принятия к учету, МОЛ, балансовая стоимость и др.);
- управляющая подпрограмма, обрабатывающая информацию, получаемую от считывателей;
- оболочка, отображающая перемещения материальных средств между помещениями.

Аппаратная составляющая:

- RFID-считыватели устанавливаются на входе в помещение (фиксируют внос и вынос метки и передают информацию на сервер);
- RFID-метки закрепляются на материальном объекте и содержат информацию об инвентарном номере.

Существует большой выбор RFID-меток на различные частоты и формы (рис. 1).



Рис. 1. RFID-метки

Для проекта была выбрана RFID-метка в виде наклейки. Примеры подобных меток приведены на рис. 2.



Рис. 2. RFID-метки в формате наклеек

При выносе материального средства из помещения, во время перемещения метки через дверной проем мимо считывателя информация об этом с указанием закрепленного инвентарного номера поступает на сервер. Управляющая программа обновляет информацию в базе данных и

выдает соответствующее сообщение на экран. Также фиксируются внос материальных средств в помещение.

В результате материально ответственные и другие контролирующие лица смогут оперативно отслеживать местоположение материальных средств в здании. Также данная разработка сократит время и сделает процесс инвентаризации более легким.

Источники

1. Григорьев П.В. Особенности технологии RFID и ее применение // Молодой ученый. 2016. № 11. С. 317–322.
2. Власов М. RFID: 1 технология – 1000 решений: практические примеры использования RFID в различных областях. М.: Альпина Паблишер, 2014. 216 с.
3. Финкенцеллер К. RFID-технологии: справ. пособие / пер. с нем. Н.М. Сойунханова. М.: Додэка-XXI, 2010. 496 с.

УДК 62-50

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ МНОГОКОНТУРНОГО ЦИФРОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

А.М. Габдулиманова¹, А.З. Халилов²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Науч. рук. д-р техн. наук В.Н. Шарифуллин

Аннотация. В данной работе рассматривается проблема автоматизации систем управления технологическими процессами. Разрабатываются алгоритм и программы многоконтурного цифрового регулирования автоматизированных систем управления технологическим процессом. Рассмотрены три типа многоконтурных систем регулирования: комбинированные, каскадные и многоконтурные системы связанного регулирования. Результаты работы могут быть использованы при разработке промышленных систем цифрового регулирования.

Ключевые слова: автоматизация, система регулирования, цифровое, многоконтурное, одноконтурное моделирование, рекуррентная форма.

Автоматизация производства – одно из важнейших направлений научно-технического прогресса, развитие которого имеет объективный характер. Это связано, прежде всего, с тем, что благодаря автоматизации решаются задачи повышения продуктивности производства и улучшения

условий труда. Автоматизированные системы управления технологическим процессом обеспечивают стабильный ход и не дают его важным показателям отойти от нормальных значений. Однако основная составляющая технического эффекта от внедрения полномасштабной автоматизированной системы управления технологическим процессом должна быть связана, в первую очередь, с повышением качества автоматического управления технологическим оборудованием [2].

Эффективность полномасштабных автоматизированных систем управления технологическим процессом существенно зависит от качества реализации важнейшей из управляющих функций автоматического регулирования. Одним из путей повышения качества автоматического регулирования служит совершенствование процедур параметрического синтеза автоматизированной системы регулирования [5].

В качестве регуляторов в подавляющем большинстве систем управления в нефтехимии, нефтепереработке, энергетике, металлургии и других отраслях промышленности России и зарубежных стран в основном используются так называемые типовые промышленные регуляторы с пропорциональным, пропорционально-интегральным и пропорционально-интегрально-дифференциальным законами регулирования [4].

Значительная часть существующих в настоящее время автоматизированных систем управления технологическим процессом является одноконтурной, но наряду с одноконтурными широкое распространение получили многоконтурные системы регулирования. Они используются для управления сложными объектами. Эти объекты в общем случае имеют несколько взаимосвязанных между собой регулируемых величин, которые управляются одним или несколькими исполнительными механизмами. В автоматизированных системах управления технологическим процессом целесообразно заменить совокупность регуляторов и компенсаторов единой управляющей программой регуляторного блока. В данной работе разрабатываются алгоритмы и программы многоконтурного регулирования.

В работе рассмотрены 3 типа многоконтурных систем регулирования: комбинированные, каскадные и многоконтурные системы связанного регулирования. В качестве комбинированной системы рассмотрена система регулирования содержания кислорода в дымовых газах с компенсацией возмущений расхода топлива расходом воздуха в заданном соотношении. В качестве примера каскадной системы рассмотрена система регулирования температуры в кубе ректификационной колонны, обогреваемого паровым кипятильником.

Внутренним стабилизационным контуром является система регулирования расхода водяного пара в кипятильнике, а внешним корректирующим является система регулирования температуры в кубе. Показано, что за счет введения стабилизирующего контура время переходного процесса и динамическая ошибка снижаются в 2–3 раза. Примером связанной системы регулирования служила система регулирования парового котла, в которой предусмотрено 2 регулирующих контура: регулирование давления пара по расходу топлива и регулирование содержания кислорода в дымовых газах по расходу воздуха. Введение динамических компенсаторов позволяет сделать процесс регулирования устойчивым.

Для моделирования и управления с использованием ЭВМ необходимо применять специальные цифровые методы, основанные на дискретном представлении непрерывных функций и рекуррентных соотношениях, позволяющих производить вычисление управляющих воздействий в реальном масштабе времени [1]. Особенностью разрабатываемых алгоритмов и программ является рекуррентная форма функций регуляторов и компенсаторов. Это обеспечивает простоту и точность расчетов в сравнении с алгоритмами, используемыми в некоторых Scada-программах. Рекуррентные соотношения позволяют упрощать вычисления последовательности значений, где каждое новое текущее значение функции вычисляется на базе текущего и предыдущего значений аргументов и предыдущих значений функции.

В качестве модели объекта возьмём апериодический объект второго порядка, описываемый непрерывной моделью [4]. Данная модель представлена формулой:

$$T_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = K_x x, \quad (1)$$

где k_x – коэффициент усиления по каналу x , T_1 и T_2 – постоянные времени.

Процедура дискретизации модели (1) приводит к уравнению линейной регрессии:

$$y_k = a_1 y_{k-1} + a_2 y_{k-2} + b_1 x_{k-1}, \quad (2)$$

где

$$a_1 = \frac{2T_1 - T_2 \Delta t}{T_1}, \quad a_2 = \frac{(T_2 - \Delta t) \Delta t - T_1}{T_1}, \quad b_1 = \frac{k_x \Delta t^2}{T_1}. \quad (3)$$

Формулы (3) – параметры дискретной модели, подлежащие оцениванию; Δt – период квантования.

Переход от этапа построения модели к последующему ее использованию требует оценку качества полученной модели, т.е. проверку адекватности модели объекту. Вследствие того, что абсолютная эквивалентность модели объекту принципиально недостижима, то основным условием подтверждения адекватности модели является возможность использования полученной модели для решения той задачи, ради которой эта модель строилась. Поэтому адекватность предполагает воспроизведение моделью с необходимой полнотой всех свойств объекта.

Работоспособность разработанных алгоритмов и программ проверена путем математического моделирования систем многоконтурного регулирования. При этом в качестве математической модели объекта использовалась его дискретная модель. Принималось, что исходными данными являются массивы значений входных и выходных сигналов, полученные в дискретные моменты времени с определенным периодом квантования [3].

Результаты этой работы могут быть использованы при разработке промышленных систем цифрового многоконтурного регулирования.

Источники

1. Глушков В.М., Амосов Н.М., Артеменко И.А. Энциклопедия кибернетики. Киев: Глав. ред. укр. совет. энцикл., 1974. Т. 2. 624 с.

2. Ливенцов С.Н., Ливенцова Н.В. Цифровые системы управления. Томск, 2009. 45 с.

3. Певзнер Л.Д. Практикум по математическим основам теории систем. СПб.: Лань, 2013. 400 с.

4. Прусенко В.С. Одноконтурные пневматические системы автоматического регулирования тепловых процессов. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963. 146 с.

5. Прусенко В.С. Многоконтурные пневматические системы автоматического регулирования тепловых процессов. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963, 130 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ УСТАНОВОК ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РЫБ

Е.И. Герасимов¹, Р.А. Магадеев²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Науч. рук. канд. техн. наук М.А. Сафин

Аннотация. В работе описана автоматизированная система управления технологическим процессом установок замкнутого водоснабжения для круглогодичного выращивания рыб в закрытых аквакультурных фермах, а также даны принцип работы и технологический процесс для поддержания стабильных условий роста рыбы.

Ключевые слова: автоматизация, рыбоводство, установка замкнутого водоснабжения, аэрация, гидробионт, рециркуляционный цикл.

Сегодня большинство предпринимателей пересмотрели свое отношение к сельскому хозяйству, и благодаря этому его самые различные отрасли стали стремительно развиваться. Одним из направлений, которое в последнее время стало расти довольно активно, является рыбоводство. К сожалению, суровый климат нашей страны часто был препятствием для быстрого роста и разведения рыбы традиционным способом в некоторых регионах России. Но сейчас существуют технологии, позволяющие минимизировать воздействие окружающей среды на рост рыбы.

Одной из наиболее перспективных технологий выращивания рыбы является – установка замкнутого водоснабжения (УЗВ). Данные установки зародились в США в середине 20 века. Их использование было обосновано американской национальной программой восстановления численности естественных популяций форели в северо-западных штатах США. Технологические возможности УЗВ позволяют выращивать рыбу круглогодично, избегая при этом массовой гибели мальков или взрослых особей.

Разведение рыбы в установках замкнутого водоснабжения сложный процесс. Рыбу поселяют в специальный бассейн, в котором установлены различные приборы для поддержания оптимального уровня всех важных для жизнедеятельности рыб компонентов. Чтобы рыба не болела, и ее жизненный цикл не нарушался, вода постоянно проходит фильтрацию, а обогащение кислородом помогает рыбам меньше тратить энергии на процесс дыхания, и, следовательно, она быстрее растет. Кислород (O₂) поступает через жабры и необходим для производства энергии и

расщепления белков, тогда как углекислый газ (CO_2) и аммиак (NH_3) производятся как отходы и непереваренным кормом выделяются в воду в форме экскрементов, называемых также взвешенными веществами (ВВ). Углекислый газ и аммиак выделяются в воду через жабры. В итоге рыбы потребляют кислород и корм, в результате чего вода в системе загрязняется экскрементами, углекислым газом и аммиаком. Чтобы удалять отходы, выделяемые рыбами, и добавлять кислород для поддержания жизни и здоровья рыб, воду в УЗВ необходимо постоянно очищать. Поэтому от водостока рыбоводных бассейнов вода поступает в механический фильтр, оттуда в биологический фильтр, затем она аэрируется, из нее удаляется углекислый газ, после чего она снова подается в рыбоводные бассейны. Это основной принцип рециркуляции. Такие условия имитируют естественные, сохраняя здоровье рыб и не сказываясь негативно на их размножении. Для конкретного вида рыбы должен поддерживаться определенный температурный режим. Такие манипуляции стимулируют рыбу потреблять больше корма, а это, в свою очередь, положительно влияет на скорость роста мальков.

Все эти компоненты крайне важны для нормальной работы установки, потому что правильно подобранное, бесперебойно функционирующее оборудование – это залог успешной работы всей системы.

Кроме того, к такому виду установок предъявляются требования эффективного использования водных ресурсов – минимальная подпитка, использование оборотной воды, где можно и внедрить автоматическую систему регулирования технологическим процессом. Надеюсь на круглогодичное выращивание гидробионтов в закрытых аквакультурных фермах, режим зимовки исключается. Чем качественней технология, тем лучше среда обитания, и, как следствие, выше темпы роста рыбы. Для этого потребуется шкаф программно-технического комплекса (ПТК) с контроллером фирмы OWEN и контрольно-измерительные приборы (КИП). Кроме того, качественно очищенная вода позволяет повысить плотность посадки рыбы и более эффективно использовать производственные площади. Контроль работы технологического процесса осуществляется системой мониторинга, которая должна включать в себя датчики кислорода, уровня, расхода, давления, температуры и анализа среды. Кормление рыб обязательно должно быть автоматизировано. В бункер кормушек засыпается комбикорм, устанавливается таймер и задаётся порция кормления, после чего кормушка сама выбрасывает корм в заданное время, чтобы рыба получала все полезные вещества вовремя, контролируя содержание ВВ на минимуме.

Для циркуляции производственной воды используются различные типы насосов. Перекачивание воды требует электричества, и для сведения эксплуатационных расходов к минимуму важно, чтобы высота подачи воды была малой, а насосы – эффективными и правильно установленными. По возможности, подъем воды должен происходить только один раз за рециркуляционный цикл, после чего вода течет самотеком через всю систему обратно в приёмник насоса.

Для качественной работы установки замкнутого водоснабжения, следует придерживаться следующих принципов работы:

- предпочтительно, чтобы управление параметрами воды осуществляли на основе информации, поступающей от датчиков уровня, прозрачности воды, содержания кислорода и углекислого газа в воде, pH и температуры воды;

- предпочтительно, чтобы воду облучали ультрафиолетом с интенсивностью облучения от 40 до 90 мДж/см² в спектре диапазона длин ультрафиолетовых волн от 205 до 315 нм;

- предпочтительно, чтобы корректировку pH воды производили добавлением в воду щелочи;

- предпочтительно, чтобы повышение концентрации кислорода в воде производили путем аэрации воды воздухом;

- предпочтительно, чтобы понижение концентрации углекислого газа в воде производили путем аэрации воды воздухом;

- предпочтительно, чтобы подогрев воды производили посредством бойлерного нагревателя.

Автоматика позволит рыбоведам полностью контролировать все производственные параметры и упростить навыки рыбоведа в управлении УЗВ. Результатом длительных стабильных условий становится постоянный и предсказуемый рост, экономия энергетических ресурсов, повышение производственного труда, расширение управляющих и информационных возможностей системы, позволит рыбоводу точно прогнозировать, когда рыба достигнет определённого этапа развития или размера, сократив расходы на ее содержание и визуализируя технологический процесс. Возможность составления точного производственного плана и прогнозирование точного времени, когда рыба будет готова к дальнейшей ее реализации, что оказывает благоприятное влияние на общее управление хозяйством.

Источники

1. Гильфанов К.Х., Арапов В.А. Проектирование автоматизированных систем. 2006. 290 с.

2. Ключев А.А., Ключев А.С., Глазов Б.В. Проектирование систем автоматизации и технологических процессов. 1990. 498 с.

3. Матишов Г.Г., Пономарев Е.Н., Балыкин П.А. Выращивание осетровых рыб в условиях замкнутого водоснабжения. Р. н/Д.: Южный научный центр РАН, 2008. 10 с.

4. Модель УЗВ: руководство по проектированию [Электронный ресурс]. URL: <http://aquavitro.org/2016/07/09/model-uzv-rukovodstvo-po-proektirovaniyu-i-upravleniyu/> (дата обращения: 07.02.2019).

УДК 681.5:66

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

И.Р. Гимазетдинов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Науч. рук. канд. техн. наук Н.В. Богданова

Аннотация. В данной статье рассматриваются развитие автоматизации технологических процессов в нефтехимической отрасли и ее перспективы в будущем. Нефтехимическая отрасль является одной из важнейших отраслей промышленности в Российской Федерации. Вопрос автоматизации технологических процессов является важной и неотъемлемой частью данной промышленной отрасли.

Ключевые слова: автоматизация технологического процесса, автоматизированная система управления, нефтехимическая отрасль, автоматизация процесса гидрирования.

Нефтехимическая отрасль является одной из важнейших отраслей промышленности в Российской Федерации. Практически каждый предмет, находящийся около нас, произведен именно благодаря этой индустрии.

Огромное влияние на стоимость конечного продукта оказывает эффективность процесса переработки нефтехимического сырья. Основными продуктами производства нефтехимической отрасли являются такие углеводороды как этилен, пропилен и их производные. Оборудование, которое производится для нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, чаще всего комплексное. Основным оборудованием являются сосуды, которые работают под давлением или без него. Зачастую это герметические полусферические емкости, изготовленные из нержавеющей или углеродистой стали. Они предназначены для хранения, транспортировки нефтепродуктов, а также для проведения в них химических и тепловых процессов переработки [1, с. 63].

Те из них, которые работают под давлением, относятся к разряду опасного оборудования. Поэтому их производство и монтаж всегда контролируется с целью соблюдения жестких технологических требований. К сосудам, которые работают не под давлением, относятся реторты, цистерны, колбы, емкости под налив и им подобные [1, с. 74].

Для улучшения качества протекания технологического процесса, а следовательно, повышения качества конечного продукта, необходимо автоматизировать технологический процесс производства этилена на всех его этапах. Таким образом, автоматизация технологических процессов в нефтехимической отрасли является весьма актуальной.

В настоящее время благодаря высокому уровню развития информационных технологий и возможностей вычислительных машин процессу автоматизации можно уделить особое внимание, применяя современные технологические методы проектирования, контроля и оценки эффективности автоматизируемых процессов.

В результате проведения производственных процессов в нефтехимической промышленности получают широкий спектр продуктов путем перегонки и разделения исходного сырья. Состав получаемых продуктов очень сложный [2, с. 108].

Большинство технологических процессов нефте- и газопереработки направлено на разделение сырья. Промежуточные продукты нефтехимии становятся сырьем для последующей перегонки и очистки. Сегодня наиболее распространенным является крекинг, а также комбинирование различных технологий переработки.

В качестве сырья для нефтехимической промышленности используются продукты, полученные в результате переработки нефти.

Специалистами применяются условное подразделение нефтехимической промышленности и ее сырьевой базы. Выделяют углеводородное сырье, базовые продукты, нефтехимикаты, конечные продукты.

Большая часть сырья, которое используется в нефтехимической промышленности, является взаимозаменяемой. Это обеспечивает возможность получения разных продуктов и полупродуктов.

Взаимозаменяемость наименований сырья и разнообразие технологических методов для получения в конечном результате продуктов и полупродуктов нефтехимической промышленности дают возможность выбрать наиболее оптимальный процесс производства и приспособиться к конъюнктуре рынка [2, с. 74].

В передовых в технологическом отношении странах глубина переработки нефти достигает 90 %, в России – 70 % [3, с. 120].

К сожалению, до сих пор основную ответственность за проведение сложнейших производственных процессов в нефтехимии несет человек – оператор. На сегодняшний день не во всех нефтеперерабатывающих комплексах используются автоматизированные системы управления в полной мере. Внедрение АСУТП позволяет освободить оператора от выполнения функций слежения за ходом технологического процесса.

Для получения представления о тех функциях, которые должен выполнять оператор, рассмотрим только несколько стадий обработки и разделения нефти.

Полученная на установке газоразделения этан-этиленовая фракция предварительно подвергается процессу нагрева в тепловом теплообменнике, затем уже с прогидрированной этан-этиленовой фракцией в теплообменнике обратных потоков, только после этого смешивается с водородсодержащими газами и подается в изотермические или адиабатические реакторы селективного гидрирования.

Реактор гидрирования состоит из нескольких слоев, количество которых зависит от объема ацетилена, образованного во время пиролиза. Перед каждым слоем в теплообменниках регулируется температура фракции, после чего происходит смешивание с водородом и обратная подача в реакторные слои. Затем после последнего слоя прогидрированная фракция охлаждается в теплообменнике обратных потоков, проходит процесс осушки и подается в колонну для отмывки от «зеленого масла», где и отслаивается от этан-этиленовой фракции [4, с. 130].

В процессе гидрирования оператору приходится поэтапно вручную менять режимы работы установки путем регулирования температуры и уровня подачи водорода. Эти операции необходимо выполнять вовремя, так как катализатор начинает терять свои свойства из-за того, что его поверхность покрывается коксом, тем самым снижая его селективность и активность. Имеется очень высокая вероятность ошибки при неправильных действиях оператора, что очень часто приводит к срыву реакции, потерям производительности и возникновению чрезвычайных ситуаций или к взрыву установок [3].

Техногенные катастрофы зачастую возникают при неправильном управлении химическими реакциями на катализаторных системах. В процессе управления оператор не в состоянии полностью обрабатывать весь поток информации, анализировать показатели датчиков и приборов, что может привести к потерям сырья и снижению производительности энергетических установок и повысить технологические затраты.

Для решения всех задач, возникающих в ходе выполнения технологического процесса производства нефтепродуктов, необходимо внедрение современной АСУТП.

На данный момент существует 2 типа элементарных систем управления. Первый тип управления – это дозированное управление гидрирующего газа по нагрузке. Второй тип управления – это дозированное управление гидрирующего газа по концентрациям гидрируемой молекулы ацетилена на выходе из реактора [4, с. 138].

Данные системы управления используют жесткую логику без учета концентраций химических элементов на входе в реактор. Существующие системы управления не имеют возможности управления температурой и кинетикой химического процесса, а также энергией активации химических реакций.

Для комплексного решения подобных проблем требуется внедрение интеллектуальной системы автоматизированного управления, способной обрабатывать и анализировать поток информации и осуществлять полноценные воздействия.

Нефтехимическая промышленность имеет большой потенциал развития. В первую очередь, это связано с тем, что общая стоимость сырья для промышленности в несколько раз ниже, чем в европейских странах.

Главная проблема заключается в том, что объем добычи сырья постепенно увеличивается, а мощность его переработки не изменяется уже на протяжении нескольких десятилетий.

Не менее значимой проблемой является также и то, что на местах перерабатывается лишь небольшая часть сырья. В связи с этим большие объемы добываемого на территории нашей страны сырья для нефтехимической промышленности отправляется на экспорт [5, с. 148].

Немаловажно значение имеет экология промышленности. Ее обеспечение позволяет сохранить природную среду для наших потомков.

Эти проблемы не являются неразрешимыми или чрезвычайно сложными. Можно выделить несколько возможных вариантов их решения путем развития систем автоматизации на предприятиях нефтехимической отрасли.

Для достаточно простых процессов переработки технологического сырья рекомендуется использовать комплексную систему с возможностью автоматизированного контроля входных и выходных технических параметров, объединенных в системе SCADA [5, с. 207].

В сложных процессах переработки будет весьма полезным применение дополнительной подсистемы имитационного моделирования и подсистемы для оценки степени межуровневого взаимодействия информационных потоков предприятия.

Можно внедрить систему, основанную на возможности прогнозирования последствий действий оператора. В основу такой

системы автоматического управления могут быть заложены как математические, так и экспериментальные зависимости, которые описывают динамику технологического оборудования, взаимосвязь между входными и выходными технологическими параметрами с учетом фактора времени и вероятности наступления событий. Главным достоинством такой системы управления является разделение виртуального и реального времени, в результате которого автоматизированная система может «заглянуть» за пределы реально происходящих событий и виртуально оценить последствия действий оператора или самой системы управления.

АСУТП для нефтехимической промышленности позволяет стабилизировать процесс производства за счет контроля всех параметров оборудования. Производственная информация в полном виде визуализируется и имеет легкий в освоении интерфейс, с помощью которого оператор может задавать команды исполнительным механизмам. Сама система работает в автоматическом режиме.

К основным функциям автоматизации в нефтепромышленности относятся:

- 1) управление оборудованием посредством программной логики;
- 2) автоматическая оптимизация режима работы НПЗ и НХЗ;
- 3) отслеживание времени работы, расхода сырья и энергетических ресурсов;
- 4) долгосрочное хранение полученной информации в базе данных;
- 5) формирование отчетов и прочих документов в установленной форме;
- 6) оперативная диагностика оборудования.

При разработке АСУТП специалисты предусматривают возможность отслеживания и локализации аварийных ситуаций на ключевых узлах производства. Для этого в систему встраиваются автоматические датчики, подключаемые к оборудованию. АСУ может изменять значения параметров или переключать узлы как самостоятельно, так и по команде оператора.

Источники

1. Аспекты аппаратного оформления энерго- и ресурсосберегающих процессов / И.Е. Шабанов [и др.] // Вестник ВГТА. 2005. № 10. С. 73–81.
2. Очистка дымовых газов от комплекса загрязняющих веществ / С.Ю. Панов // Высокие технологии, образование, промышленность. сб. ст. XI Междунар. науч.-практ. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности» / под ред. А.П. Кудинова. СПб., 2011. Т. 3. С. 193–194.

3. Курнасов Е.В. Алгоритмы анализа и контроля эффективности автоматизированных технологических процессов // Автоматизация и современные технологии. 2014. С. 17–33.

4. Панов С.Ю., Шульц Р. Перспективы и проблемы высокотемпературной очистки газов фильтрованием // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2011. № 12. С. 16–18.

5. Холопов В.А., Ладынин А.И. Анализ структур АСУТП по отношению к типам производства // Промышленные АСУ и контроллеры. 2015. С. 17–25.

УДК 658.012

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.И. Григорьева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Науч. рук. д-р техн. наук К.Х. Гильфанов

Аннотация. Статья актуализирует необходимость использования автоматизированных систем управления, в частности интегрированных систем безопасности, на промышленных предприятиях и в малых компаниях.

Ключевые слова: интегрированные системы безопасности, охранная сигнализация, пожарная сигнализация, контроль и управление доступом.

Интегрированные системы безопасности представляют собой комплекс технических средств, которые предназначены для управления устройствами пожарной, охранной сигнализации или же оповещения, а также противопожарным автоматическим оборудованием, доступом и телевизионным наблюдением. Они отличаются информационной, технической, эксплуатационной и программной совместимостью. Это позволяет рассматривать данную совокупность как единый автоматизированный комплекс.

Малые предприятия, не связанные с техногенными рисками, не имеющие в своей структуре распределенные объекты и сложные интеллектуальные системы управления, часто используют интегрированные системы безопасности.

Базовый набор подсистем, входящих в интегрированную систему безопасности, можно представить следующим образом:

– система охранной сигнализации (видеонаблюдение, контроль проникновения, оповещатели вскрытия и др.);

- система пожарной сигнализации (автоматические системы пожаротушения, противодымная защита, оповещатели и др.);
- система контроля и управления доступом (пропускные системы).

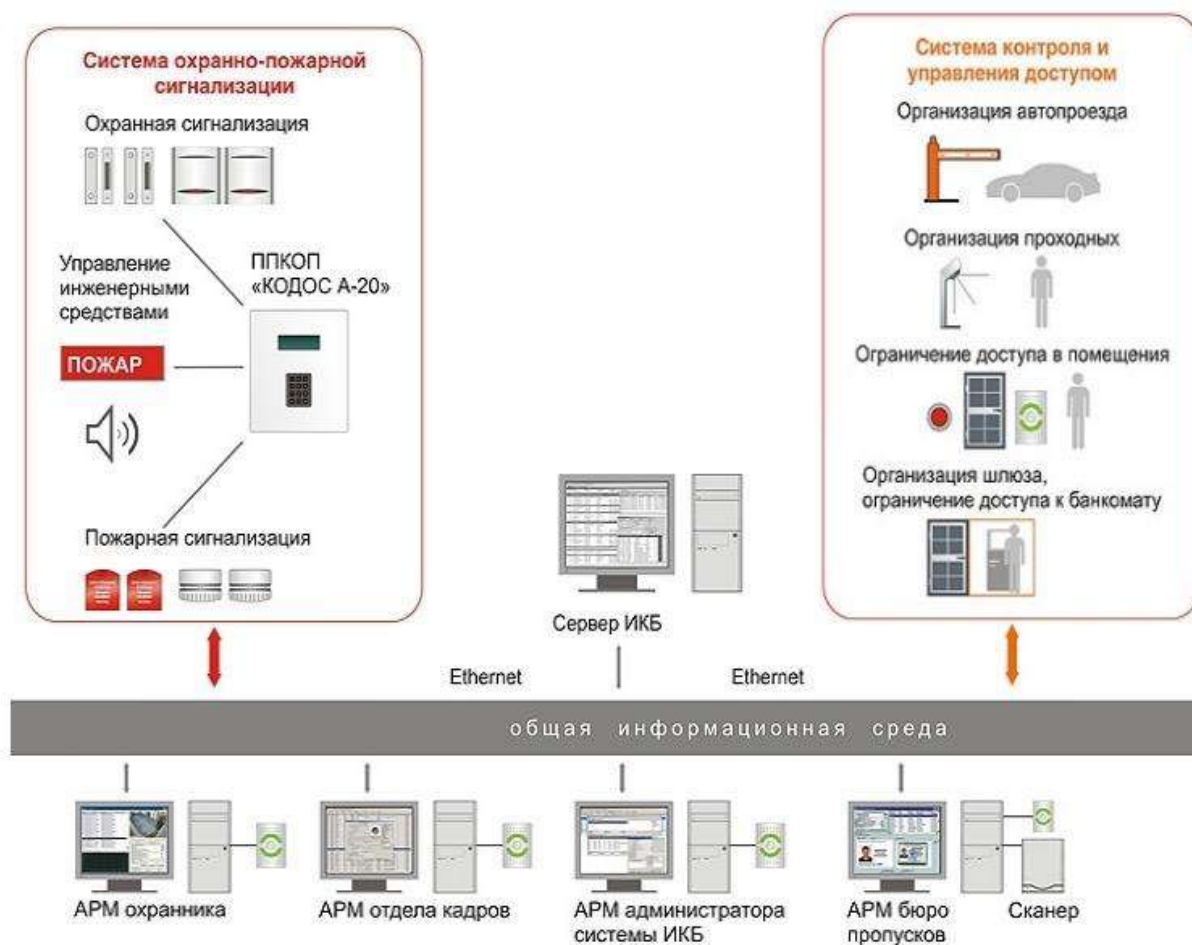


Рис. 1. Структура интегрированной системы ОПС иСКУД

Эти системы основаны на иерархической сетевой структуре, имеющей несколько уровней, и представлены на рис. 1.

Проектирование таких систем в настоящее время регулируется международными стандартами ISO и российскими ГОСТ, а также множеством рекомендаций и пособий по построению автоматизированных систем.

Обеспечить высокий уровень безопасности на промышленных объектах нам позволяют специальные электронные системы. К ним относится охранная и пожарная сигнализация. Чтобы не устанавливать две независимые сигнализации, что потребует больших финансовых затрат, была разработана интегрированная система охранно-пожарной сигнализации (ОПС).

На нижнем уровне декомпозиции взаимодействие одной из подсистем (например, видеонаблюдения) с системой диспетчеризации событий представлено на рис. 2.

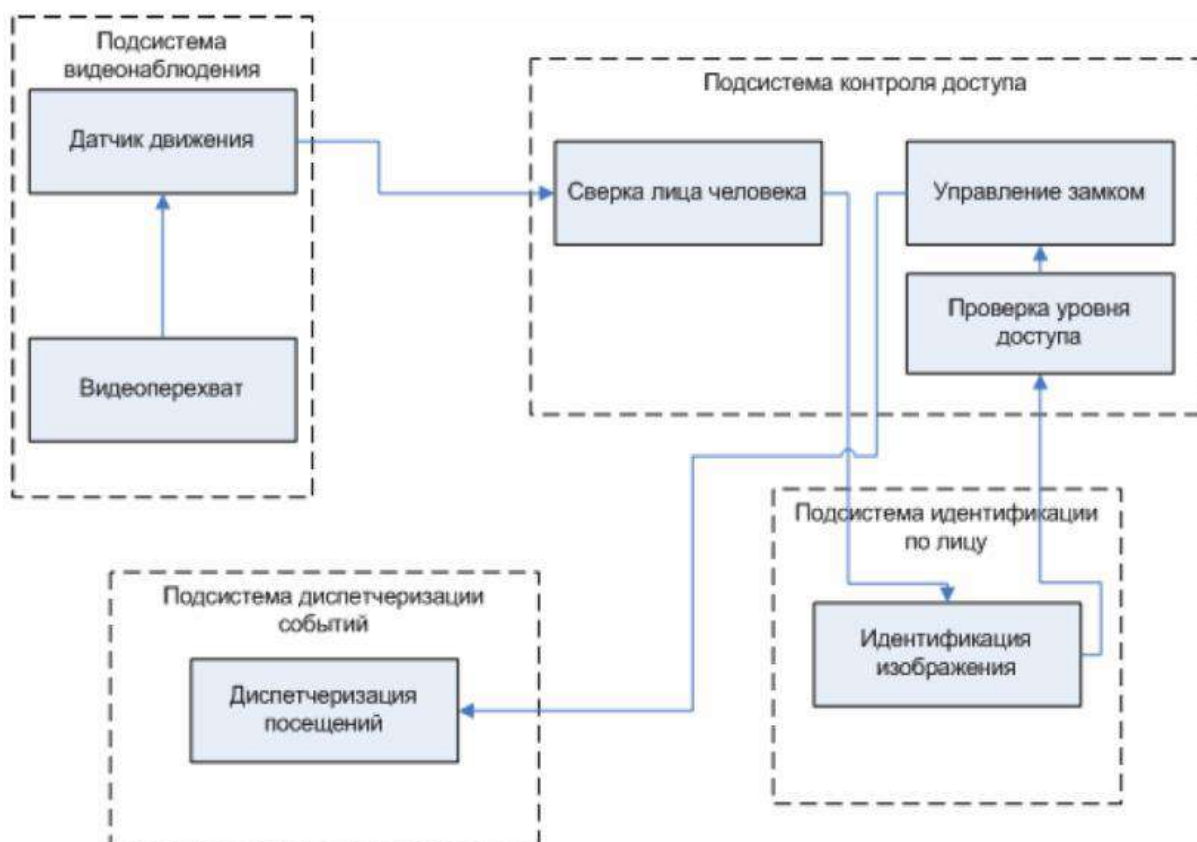


Рис. 2. Пример взаимодействия элементов системы на нижнем уровне

Для получения информации о тревожной ситуации на объекте в состав ОПС входят извещатели, отличающиеся друг от друга типом контролируемого физического параметра, принципом действия чувствительного элемента, способом передачи информации на центральный пульт управления сигнализацией.

По принципу формирования информационного сигнала о проникновении на объект или пожаре извещатели можно разделить следующим образом:

- активные извещатели ОПС (генерируют в охраняемой зоне сигнал и реагируют на изменение его параметров);
- пассивные извещатели ОПС (реагируют на изменение параметров окружающей среды, вызванное вторжением нарушителя или возгоранием).

Также в зависимости от способов выявления тревог и формирования сигналов извещатели и системы охранно-пожарной сигнализации делятся на:

– неадресные системы (извещатели имеют фиксированный порог чувствительности, при этом группа извещателей включается в общий шлейф охранно-пожарной сигнализации, в котором в случае срабатывания одного из приборов ОПС формируется обобщенный сигнал тревоги);

– адресные системы (отличаются наличием в извещении информации об адресе прибора ОПС, что позволяет определить зону пожара с точностью до места расположения извещателя);

– адресно-аналоговая система (применяются «интеллектуальные» извещатели ОПС, в которых текущие значения контролируемого параметра вместе с адресом передаются прибором по шлейфу охранно-пожарной сигнализации).

Среди основных сложностей применения систем следует отметить следующие:

– обеспечение правильного взаимодействия устройств, объединенных в интегрированную систему безопасности;

– совместимость устройств.

Среди принципов проектирования выделяют:

– проектный уровень (объединение оборудования различного производства в интегрированную систему);

– программный уровень (интеграция программных продуктов различных производителей, формирование платформы управления);

– аппаратно-программный уровень (объединение оборудования и программ на основе платформы общего назначения);

– аппаратный уровень (объединение оборудования и программ без использования платформы общего назначения, использование специализированных автоматических контроллеров и локальных вычислительных систем).

Стоит отметить, что в настоящее время большинство АСУ ТП разработано на базе операционных систем Windows и Linux. Среди основных производителей оборудования выделяют компании Siemens и Yokogawa. Главным программным продуктом в России по-прежнему остаются SCADA-системы.

При использовании интегрированных систем они будут иметь единый аппаратно-программный модуль, который будет осуществлять управление разными системами (пожарной, охранной, контроля доступа и другими).

К примеру, интеграция охранно-пожарной сигнализации обеспечивает своевременную реакцию на аварийную ситуацию с использованием компонентов каждой из систем. Так, в ответ на сообщение

о пожаре, которое генерирует охранно-пожарная сигнализация, в тревожной зоне выполняются следующие действия:

- отключение вентиляции;
- включение системы дымоудаления и автоматического тушения;
- отключение электроснабжения (за исключением спецоборудования);
- вывод из тревожной зоны лифтов;
- включение аварийного освещения и световой индикации путей и выходов для эвакуации людей;
- разблокировка аварийных выходов на путях эвакуации;
- включение системы оповещения с информацией для тревожной зоны.

Пренебрежение использования таких систем наблюдалось при пожаре в торговом центре «Зимняя вишня», произошедшем в 2018 г.

Если бы можно было представить, что доступ в помещения был автоматизирован использованием охранной системы и контролем доступа, а эти системы были бы объединены наряду с пожарной в интегрированную систему безопасности, то ход событий мог быть другим:

- автоматизированная система не позволила бы отключить пожарную сигнализацию лицу, не допущенному к выполнению таких действий (охраннику);
- пожарная сигнализация автоматически бы сработала на сигнал о пожаре и задымлении, отключила общее электроснабжение (включение аварийного освещения), вентиляцию (снижение быстрого распространения возгорания), включила системы автоматического дымоудаления и тушения (локализация очага);
- охранная сигнализация и система контроля доступа разблокировали бы электромагнитные и другие системы выхода из помещений и опасной зоны для людей.

Таким образом, использование интегрированной системы позволяет не только оптимизировать системы безопасности для объектов и предприятий, но и сберечь жизни людей.

Следует также понимать, что автоматизация процессов позволяет компаниям сосредоточиться на выполнении своих прямых функций, призвана помочь им.

Интегрированные системы безопасности, в свою очередь, позволяют обеспечить экономию финансовых средств, снизить издержки, оптимизировать поддерживающие системы, как для малых компаний, так и для крупных предприятий.

Источники

1. ГОСТ Р 56875-2016. Информационные технологии (ИТ). Системы безопасности комплексные и интегрированные. Типовые требования к архитектуре и технологиям интеллектуальных систем мониторинга для обеспечения безопасности предприятий и территорий. М.: Стандартиформ, 2016. 39 с.

2. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов. 4-е изд., стереот. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 352 с.

3. Кошелев С.В., Клауз Г.А., Гвоздевский В.В. Монтаж и наладка систем производственной электрической связи, сигнализации и электрочасофикации: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Радио и связь, 1991. 368 с.

4. Башлы П.Н. Современные сетевые технологии: учеб. пособие. М.: Горячая линия – Телеком, 2006. 334 с.

УДК 53.08 (627.8)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ОСНОВАНИЯ ПЛОТИНЫ НА РАСТВОРИМЫХ ПОРОДАХ

С.К. Давлатшоев

ТТУ им. академика М.С. Осими, г. Душанбе

Науч. рук. д-р техн. наук М.М. Сафаров

Аннотация. Основная концепция системы мониторинга, которая рассматривается в рамках настоящей работы, включает защиту основания плотины как гаранта безаварийной работы плотины в целом. Мониторинг основания плотины на растворимых породах представляет собой систему регулярных наблюдений, позволяющую выявить отклонения в эксплуатационном режиме основания и принять меры, предотвращающие отрицательные последствия произошедших изменений. Важной задачей в системе мониторинга является то, что накопление и обработка информации должны быть автоматизированы и переведены на телеметрический способ осуществления сбора, обработки и анализа информации.

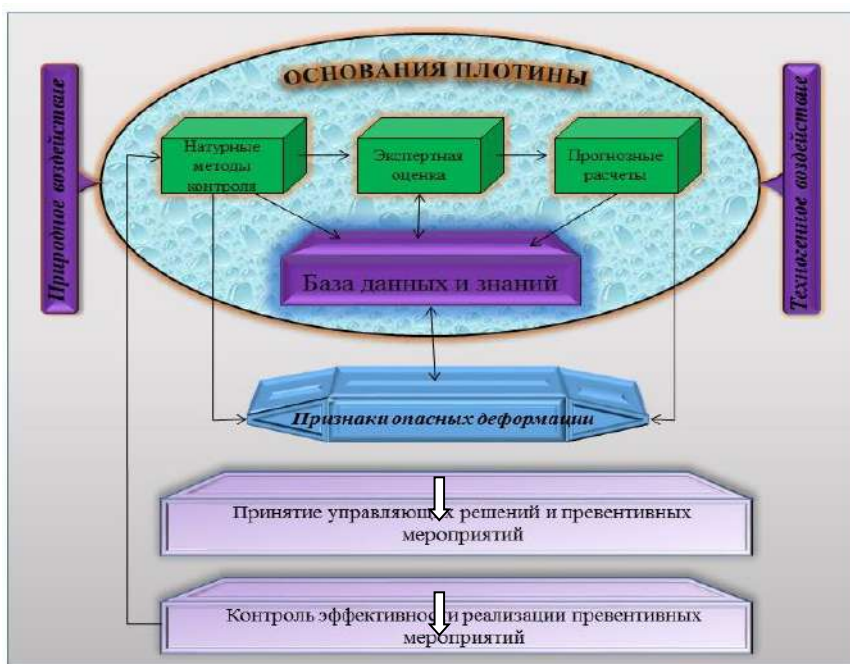
Ключевые слова: мониторинг, основания плотины, растворимые породы, управления, наблюдения, накопления, автоматизация, концепция.

По проведенному обследованию в основание будущей плотины Рогунской ГЭС оценено изменения гидрогеохимической обстановки во времени и взаимодействия фильтрационного потока с подземными водами и соленосными породами и предложена автоматизированная система мониторинга защиты основания плотины на водорастворимых породах [1, 2].

В системе мониторинга решаются задачи как узкой детализации, так и задачи, требующие принятия «глобальных» решений, меняющих целые звенья в системе защиты основания. В связи с этим система мониторинга должна быть всесторонней унифицированной и гибкой, удовлетворяющей потребности всех уровней системы управления [3].

Основными задачами, которые решаются мониторингом, являются:

- контроль за гидрогеохимическим режимом в основании плотины;
- организация наблюдений за работой системы защиты основания;
- обнаружение причины отключений от заданного режима;
- оценка наблюдаемых отклонений в основании во время строительства, в эксплуатационном периоде и управления техногенными процессами;
- прогноз развития возникающих ситуаций и выбор оптимального варианта, исключающего отрицательные последствия нарушений заданного режима.



Общая схема системы мониторинга основания плотины

Осуществление мониторинга требует наличия детальной информации об особенностях гидрогеохимического режима в основании плотины во время строительства и в нормальном эксплуатационном режиме и выработки критериальных значений этих параметров.

Если результаты работы наблюдательной сети свидетельствуют о возникновении новой ситуации, решение по которой отсутствует, то это влечет за собой необходимость специальных обследований и внесения дополнительных данных в систему мониторинга.

Система мониторинга основания плотины является автономной составной частью общего мониторинга, принципиальная схема которого представлена на рисунке.

Одной из центральных проблем организации мониторинга является установление связи между наблюдаемыми отклонениями в работе системы защиты основания и их последствиями для обеспечения защиты основания в случае выщелачивание растворимых пород.

Для эффективной работы всей системы мониторинга большое значение имеет создание функциональной модели мониторинга и планирование всей технологической цепочки от получения информации до принятия решения. Недостаточная проработка какого-либо звена этой цепочки неизбежно приведет к резкому снижению ценности всей получаемой от мониторинга информации. Проектирование системы мониторинга защиты пласта соли включает пять этапов:

1. Определение задач системы мониторинга и требований к информации, необходимой для их выполнения; на этом этапе проектирования должны быть выбраны основные статистические методы обработки данных, т.к. от них зависят в значительной степени частота и сроки наблюдений, а также требования к точности получаемых значений.

2. Создание организационной структуры сети наблюдений и разработка принципов их проведения. Это основной и наиболее сложный этап, на котором с учетом поставленных задач определяется основная структура наблюдательной сети.

3. Построение сети мониторинга. На этом этапе уточняется соотношение видов наблюдательных сетей; устанавливаются места расположения пунктов сбора информации. При наличии автоматизированных и дистанционных систем уточняется программа их работ.

4. Разработка системы получения данных и представления их потребителям. На этом этапе определяются особенности иерархической структуры получения и сбора информации; планируется разработка банка данных, и определяются виды и условия информационных услуг, выполняемые с их помощью; дается детальная характеристика основных информационных форм (отчет, обзор, справка, команда); предусматривается также система контроля точности и правильности данных на всех этапах работ.

5. Создание системы проверки полученной информации на соответствие исходным требованиям и пересмотр, при необходимости, системы мониторинга.

Кроме того, по мере освоения системы мониторинга накопление и обработка информации должна быть автоматизированы или переведены на

телеметрический способ осуществления сбора, обработки и анализа информации. Информация с автоматических измерительных устройств, установленных на пункте измерения, по телеметрическим каналам поступает в центр мониторинга, который осуществляет накопление, классификацию, оценку информации и обеспечивает подачу предупредительных сигналов на пульт управления системой защиты основания. Такая организация мониторинга даёт возможность осуществлять всесторонний контроль накопленных данных и проводить перспективное планирование мероприятий, направленных на сохранение заданного режима эксплуатации системы.

Источники

1. Давлатшоев С.К., Сафаров М.М. Кондуктометрический способ и аппаратура измерения уровня минерализации в пьезометрических сетях // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 18. С. 45–52.

2. Давлатшоев С.К. Оценка взаимодействия фильтрационного потока на гидрогеохимический режим основания плотины кондуктометрическим методом // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2017. № 1/3. С. 129–134.

3. Давлатшоев С.К., Сафаров М.М. Автоматизированная система мониторинга гидрогеохимического режима в основании плотины // Энергосбережение и эффективность в технических системах: матер. V Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов, 2018. С. 26–29.

УДК 53.087; 626/627

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ОСНОВАНИИ ПЛОТИНЫ НА ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОРОДАХ

С.К. Давлатшоев

ТТУ им. академика М.С. Осими, г. Душанбе

Науч. рук. д-р техн. наук М.М. Сафаров

Аннотация. В статье рассматриваются результаты исследования изменения гидрогеохимического режима в створе основания плотины Рогунской ГЭС методом кондуктометрического анализа в зависимости от изменения уровня воды в реке Вахш. Полученные результаты подтверждают явления конвективно-диффузионного отжатия подземных минерализованных вод пресными фильтрационными потоками и перенос солевых составляющих по пути фильтрации вследствие гидростатического давления, а также в статье описано создание системы мониторинга изменения гидрогеохимического режима в основании плотины, позволяющей в реальном

масштабе времени следить за явлениями конвективно-диффузионного отжатия подземных минерализованных вод.

Ключевые слова: мониторинг, гидрогеохимический режим, основание плотины, фильтрация пьезометрической скважины, кондуктометр, отжатия, конвекция, диффузия, минерализация, гидростатическое давление.

С целью осуществления оперативного контроля за гидрогеохимическим режимом основания плотины Рогунской ГЭС, где под передней упорной призмой плотины проходит вертикально падающий пласт соли, разработан и изготовлен опытный вариант кондуктометра «КАЛЬМАР» [1].

Кондуктометр использовался для мониторинга изменения минерализации грунтовых вод в основании плотины Рогунской ГЭС. Кондуктометр состоит из двух частей: погружной зонд и регистратор, служащий для отображения и сохранения результатов измерений. Погружной зонд связан с регистратором кабелем и может быть удален от регистратора на расстояние 200 м.

Задачи исследования гидрогеохимического режима заключаются в следующем:

- анализ влияния колебаний уровня реки Вахш на изменение уровня минерализации подземных вод в пьезометрических скважинах;
- изучение гидрохимической обстановки подземных вод на левобережном участке Ионахшского разлома до перекрытия русла реки Вахш (в естественных условиях);
- изучение изменения степени минерализации подземных вод вдоль пласта соли.

В ноябре и декабре 2011 г., проведено два цикла измерений кондуктометрическим методом. Измерения минерализации проведены в 16 пьезометрических скважинах, расположенных на левобережном участке Ионахшского разлома через каждый 1 м глубины. Всего за два месяца произведено 839 определений. В качестве примера проанализируем изменения уровня минерализации подземных вод в пьезометре № 29^а (рис. 1).

На графике показана глубина расположения оголовки соли на глубине 39 м (Д). В измерениях, проведенных в ноябре 2011 г., глубина фильтрации пресных вод достигает глубину 24 м (С). В измерениях, проведенных в декабре 2011 г., глубина фильтрации пресных вод уменьшается до глубины 20 м.

Результаты исследования доказывают, что в обоих измерениях, начиная с глубины 24 м (С) и 20 м (А) до глубины 40 м (Б) (в измерениях, проведенных в декабре 2011 г.) и глубже (в измерениях, проведенных

в ноябре 2011 г.) происходит конвективно-диффузионное отжатие подземных минерализованных вод, перенос раствора соли по пути фильтрации подземных вод и дальнейшее отложение солевой составляющей дальше от пласта соли под действием гравитационной (плотностной) конвекции [2].

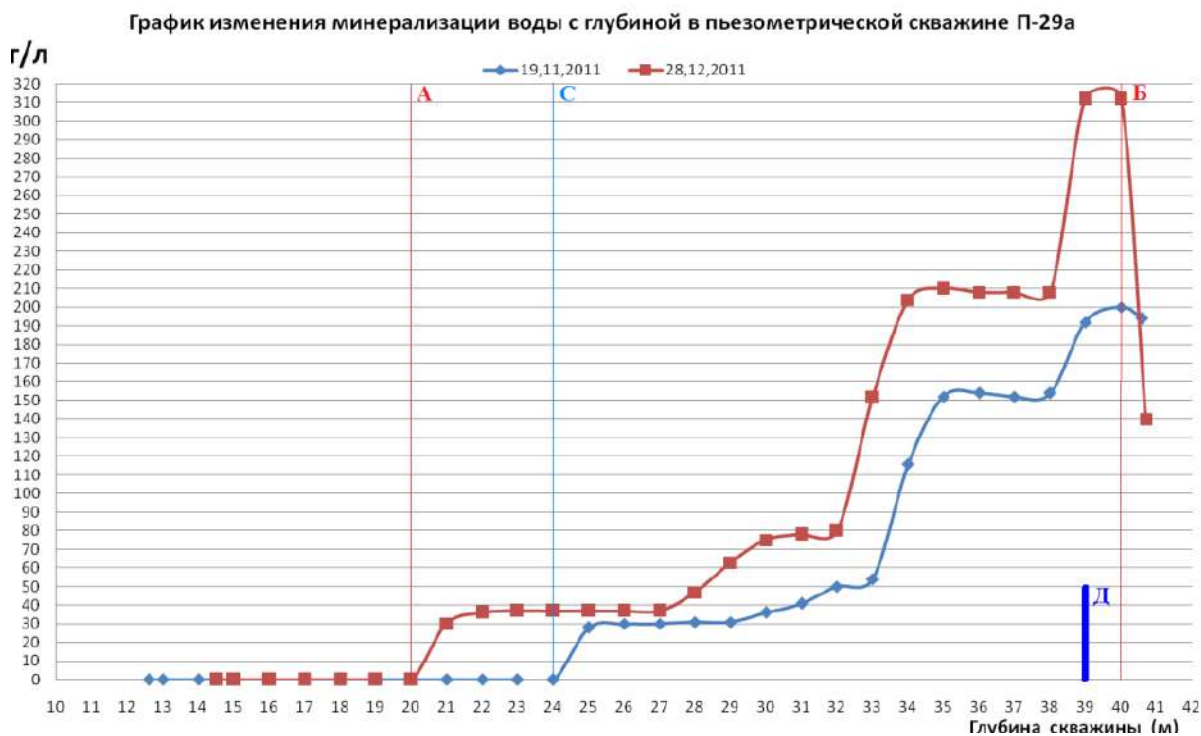


Рис. 1. График изменения минерализации в пьезометре П-29^а

В примере отчетливо видно, что скорость фильтрации пресных вод V_{ϕ} больше скорости конвективно-диффузионного отжатия подземных минерализованных вод $V_{\text{кдо}}$.

Учитывая инженерно-геологические особенности (гидрогеохимические условия вокруг солевого пласта, физико-механические и фильтрационные характеристики пород, отжатие минерализованных вод фильтрационными потоками пресных вод), предлагается следующая схема размещения кондуктометрических измерений за пластом соли из солевой штольни (рис. 2), позволяющий в реальном масштабе времени следить за изменением гидрогеохимического режима основания.

Информация с автоматических измерительных устройств ($C_{i,j}$, где $i = 1 - 12$, $j = 1 - 4$), установленных на пункте измерения, по телеметрическим каналам (блок 1–12) поступает в центр мониторинга (через блок 13), который осуществляет накопление, классификацию, оценку информации и обеспечивает подачу предупредительных сигналов

на пульт управления системой защиты соли. Такая организация мониторинга даёт возможность осуществлять всесторонний контроль накопленных данных и проводить перспективное планирование мероприятий, направленных на сохранение заданного режима эксплуатации системы.

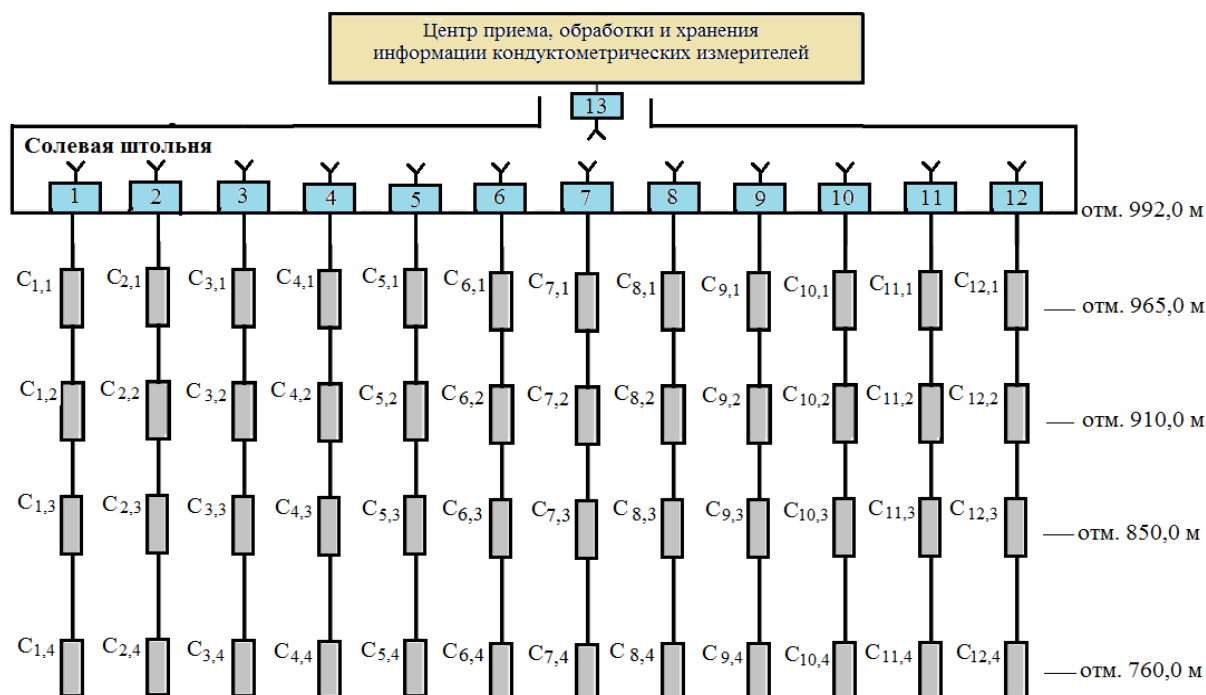


Рис. 2. Схема расположения кондуктометрических измерителей за пластом соли

При повышении уровня воды в водохранилище происходит увеличение фильтрационных потоков в основании плотины. Пресная вода в зависимости от действующего напора проникает по имеющим трещинам, достигая высокоминерализованных вод, защищающих пласт соли. Пресная вода, проникая в слой минерализованных вод под действием гидростатического давления, способствует конвективно-диффузионному отжатию подземных минерализованных вод. Далее, под действием фильтрационных потоков, отжатая часть минерализованных вод переносится дальше от солевого пласта и происходит отложение солевой составляющей под действием гравитационной (плотностной) конвекции [3].

Источники

1. Давлатшоев С.К., Сафаров М.М. Кондуктометрический способ и аппаратура измерения уровня минерализации в пьезометрических сетях // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 18. С. 45–52.

2. Давлатшоев С.К., Сафаров М.М. Исследование отжатия подземных минерализованных вод кондуктометрическим методом // Актуальные вопросы развития современной науки, техники и технологии: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2018. С. 14–17.

3. Давлатшоев С.К. Оценка взаимодействия фильтрационного потока на гидрогеохимический режим основания плотины кондуктометрическим методом // Вестник Таджикского национального университета. 2017. № 1/3. С. 129–134. (Естественные науки).

УДК 62.519

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОМ

В.Р. Миндияров¹, В.О. Садыков²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук А.Н. Богданов

Аннотация. Разрабатывается универсальная система дистанционного контроля и управления, подходящая для различных дизель-генераторных установок (ДГУ). К 2020 г. мировой объем рынка ДГУ прогнозируется около 17–18 млрд долларов. Современные ДГУ оснащены средствами автоматизации и имеют широкий спектр возможностей дистанционного контроля и управления. Но выпущенные ранее модели ДГУ или имеют ограниченные подобные возможности или не имеют их вовсе. В связи с этим возникает необходимость их модернизации, путем добавления системы дистанционного контроля и управления.

Ключевые слова: дизель-генераторная установка, дистанционное управление, мнемосхема, программное обеспечение, автоматизация.

В настоящее время в качестве аварийного источника электричества чаще всего используют дизельные генераторы. Дизельные генераторы обязательно имеются там, где необходимо бесперебойное электропитание: в больницах, банках, промышленных объектах. Подходят они и для временного энергоснабжения торговых площадей, концертных зон, строек. Также дизельные установки обеспечивают постоянное электропитание в удаленной загородной местности, в экспедициях, на яхтах. Их преимуществами являются надежность, неприхотливость, возможность длительной эксплуатации [1].

Всемирный рынок дизель-генераторов неуклонно растет. В 2015 г. его объем составлял около 14 млрд долларов, а к 2020 г. прогнозируется до 17–18 млрд. Современные дизельные электростанции оснащаются ДВС и высокоточными электронными устройствами. Работа такого генератора

почти не требует человеческого вмешательства: сложная система контроля и управления самостоятельно следит за автономной работой дизельной установки и за выполнением всех функций [2].

Однако значительное количество выпущенных ранее моделей дизель-генераторных установок (ДГУ) не обладали возможностью дистанционного мониторинга и управления. Также ряд предприятий имеют парк в несколько десятков ДГУ от различных производителей, что затрудняет их одновременный дистанционный контроль. В связи с этим возникает актуальная задача разработки универсальной системы дистанционного контроля и управления, подходящей для различных ДГУ. Для разработки прототипа системы был выбран имеющийся в наличии дизель-генератор АД 8-Т400.

Данный дизель-генератор состоит из двух основных частей – дизельный двигатель и генератор, они соединены между собой общим валом. Также имеются:

- система автоматического контроля и управления дизель-генератором;
- рама, которая выполняет дополнительные функции по защите от внешних воздействий среды и позволяет закрепить на себе оборудование;
- топливная и воздушная системы.

Для разрабатываемой системы дистанционного контроля и управления можно выделить следующие режимы работы дизель-генератора:

- пуск;
- нормальная работа;
- остановка;
- экстренная остановка.

Пуск дизель-генератора АД 8-Т400 через разрабатываемую систему должен выполняться по определённому алгоритму:

- проверка уровня топлива;
- проверка температуры наружного воздуха;
- если температура наружного воздуха ниже 5°C – запуск отопителя;
- если температура наружного воздуха выше 5°C – включение стартера.

При останове дизель-генератор должен проработать на низких оборотах, плавно снижая температуру в течение получаса. Если производить остановку, не дожидаясь охлаждения, увеличивается вероятность поломок.

При аварийных ситуациях (например, перегрев дизель-генератора) возможна экстренная остановка. Для осуществления экстренной остановки прекращается подача топлива, в результате чего дизель-генератора останавливается.

Разрабатываемая система должна обеспечить:

- дистанционное регулирование скорости вращения коленчатого вала и напряжения генератора;
- дистанционное регулирование температуры масла;
- дистанционный пуск дизеля и автоматический ввод его под нагрузку;
- дистанционную сигнализацию о состоянии контролируемых узлов дизеля (температура, давление и т.д.);
- дистанционную защиту (аварийную остановку) при достижении контролируемыми параметрами (температура, давление, число оборотов и др.) аварийных значений;
- дистанционную остановку дизеля.

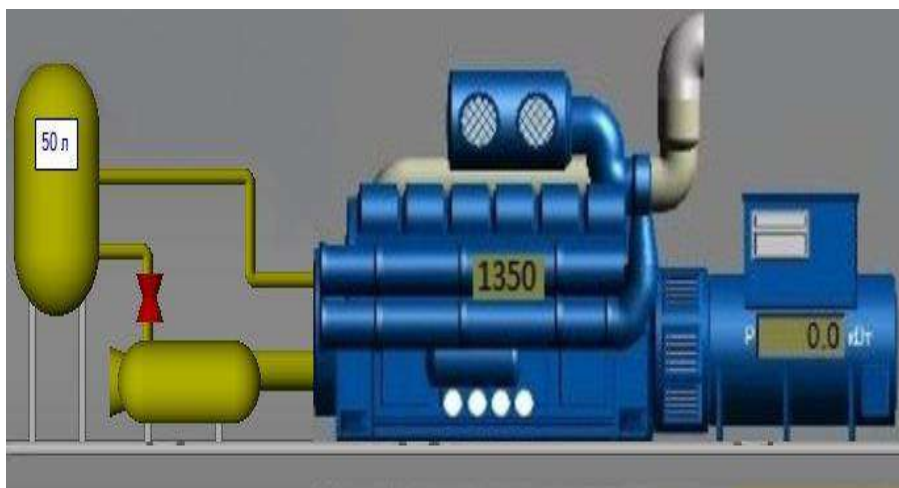


Рис. 1. Проект мнемосхемы

На рис. 1 представлен проект мнемосхемы разрабатываемой системы дистанционного контроля и управления дизель-генератор АД 8-Т400. Мнемосхема должна обеспечить визуальный контроль за состоянием дизель-генератора. Панель управления (рис. 2) должна обеспечить возможность дистанционного пуска-останова дизель-генератора.

Разрабатываемую для ДГУ АД 8-Т400 систему дистанционного контроля и управления возможно будет применить и для других моделей. Для этого надо будет внести незначительные корректировки в алгоритм работы программного обеспечения и в мнемосхему.

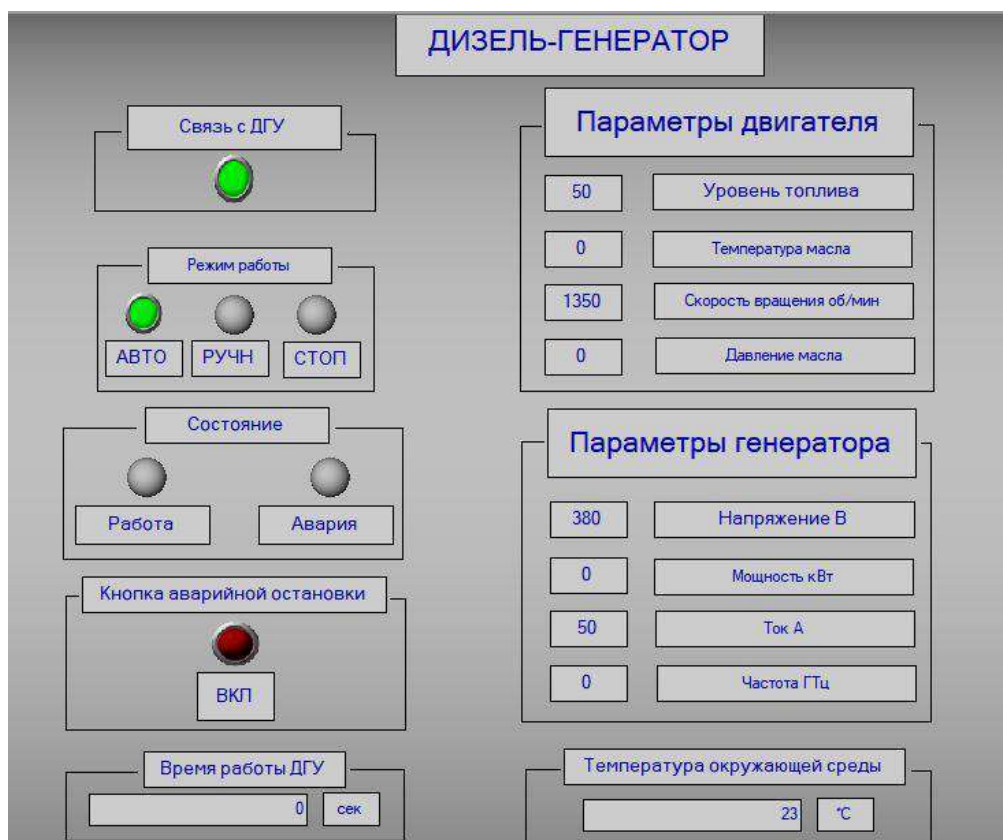


Рис. 2. Панель управления

Источники

1. Проблемы конвертирования транспортных дизельных двигателей для электроагрегатов и теплоэлектростанций / Б.Е. Поликер. М.: Легион-Автодата, 2006. 320 с.
2. Кашкарёв А.П. Современные био-, бензо-, дизель-генераторы и другие полезные конструкции. М.: ДМК-Пресс, 2011. 136 с.

УДК 621.311.22

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВОДЯНОГО ТРАКТА КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА

А.Р. Миргалеева
 ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
 Науч. рук. д-р техн. наук К.Х. Гильфанов

Аннотация. Данная статья посвящена проектированию системы управления пароводяного тракта, который является составной частью котла-утилизатора. Даны

определения основным понятиям, и описана принципиальная схема пароводяного тракта. Изучена SCADA-система фирмы Siemens. Выполнен анализ спроектированной системы управления пароводяного тракта.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, SCADA-система, парогазовая установка, котел-утилизатор, пароводяной тракт.

Автоматизированная система управления (АСУ) позволяет контролировать технологические параметры, положение клапанов и текущее состояние системы, выявлять и устранять аварийные и внештатные ситуации, связанные с состоянием технологических параметров, просматривать изменение параметров во времени в графическом и цифровом виде, а также иметь доступ к архивам изменения параметров и формировать отчеты. Применение АСУ позволяет вести более надежный и экономичный режим работы котлоагрегатов.

Пароводяной тракт представляет собой систему последовательно включенных элементов оборудования, в которых движется питательная вода, пароводяная смесь, насыщенный и перегретый пар (на котлах с перегревом пара).

По виду пароводяного котла тракта различают барабанные, в которых движение (циркуляция) воды происходит по замкнутому контуру: верхний барабан – опускные (необогреваемые трубы) – нижний барабан (коллектор) – экранные (обогреваемые трубы) – верхний барабан и прямоточные котлы [1].

На рис. 1 показана структурная схема пароводяного тракта.

Регулятор поддерживает заданный уровень воды в барабане высокого давления, устанавливая соответствие между расходом питательной воды и расходом пара в контуре высокого давления, и состоит из двух регуляторов: основного и пускового.

Основной регулятор получает сигналы: по усредненному уровню в барабане высокого давления, расходу питательной воды и расходу пара в контуре высокого давления, а также сигнал задания на поддержание уровня в барабане высокого давления, формируемый в нелинейном элементе как функция от давления в барабане высокого давления.

В основном режиме работы котла-утилизатора этот задатчик формирует задание на поддержание нормального уровня воды на 90 мм выше центральной линии барабана высокого давления, в пусковом режиме – на 200 мм ниже нормального уровня воды.

На пусковой регулятор поступает сигнал по усредненному уровню, сигнал отрицательной обратной связи по положению регулирующего клапана на узле питания и сигнал «задания» от нелинейного элемента по уровню.

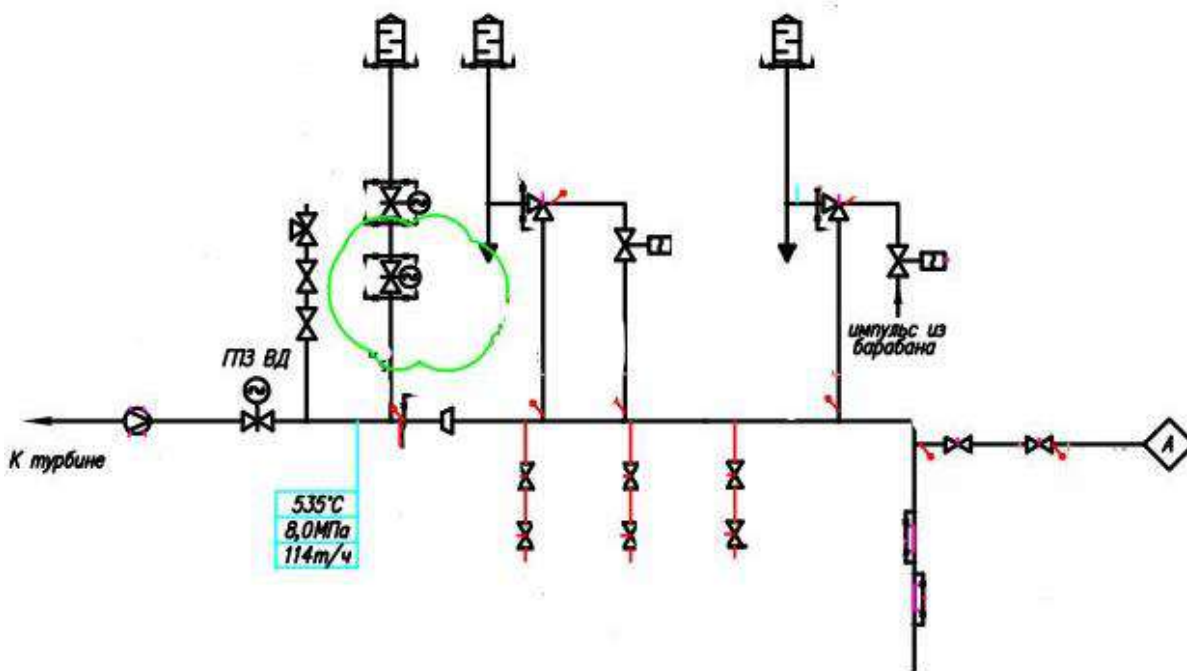




Рис. 1. Структурная схема пароводяного тракта: ГПЗВД – главная паровая задвижка высокого давления; А – сигнализация;  – задвижка с электроприводом;  – клапан запорный;  – клапан трехходовой;  – клапан предохранительный;  – клапан предохранительный импульсный;  – сужающее устройство расходомера;  – набор дроссельных шайб;  – шумоглушитель;  – границы проектирования;  – дренаж

Узел питания контура высокого давления выполнен с установкой на одной линии электрифицированных задвижки давления и регулирующего клапана, на второй – электрифицированной задвижки.

Оба регулятора питания через переключатель управляют регулирующим клапаном (при расходе пара в тракте высокого давления меньше 30 % номинального – пусковой, при расходе 30 % и больше – основной).

Предусмотрен перевод регулирующего клапана в режим «Дистанция» и его закрытие при отключении обоих питателей электронасоса высокого давления или не открытой задвижке перед питателем электронасоса высокого давления.

При открытии импульсного предохранительного клапана пароперегревателя высокого давления или барабана высокого давления или действие регуляторов на регулирующем клапане отключается.

Узел питания контура низкого давления аналогичен узлу питания контура высокого давления (на одной линии – электрифицированные

задвижка давления и регулирующий клапан, на второй – задвижка давления), поэтому структуры регуляторов питания обоих контуров аналогичны.

Основной регулятор получает сигналы: по усреднённому уровню в барабане низкого давления, расходу питательной воды, расходу пара и сигнал «задания» от нелинейного элемента по уровню в зависимости от давления в барабане низкого давления.

В основном режиме работы котла-утилизатора этот задатчик формирует задание на поддержание нормального уровня воды на 340 мм выше центральной линии барабана низкого давления, в пусковом режиме – на 200 мм ниже нормального уровня воды.

На пусковой регулятор поступает сигнал по усреднённому уровню, сигнал отрицательной обратной связи по положению регулирующего клапана на узле питания и сигнал «задания» от нелинейного элемента по уровню.

Оба регулятора через переключатель управляют регулирующим клапаном узла питания низкого давления, находящимся в работе.

При расходе пара в тракте низкого давления более заданного (более 30 % номинального расхода) происходит отключение пускового регулятора и в работу включается основной регулятор. Предусмотрен перевод находящегося в работе регулирующего клапана в режим «Дистанция» и его закрытие при не открытой задвижке перед ним. Расход питательной воды в контуре низкого давления определяется за вычетом расхода питательной воды в контур высокого давления, отбираемого из барабана низкого давления [2].

Так как физические процессы, происходящие в пароводяном тракте, достаточно сложны для формализации традиционными средствами теории управления, для разработки алгоритмов рационального использования методов нечеткого управления.

Функция АСУ пароводяного тракта котла заключается в непосредственном измерении входных сигналов, полученных от первичных преобразователей, и принятия решения об управлении параметрами технологического процесса.

АСУ ТП котла имеет трехуровневую иерархическую архитектуру (рис. 2):

- нижний уровень представлен датчиками и исполнительными механизмами;
- средний уровень – программируемыми логическими контроллерами;
- верхний уровень системы – резервируемыми АРМ (автоматизированное рабочее место) операторов.

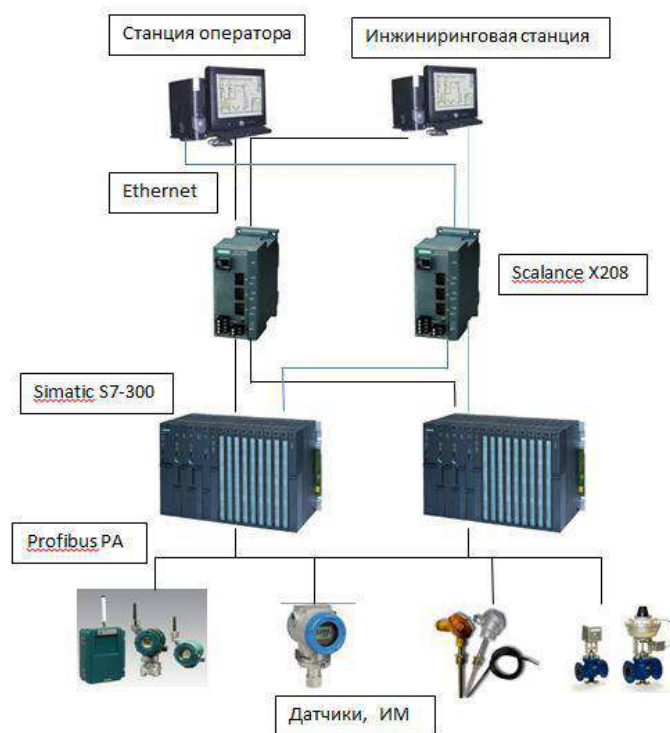


Рис. 2. Структурная схема АСУТП

Вся автоматизированная система управления технологическими процессами котлоагрегата включает в себя:

- контроллер «S7-300», обеспечивающих функции информационно-вычислительной системы (ИВС);
- коммуникационные процессоры для подключения SIMATIC S7-300 к Industrial Ethernet;
- аналоговые модули ввода SM 331 AI 8×TC, SM 331 AI 8×RTD, обеспечивающие связь с объектом, а также подготовку информации для решения задач контроля, реализуемых на верхнем уровне АСУ ТП;
- дискретный модуль вывода SM322 DO 32 x DC 24v. Модуль предназначен для преобразования внутренних логических сигналов контроллера в его выходные дискретные сигналы. Модуль имеет 32 выходных канала. Напряжение питания составляет 24В;
- дискретный модуль ввода SM321 DI 32 x DC 24v. Модуль имеет 32 входных каналов. Напряжение питания составляет 24 В;
- основной и дублированный источник питания Блок питания PS 405 10A R, обеспечивающие непрерывным питанием;
- сетевые средства связи сети Industrial Ethernet (коммутаторы Scalance X208). Для организации резервируемой сети обмена данными между контроллером и операторской станцией [3];
- панель оператора TP1200 Comfort [3];

– связь операторских станций с контроллером осуществляется с помощью сети Industrial Ethernet (рис. 3). Коммутаторы Scalance X208 формируют Industrial Ethernet между входящими в состав АСУ ТП станциями управления и контроллером серии S7-300 CPU 313C-2 PtP с помощью стандартного ITP кабеля для Industrial Ethernet [3].

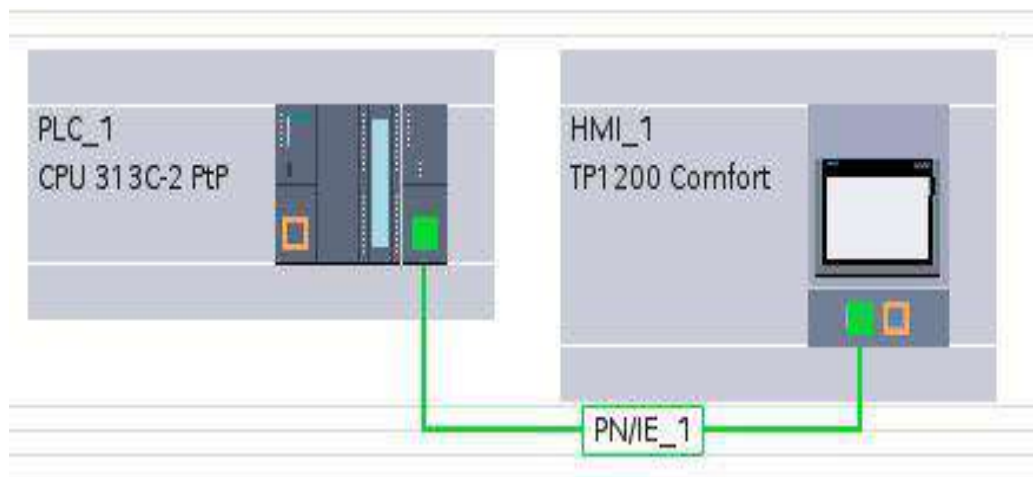


Рис. 3. Связь операторской станции с контроллером

На рис. 4 приведен разработанный интерфейс SCADA система пароводяного тракта, выполненная в интегрированной среде программирования TIA Portal V11, изображенная в виде мнемосхемы. SCADA содержит показания основных параметров пароводяного тракта в виде аналогового сигнала, а также органы регулирования в виде клапанов, которые показывают процентное соотношение открытия клапана.

Ввод параметров регулирования температур насыщенного пара за счет впрыска и наблюдение можно отдельно увидеть, нажав на кнопку перехода – регулятор 1. При нажатии откроется отдельное окно (рис. 5), на котором показаны температура пара ширмы после 1-го впрыска, параметры регулятора и график температуры пара заданного и измеренного. В качестве регулятора выбран импульсный регулятор, так как пароводяной тракт является инерционным объектом. Регулятор настраивается определенными вводимыми параметрами, которые также изображены на интерфейсе. При показании датчика температуры пара значений вне диапазона $(427 \pm 20) ^\circ\text{C}$ срабатывает регулятор в виде импульсов в сторону понижения или увеличения температуры, что можно увидеть на нижнем графике. Также высвечивается зеленым цветом выход регулятора, который показывает в большую или меньшую сторону работает регулятор.

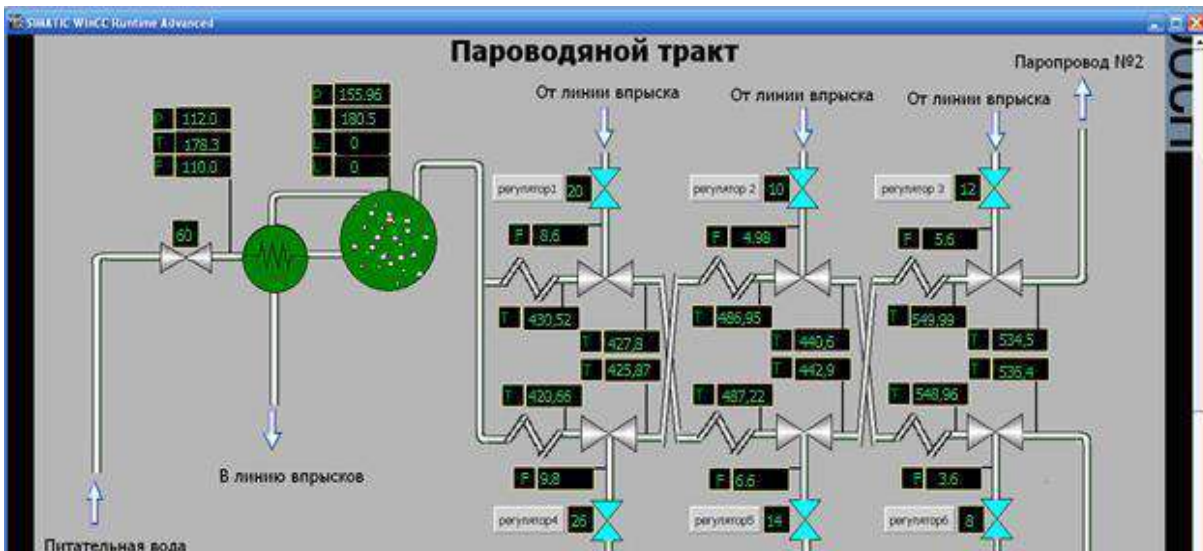


Рис. 4. SCADA-система пароводяного тракта – основное окно

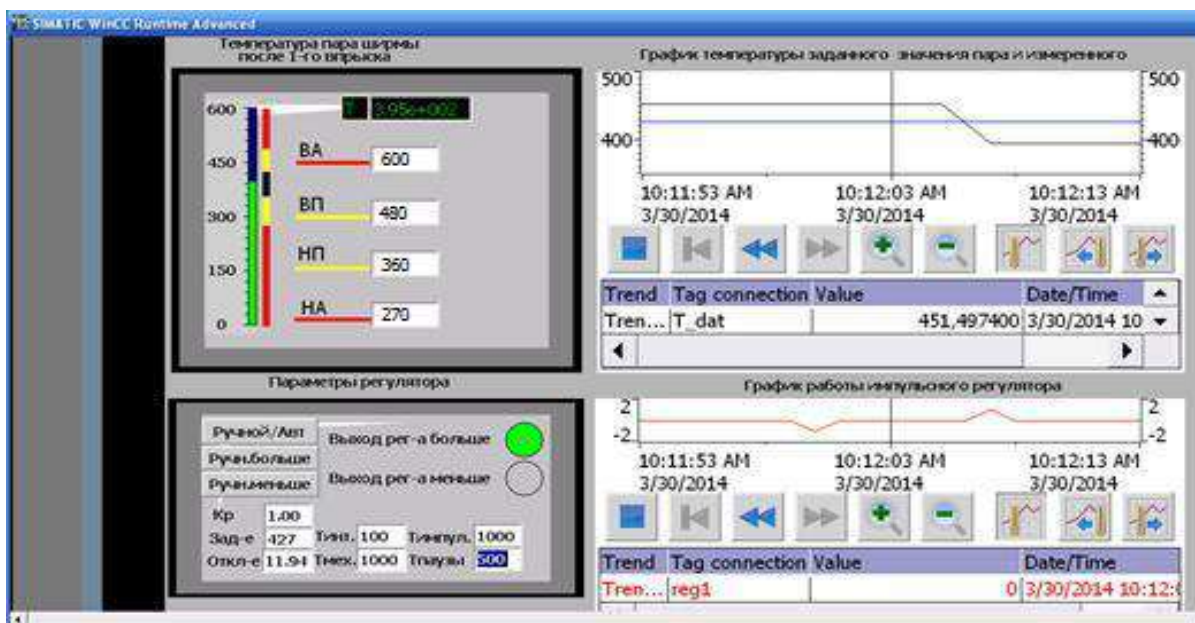


Рис. 5. Регулятор 1

Таким образом, в данной работе разработана SCADA система в интегрированной среде разработки программного обеспечения TIA Portal с применением контроллеров фирмы Siemens SIMATIC серии S7-300. На диспетчерский пункт выведены основные технические параметры пароводяного тракта, а также органы регулирования.

Источники

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. М.: МЭИ, 2008. 584 с.

2. Волощенко А.В., Медведев В.В., Озерова И.П. Принципиальные схемы паровых котлов и топливоподач. Томск: Изд-во ТПУ 2011. 100 с.

3. Siemens [Электронный ресурс]. URL: <http://www.siemens.com> (дата обращения: 18.01.2019).

УДК 629.3.083.4

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Д.В. Мохнатов

КНИТУ, г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук К.Х. Гильфанов

Аннотация. В данной работе рассматривается интеллектуальная система уличного освещения как концепция эффективного распределения электроэнергии. Проанализированы различные системы уличного освещения: Amko Solara, OSRAM, Lux Monitor, Echelon, Citenergy. Приведены требования по внедрению системы. Представлена реализация концепции интеллектуальной системы освещения со структурной схемой.

Ключевые слова: интеллектуальная система, автоматизация, уличное освещение, электроэнергия, контроллер, передача данных, система детектирования, система коммуникации.

В настоящее время крупные города тратят на освещение улиц значительные энергетические ресурсы. От общего городского потребления энергии расходуется около 40 % только на уличное освещение, что носит не только функциональный, но и декоративный характер (подсветка архитектурных сооружений, коммерческое освещение). В связи с этим рассматриваемая проблема эффективного использования уличного освещения является актуальной.

Оптимальным решением данной проблемы является применение интеллектуальных систем управления уличным освещением. Автоматизация интеллектуальной системы освещения позволит значительно снизить эксплуатационные и энергетические затраты на 25–45 %, что не только экономически эффективнее, но и носит экологический характер, так как способствует решению проблем антропогенного воздействия на климат [1].

Новизна проведенных исследований заключается в том, что сегодня современный рынок решений в области интеллектуальных систем предоставляет множество различных вариантов решений по эффективной

автоматизации уличного освещения. В настоящее время происходит бурное развитие данного направления за счет того, что общество нацелено на «зеленые» технологии, что подтверждают значимые регламентирующие документы на государственном и международном уровне.

Существуют интеллектуальные системы освещения двух поколений. Первое поколение – это освещение на основе светодиодов [3]. Преимущества светодиодных источников освещения перед классическими:

- срок использования значительно больше;
- при утилизации не загрязняют окружающую среду;
- настраиваемый уровень освещенности.

Последнее преимущество применяется в интеллектуальных системах освещения второго поколения, которые являются наиболее адаптивными и ресурсоэффективными [2].

В настоящее время проводится серьезная работа по стандартизации и развитию систем интеллектуального уличного освещения. Некоторые европейские города полностью заменили свою систему уличного освещения на интеллектуальную. В качестве примера можно привести такие города, как Квебек в Канаде, Лейпциг в Германии и Санкт-Петербург в России.

Подробно сравним интеллектуальные системы уличного освещения от следующих производителей: Amko Solara, OSRAM, Lux Monitor, Echelon, Citenergy. Сравнительный анализ представлен в таблице.

В данных системах освещение основано на светодиодах. Адаптивный контроллер сделан во всех системах интеллектуального освещения кроме Citenergy. Реализована беспроводная передача данных с помощью mesh-сетей и IPv6, со стандартом 6LowPAN в системах Lux Monitor и Echelon. В других же системах: Amko Solara, OSRAM и Citenergy используется передача данных благодаря линии электропередач, основанная на стандарте ISO 14908, которая называется – «Технология power line communication (PLC)» [5].

Контроль за источниками освещения выполняется с помощью интерфейса между логическими и физическими уровнями контроля светодиодными фонарями – Digital addressable lighting interface (DALI). Непосредственный контроль обеспечивает система программного управления StreetLight Vision стандартизированным решением, объединяющая интеллектуальные системы освещения нескольких производителей.

Также во всех системах осуществляется мониторинг на наличие неполадок, что позволяет оперативно реагировать при их возникновении.

Сравнительный анализ интеллектуальных систем освещения

Характеристики	OSRAM	Amko Solara	Lux Monitor	Citenergy	Echelon
Технология связи	PLC ISO14908	PLC ISO14908	Wireless mesh IPv6 6LowPAN	PLC	Wireless mesh IPv6
IPv6	Нет	Нет	Да	Нет	Да
Скорость передачи данных и пропускная способность	5 кб/с	5 кб/с	10 кб/с	15 кб/с	<5 кб/с
Поддержка динамического режима работы с датчиками движения	Да	Да	Да	Нет	Да
Поддержка динамического режима работы с учетом трафика	Да, SLV CMS	Да, SLV CMS	Да, SLV CMS	Нет	Да
Интерфейс для источника освещения	1-10 В, DALI	1-10 В, DALI	1-10 В, DALI	1-10 В, DALI	1-10 В, DALI
Данные о неполадках	Да	Да	Да	Да	Да

Проведя сравнительный анализ интеллектуальных систем освещения, возможно реализовать проектирование системы, которая будет превосходить аналоги по характеристикам и удовлетворять следующие требования:

- интеллектуальное освещение может быть легко встроено в городскую систему;
- центрального контролирующего элемента нет, система детализирована;
- уровень общей освещенности, которая обеспечивает система, не должен выходить за рамки безопасности;
- каждый фонарь системы не требует настройки, работает автономно;
- работоспособность системы обуславливается внешними факторами: интенсивность дорожного движения и погодные условия [4].

На основе этого можно предложить внедрение интеллектуальной системы, в которой должны быть обеспечены такие факторы как:

способность системы определять объект движения в зоне контроля; обеспечения мониторинга погодных условий и принятие соответствующих решений при их изменении; контроль уровня освещенности в зависимости от объекта движения, его скорости и направления (рис. 1).

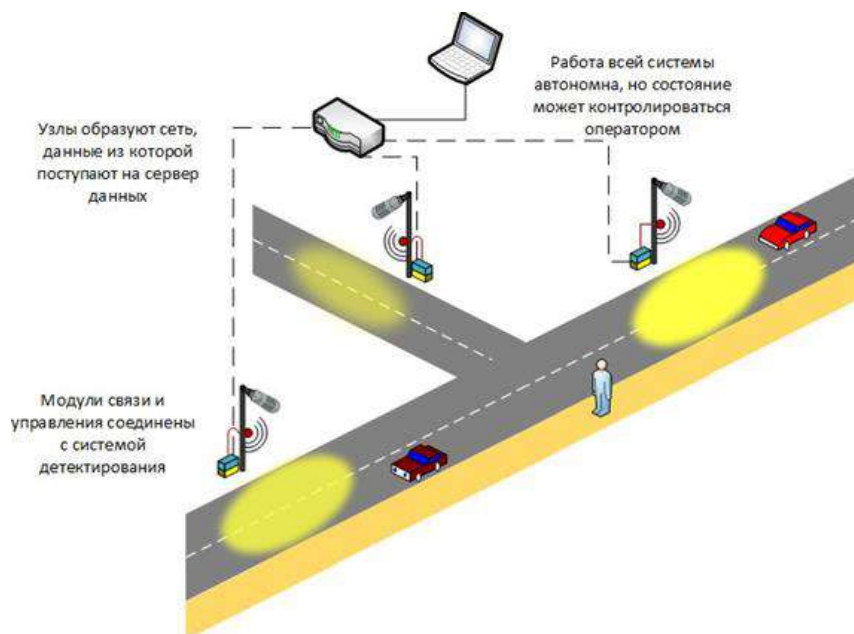


Рис. 1. Реализация концепции интеллектуальной системы освещения



Рис. 2. Структурная схема интеллектуальной системы освещения

Структура предлагаемой системы интеллектуального освещения (рис. 2) состоит из узлов, которые объединяют: микрокомпьютер RADXA

ROCK2 SQUARE либо любой другой модуль System-on-Chip, светодиодный фонарь и модули детектирования и коммуникации.

Центральным управляющим устройством для узла является микрокомпьютер RADXA ROCK2. Каждой лампе соответствует система детектирования и коммуникации. Система детектирования нужна для определения интенсивности дорожного движения, которое создают автомобили и пешеходы, а также изменения погодных условий. Система же коммуникации необходима для связи элементов узла и передачи информации на другие узлы системы.

В ходе работы был проведен сравнительный анализ различных систем интеллектуального уличного освещения: Amko Solara, OSRAM, Lux Monitor, Echelon, Citenergy; приведены требования по внедрению системы; представлена реализация концепции интеллектуальной системы освещения со структурной схемой.

В завершении можно сделать вывод о том, энергоэффективное освещение улиц городов – это результат поиска инновационных решений проблем, связанных с ростом цен на электроэнергию и ухудшением экологической обстановки. Одним из путей является применение решений на базе интеллектуальных технологий. Использование интеллектуальных систем управления уличным освещением является оптимальным решением данной проблемы, которое позволяет учитывать экономические и экологические факторы. Прогресс в области искусственного интеллекта и экспертных систем позволяет реализовывать проекты с самым широким функционалом. Целый ряд городов Ирландии, Франции, Германии, Норвегии, Италии, Нидерландов, Испании также применяют подобные технологии для уличного освещения, что способствует сокращению потребления электроэнергии и экономии бюджета.

Источники

1. Автоматизация проектирования аналого-цифровых устройств / ред. Э.И. Гитис. М.: Энергоатомиздат, 1987. 184 с.

2. Бабанова Ю.Б. Потенциал энергосбережения при использовании системы управления внутренним освещением // Светотехника. 2011. № 5. С. 35–40.

3. Белоногов Г.Г. Автоматизация процессов накопления, поиска и обобщения информации. М.: Наука, 1979. 256 с.

4. Вейнерт Д. Светодиодное освещение: принципы работы, преимущества и области применения. Philips, 2010. 158 с.

5. Фомин А.Г. Исследование и оптимизация энергопотребления в установках совмещенного освещения с автоматическим управлением: дис. ... канд. техн. наук, М., 2000. 157 с.

УДК 681.5

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕТ РЕСУРСОВ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ

А.З. Муртазин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Науч. рук. д-р техн. наук К.Х. Гильфанов

Аннотация. В данной статье рассматривается способ автоматизации учета ресурсов в многоквартирных жилых объектах, обосновывается его необходимость.

Ключевые слова: энергосбережение, автоматизация, энергоэффективность, контроллер, счетчики, датчики.

Потребление энергетических ресурсов увеличивается с каждым днем, что негативно сказывается как на экономике государства, так и на самих гражданах. Хотя в сознании многих людей бытует мнение, что если есть средства, и с их помощью можно оплатить потребление энергетических ресурсов (энергоносителей), то зачем экономить? На самом деле стремление государства к энергосбережению обуславливается возможностью снизить нагрузку на бюджеты всех (как бюджетных организаций, так и обычных граждан) уровней, что в свою очередь повысит конкурентоспособность экономики и повлияет на её стабильность.

Основные силы по повышению энергоэффективности необходимо направить на:

- жилые здания;
- производственные здания (комплексы);
- энергоэффективность оборудования;
- использование систем диспетчеризации для оперативного контроля, управления и оптимальной работы систем энергообеспечения.

Последний пункт и будет целью нашего исследования.

Большинство современных городских зданий имеет подключение к сетям ресурсного обеспечения и чаще всего оборудовано пятью основными каналами: горячее водоснабжение, водопровод, электричество, газ и отопление, имеющие особый приоритет с точки зрения энергосбережения.

Организация учета общедомового потребления по описанным каналам довольно проста. На входном узле соответствующего помещения в здании создается входной узел, в этом узле устанавливаются измерительные приборы для получения данных о расходе потребляемого ресурса (счетчики). Они, в свою очередь, подключены к контроллеру, обрабатывающему показания со счетчиков и отправляющему эти данные на узел связи, чаще всего GSM, и далее информация передается на удаленный сервер, на котором установлена система учета. По данной схеме строятся большинство систем автоматизированного учета и управления отоплением и электроэнергией.

Достоинствами таких систем является уже имеющийся опыт их установки и использования. Однако минусов намного больше. Во-первых, данные системы не приспособлены к интегрированному учету ресурсов всех каналов. Во-вторых, цена. Если стоимость одного узла учета и контроля ресурсов целого многоквартирного дома может быть оправдана (около 250 тыс. руб.), то для каждой отдельно взятой квартиры цена должна быть ниже. В-третьих, небольшой срок межповерочного интервала (время работы в пределах заданной погрешности), который относительно общедомовой системы счетчиков, может устраивать, но никак не для поквартирных.

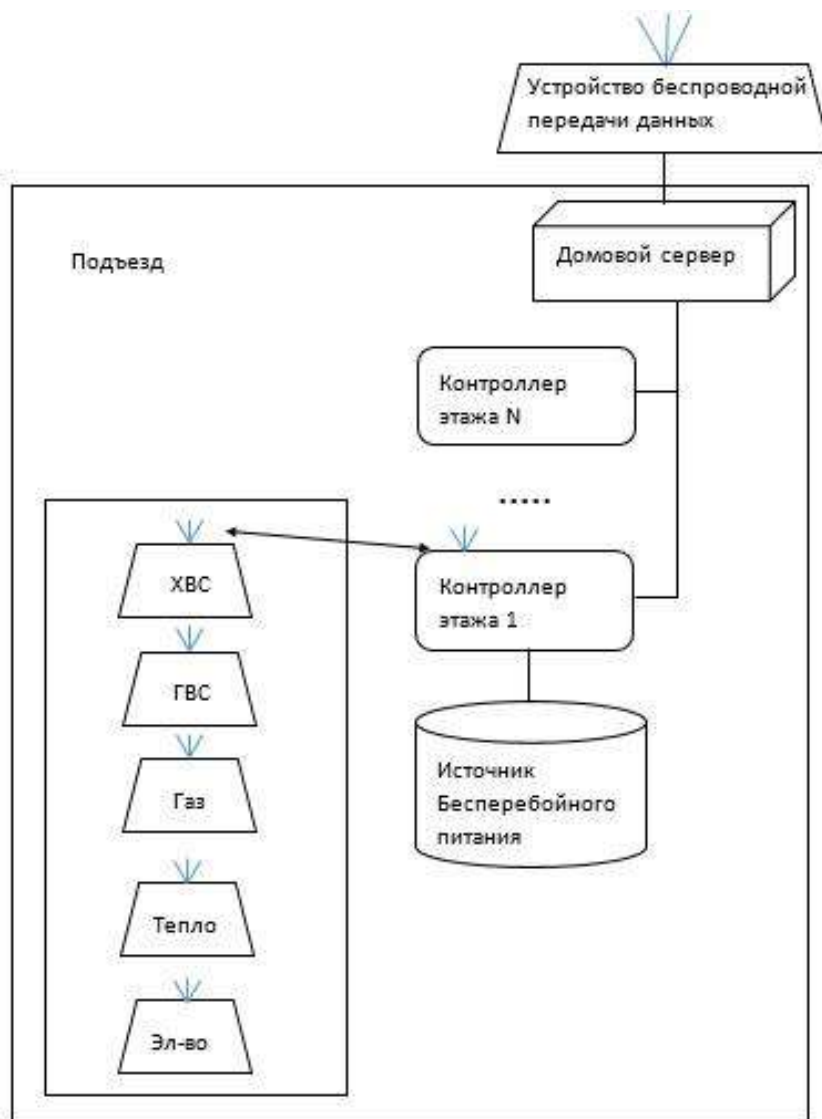
Также из минусов можно выделить отсутствие стандартизации протоколов передачи данных на сервера учета. Поскольку на поддержку каждого из всевозможных протоколов потребуются дополнительные средства, а это является дополнительными расходами.

Кроме того, не существует программного обеспечения, которое позволяло бы учитывать все каналы ресурсов, проводить анализ этих данных, прогнозировать и предупреждать в пределах от одного дома до целого города.

Подобное ПО должно помочь решать такие задачи, как рекомендации мер экономии электроэнергии в пиковые часы, помощь в восстановлении системы в случае аварии. Кроме этого, ПО с общей базой данных должны давать возможность жильцам самостоятельно получать доступ к личным страницам контроля и учета ресурсов удаленно. На основании этих данных жильцы и желают получать счет за потребленные ими ресурсы.

Самым важным недостатком таких систем является то, что они не могут предложить единый концепт единого учета в каждой квартире и интеграции их с общедомовой системой.

Рассмотрим один из наиболее оптимальных вариантов создания системы автоматизированного управления ресурсами, учитывающий как задачи текущей энергоэффективности, так и вопросы безопасности (см. рисунок).



Вариант создания системы автоматизированного управления ресурсами

Для работы системы учета в каждой квартире отдельно могут использоваться как беспроводные, так и проводные счетчики. Общей картины системы это не изменит. Но нужно учитывать, что при использовании проводных датчиков возникнет необходимость в прокладывании дополнительных кабелей и работам, то есть к увеличению стоимости системы.

Главное требование к беспроводным счетчикам и датчикам – это возможность обеспечения элементами электропитания с необходимостью замены не чаще одного раза в 3–4 года.

Подобные счетчики могут создавать сеть, которая при небольшой мощности каждого из передатчиков образует надежную систему управления и сбор информации, независимо от частоты передачи данных. На контроллер идет вся собранная информация со всех датчиков в

квартире. По стандарту запас мощности подобного контроллера должен составлять не меньше 10 % от общей нагрузки.

Довольно часто возникают неполадки с самими модемами, передающими/принимающими информацию, поэтому общий сервер должен иметь возможность подключения к модемам соседних подъездов на время аварийных ситуаций.

Также, чтобы обеспечить надежность работы системы (контроллеров в частности), следует использовать бесперебойные источники питания. Далее информация с контроллеров идет на общий сервер, который, в свою очередь, призван архивировать всю полученную информацию и производить управление модемом для последующей отправки на сервер учета ресурсов или получения с него информации. Для уменьшения стоимости системы можно использовать один сервер на несколько подъездов.

Конечно, хотелось бы создать такую систему сбора информации, которая подчинялась бы независимой организации, с одной стороны, предоставляющая информацию потребителям для того, чтобы они имели возможность проанализировать и уменьшить расход ресурсов, а с другой – отправляла бы данные поставщику соответствующих ресурсов для расчета его с потребителями. При таком подходе вопросов о том, как потребитель узнает количество использованных им ресурсов с последующей оплатой, не возникает. Так как все расчеты проходят одной транзакцией из данных, полученных из архивов центрального сервера.

На данный момент нет компаний, готовых к переходу на подобную систему учета ресурсов. Однако при наличии вышеописанной системы и им подобных этим могут заниматься как ресурсоснабжающие предприятия, так и управляющие компании и товарищества собственников жилья.

Источники

1. Гуртовцев А.Л. Избранные работы по АСКУЭ (1981–2009): авториз. сб. опубл. ст. Минск, 2018. 606 с.

2. Ерёмкина М.А. Развитие автоматизированных систем коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ) [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2015. № 3. С. 135–138. URL: <https://moluch.ru/archive/83/15320/> (дата обращения: 27.01.2019).

3. Ожегов А.Н. Системы АСКУЭ: учеб. пособие. Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. 102 с.

4. СТО АТС 02.03.17-2003. Коммерческий учет на оптовом рынке электроэнергии. Автоматизированные информационно-измерительные системы. Порядок допуска к приёмочным испытаниям. М.: Изд-во стандартов, 2004. 20 с.

5. СТО ЮУрГУ 17-2008. Учебные рефераты. Общие требования к построению, содержанию и оформлению. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. 41 с.

УДК 621.314

ТЕПЛОВАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТМ-160/10

Нгуен Тиен
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
hungnguyenat73@gmail.com
Науч. рук. д-р техн. наук К.Х. Гильфанов

Аннотация. Представлены результаты моделирования тепловых характеристик сухого и маслонаполненного силового трансформатора ТМ-160/10 в режимах холостого хода и короткого замыкания. Определены электрические, геометрические и тепловые характеристики трансформатора ТМ-160/10. Компьютерное моделирование выполнено в среде программного пакета ANSYS17.1. Определены 2D-распределения температуры и плотности тепловых потоков в трансформаторе в продольном и поперечном разрезах. Показано, что использование трансформаторного масла для охлаждения трансформатора существенно уменьшает температуры в активной части. Распределение температур занимает диапазон 67–91 °С. Соответственно, температура наиболее нагретой части равна 91 °С и также соответствует обмотке низкого напряжения. Проведено изучение зависимости наиболее нагретой точки трансформатора от режима работы. Предложена формула для расчета максимальной температуры трансформатора в зависимости от потери мощности.

Ключевые слова: силовой трансформатор, сухой и маслонаполненный, тепловые потоки, максимальная температура, компьютерное моделирование.

Силовые трансформаторы представляют наибольшую часть капитальных вложений в передающие и распределительные подстанции промышленных предприятий. Кроме того, отключения силового трансформатора наносят значительный экономический ущерб электрической сети и технологическому оборудованию. Одним из наиболее важных параметров, определяющих ресурс трансформатора, является значение температуры наиболее горячей точки, которая, в свою очередь, определяется плотностью тепловых потоков. В работах [4–6] показано, что максимальная температура является функцией нагрузок,

перегрузок, режимов охлаждения и времени. Также замечено [1, 7, 2], что традиционные методы расчета дают заниженные значения максимальных температур, особенно в тех случаях, когда тепловые переходные процессы не достигли установившихся состояний. Важной задачей является повышение качества трансформаторов и уменьшение потерь энергии при их работе [3, 8]. Решение этих задач невозможно без глубокого понимания и изучения тепловых режимов трансформатора.

При режимах работы трансформатора с повышенными температурами относительно нормативных значений происходит снижение технико-экономических показателей: усиливается износ изоляции, падает надежность и уменьшается срок службы. Защита трансформатора от перегрева вследствие недопустимых температур эксплуатации связана или с необходимостью уменьшения нагрузки, то есть нарушением его основной функции, или с применением средств форсирования охлаждения.

Целью данной работы является моделирование тепловых режимов трансформатора, исследование распределения тепловых потоков и температур в трансформаторе при различных режимах охлаждения и потерях мощности.

Согласно действующим стандартам превышением температуры какой-либо части трансформатора называется разность температур этой части и охлаждающей среды. Превышение температуры активной части трансформатора в рамках допустимых значений оказывает влияние на технико-конструктивные параметры трансформатора – размеры, внутреннее устройство, нагрузочную способность, режимы эксплуатации и стоимость изделия.

Превышение средней температуры обмотки над температурой окружающей среды по стандарту, соответствующему рекомендациям МЭК, не должно превышать $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5]. Максимальное превышение температуры масла под крышкой бака трансформатора относительно температуры окружающей среды не может быть больше $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Наибольшая допустимая температура окружающей среды для воздуха составляет $+40$, а для воды – $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. В случае превышения температуры среды (воздуха или воды) порогового значения нормы нагрева уменьшаются на соответствующий интервал градусов. Износ изоляции, определяемый температурой наиболее нагретой точки обмотки и продолжительностью ее воздействия, согласно рекомендациям МЭК отнесен к температуре $98\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эта температура, как правило, характерна

для температуры окружающего воздуха $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и длительной нагрузки. Допускается достижение максимальной температуры наиболее нагретой точки до $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ для изоляционных материалов класса нагревостойкости А.

Вместе с тем, контроль соответствия максимальной температуры наиболее нагретой точки трансформатора допустимой степени нагрева является весьма затруднительной задачей. Поэтому ее определение экспериментальными методами или с помощью моделирования является актуальной проблемой.

В качестве объекта исследования был выбран стержневой масло-наполненный трехфазный трансформатор ТМ–160/10, параметры которого определены согласно методике [1] и представлены в таблице

В качестве обмоток высокого напряжения (ВН) и низкого напряжения (НН) приняты цилиндрические многослойные обмотки из круглого провода.

Для испытательного напряжения ВН $U_{\text{исп1}} = 35\text{ кВ}$ определены изоляционные расстояния [6]: $a_{12} = 9\text{ мм}$, $l_{02} = 30\text{ мм}$, $a_{22} = 10\text{ мм}$, $\delta_{12} = 3\text{ мм}$ (рис. 1).

Электрические характеристики трансформатора ТМ-160/10

Тип трансформатора	ТМ-160/10
Мощность	160 кВА
Частота	50 Гц
Число фаз	3
Первичное напряжение	$(10000 \pm 3 \times 2\%) \text{ В}$
Вторичное напряжение U_2	3150 В
Система охлаждения	масляное естественное
Схема и группа соединения обмоток	Y/Y
Напряжение короткого замыкания	4,5 %
Ток холостого хода	2,4 %.
Потери холостого хода	510 Вт
Потери короткого замыкания	2650 Вт

Для испытательного напряжения НН $U_{\text{исп2}} = 18\text{ кВ}$ изоляционное расстояние: $a_{01} = 15\text{ мм}$, $l_{01} = 30\text{ мм}$ (рис. 1).

Выбрана стержневая конструкция с числом 6, $k_{\text{кр}} = 0,913$ без прессующей пластины. При мощности 160 кВА охлаждающие каналы в магнитопроводе не предусматриваются [2, 3]. В качестве материала магнитной системы трансформатора принимается холоднокатаная электротехническая сталь марки 3404 с плотностью 7650 кг/м^3 .

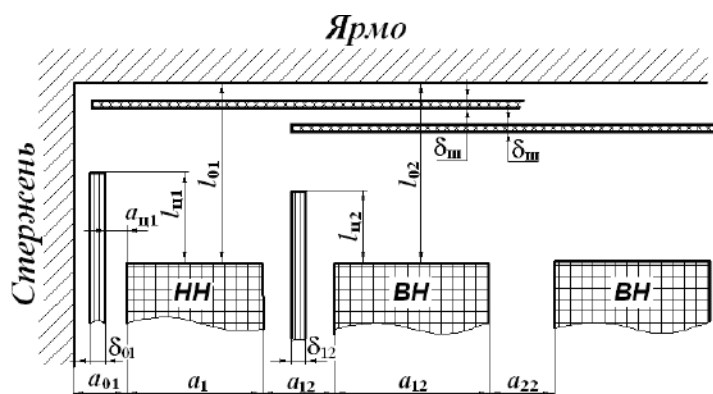


Рис. 1. Главная изоляция обмоток

Диаметр стержня сердечника $d = 0,150$ мм. Коэффициент приведения идеального поля рассеяния к реальному полю $k_p \approx 0,95$. Потери короткого замыкания $P_{k2} = 382,78$ Вт, масса провода обмотки НН $G_2 = 18,16$ кг. Плотность теплового потока на поверхности обмотки НН $q_2 = 1,183$ кВт/м². Принята многослойная цилиндрическая обмотка из круглого медного провода ПБ диаметром $d_1 = 1,9$ мм, сечением $3,14$ мм². Полная охлаждаемая поверхность обмотки ВН $\Pi_1 = 0,888$ мм². Потери короткого замыкания $P_{k1} = 514,96$ Вт. Плотность теплового потока на поверхности обмотки ВН $q_1 = 0,58$ кВт/м².

Моделирование теплообмена и гидродинамики проведено в среде трансформатора в пакете программ свободно распространяемой версии Ansys 17.1 (ANSYS Free Student Product Downloads) [9, 10]. Ввиду того, что точный расчет маслonaполненного трансформатора ограничен вычислительными ресурсами компьютера, использована упрощенная модель трансформатора ТМ-160/10.

В качестве обмоток НН и ВН, а также обмоток изоляции приняты цилиндрические поверхности, которые создаются в модуле создания геометрии DesignModeler программы Ansys 17.1. Предварительно создается эскиз (Sketch), который затем преобразуется в объемную фигуру с помощью операции Extrude. Созданные таким образом модели обмоток НН и ВН трансформатора и изоляции для одной фазы в соответствии с расчетной геометрией показаны на рис. 2.

Далее с помощью инструмента Translate создаются модели еще двух фаз трансформатора, а также в модель было добавлено ярмо. Полученная таким образом модель активной части трансформатора представлена на рис. 2.

После этого модель «помещается» в маслonaполненный бак.

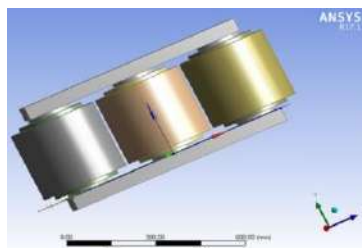


Рис. 2. Модель активной части трансформатора ТМ-160/10, созданная в Design Modeler программы Ansys 17.1

Далее в программе задаются характеристики физической модели. Для чего в модуле ModelAnsysSteady-StateThermal задаются характеристики материалов обмоток, стержней, ярма, изоляции и окружающей их среды (рис. 3). В качестве материала обмоток принимаем медь (Copper), материал сердечника – сталь (StructuralSteel), охлаждающей среды – трансформаторной масло (Engineeroil).

Details of "HV1"	
[-] Graphics Properties	
[-] Definition	
<input type="checkbox"/> Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Behavior	None
[-] Material	
Assignment	Copper
Nonlinear Effects	Yes

Рис. 3. Окно задания свойств материала обмоток

Далее в AnsysSteady-StateThermal задается расчетная сеточная область Mesh, которая рассчитывается автоматически на основании геометрической модели (рис. 4).

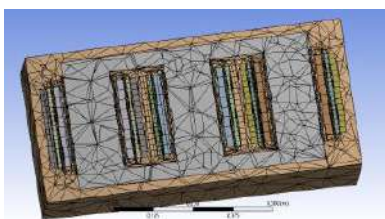


Рис. 4. Расчетная сеточная область трансформатора Mesh (в разрезе) В AnsysSteady-StateThermal

Режим короткого замыкания задается в AnsysSteady-StateThermal способом установки удельных тепловых потоков q (HeatFlux). На поверхности обмотки НН плотность теплового потока в режиме короткого замыкания задается $q_{2КЗ} = 1183,0 \text{ Вт/м}^2$, на обмотке ВН – $q_{2КЗ} = 580,0 \text{ Вт/м}^2$.

Также для корректного моделирования в модель вводится условие передачи теплоты конвекцией (Convection), и все границы между жидкостью и твердым телом обозначаем с помощью инструмента FluidSolidInterface.

Сначала для проверки работы активной части трансформатора и продольной изоляции проводится моделирование при отсутствии заполнения трансформатора маслом, то есть при воздушном охлаждении. Распределение температур в различных областях трансформатора вблизи активной части, полученное в результате моделирования, представлено на рис. 5.

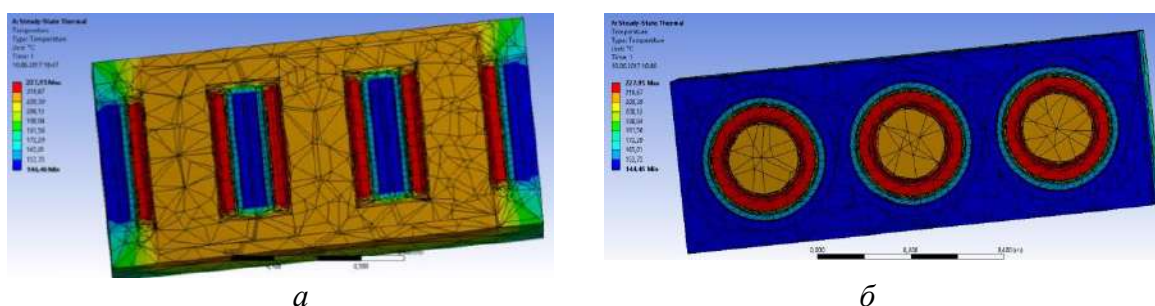


Рис. 5. Температурные поля в продольном (а) и поперечном (б) разрезе в режиме короткого замыкания. Охлаждающая среда – воздух

Из представленных скриншотов ясно, что при охлаждении воздухом температуры, при которых работает трансформатор, оказываются существенно выше допустимых $144\text{--}235\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура наиболее горячих точек соответствует примерно $225\text{ }^{\circ}\text{C}$ и характерна для обмотки НН, также высокой оказывается температура сердечника $t = 210\text{ }^{\circ}\text{C}$. Благодаря наличию изоляции температура обмоток ВН оказывается существенно ниже, но, тем не менее, также превышает допустимое значение. Наибольшая плотность тепловых потоков, как и следовало ожидать, оказывается вблизи обмоток, по мере удаления же от них интенсивность тепловых потоков быстро убывает.

Проведено аналогичное моделирование работы в режиме короткого замыкания при масляном наполнении трансформатора. Распределение температур и плотности тепловых потоков показаны на рис. 6, 7.

Рис. 6 свидетельствует, что использование трансформаторного масла для наполнения существенно уменьшает температуры в активной части. Распределение температур занимает диапазон $67\text{--}91\text{ }^{\circ}\text{C}$. Соответственно, температура наиболее нагретой части равна $91\text{ }^{\circ}\text{C}$ и также соответствует обмотке НН.

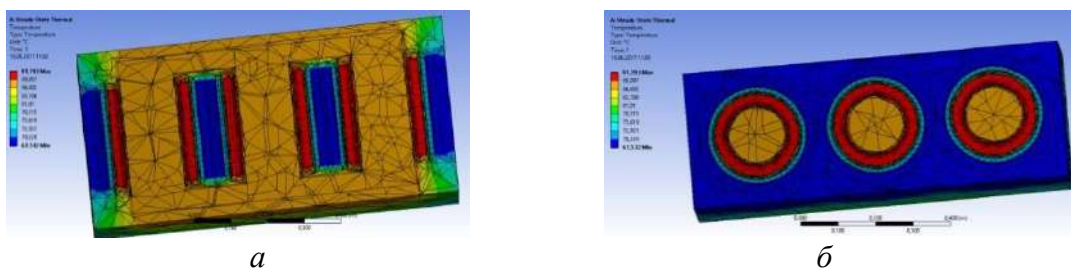


Рис. 6. Распределение температур в трансформаторе в продольном (а) и поперечном (б) разрезе при работе в режиме короткого замыкания. Охлаждающая среда – трансформаторное масло

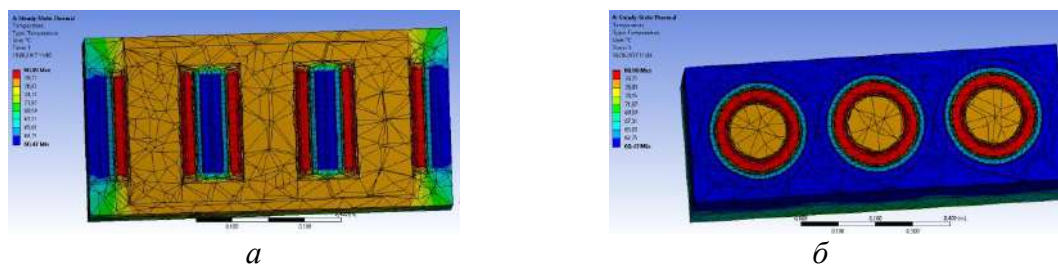


Рис. 7. Распределение температур в маслонаполненном трансформаторе в продольном (а) и поперечном (б) разрезе при потерях $P = 2240$ Вт

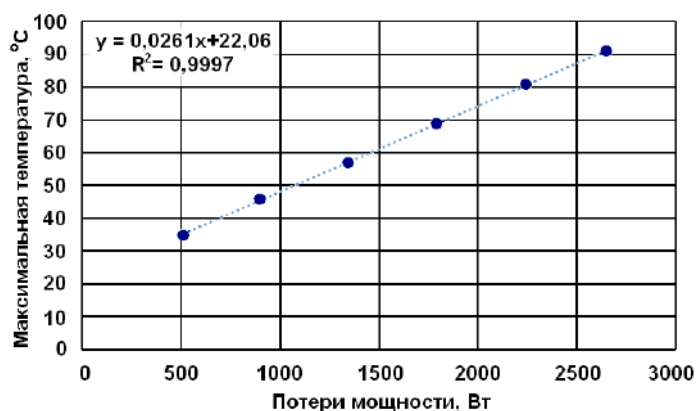


Рис. 8. Зависимость максимальной температуры трансформатора от потерь мощности

Срок службы трансформатора определяется максимальной температурой его обмоток, зависящей от режима работы трансформатора. Для исследования зависимости максимальной температуры трансформатора ТМ-160/10 от режима его работы проведено моделирование в диапазоне потерь от холостого хода (510 Вт) до короткого замыкания (2650 Вт). Соответствующие распределения температур представлены на рис. 7.

На основании полученных данных определяются температуры наиболее нагретых точек трансформатора, и строится график зависимости максимальной температуры трансформатора от потерь. Расчетные

значения потерь мощности, плотности тепловых потоков обмоток представлены на рис. 8.

Учитывая, что как показано в [2, 3], срок службы изоляции экспоненциально убывает в зависимости от температуры, можно сделать вывод, что аналогичная зависимость будет справедлива и для взаимосвязи между сроком службы изоляции и мощностью потерь трансформатора.

Таким образом, проведено моделирование Ansys 17.1 в среде тепловых режимов работы трансформатора как в «сухом», так и в маслonaполненном исполнении. Определено распределение температур в активной части трансформатора и вблизи нее, а также тепловых потоков, и установлена зависимость максимальной температуры (наиболее нагретой точки) от потерь мощности в диапазоне режимов холостого хода и короткого замыкания, определяющей его ресурс.

Источники

1. Встовский А.Л., Встовский С.А., Силин Л.Ф. Проектирование трансформаторов. Красноярск: Изд-во Сиб. федер. ун-та, 2013. 120 с.
2. Расчет силового трансформатора [Электронный ресурс]. URL: <http://leg.co.ua/transformatori/teoriya/raschet-silovogo-transformatora.html> (дата обращения: 17.09.2018).
3. Проектирование силовых трансформаторов с использованием методов оптимизации / Ю.А. Арутюнов [и др.] // Омский научный вестник. Электротехника. Энергетика. 2017. № 6 (156). С. 47–53.
4. Thamir M. Abdul Wahhab, Methaq Talib Jabbar. Design and Simulation of 11/0.4 kV Distribution Transformer Using ANSYS // Eng. & Tech. Journal. 2014. Vol. 32, Pt. A, # 2. Pp. 414–438.
5. Constantin D., Nicolae P.M. and Nitu C.M. 3D Finite Element Analysis of a three phase power transformer [Электронный ресурс] // Eurocon 2013. Zagreb, 2013. (DOI: 10.1109/EUROCON.2013.6625184).
6. CFD Analysis of Heat Transfer Performance of Nanofluids in Distributor Transformer / Rajashekhara Pendyala [et al.] // 4th International Conference on Process Engineering and Advanced Materials Procedia Engineering. 2016. 148. Pp. 1162–1169.
7. Системы охлаждения силовых трансформаторов [Электронный ресурс]. URL: http://www.gigavat.com/transformator_sistemi_ohlazhdeniya.php (дата обращения: 17.09.2018).
8. Rupert Gouws. Design of a Controlled Cooling System for a Three-Phase Power Transformer With Support of Renewable Energy [Электронный

ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/305527083> (дата обращения: 17.09.2018).

9. Mohammadali Salari, Pascal Bayrasy, Klaus Wolf. Thermal analysis of a three phase transformer with coupled simulation [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/276057920> (дата обращения: 17.09.2018).

10. Моделирование процессов теплообмена средствами пакета конечно-элементного анализа ANSYS [Электронный ресурс]. URL: <http://lib.knigi-x.ru/23raznoe/126936-1.php> (дата обращения: 17.09.2018).

УДК 681.5.032

ОПТИМИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ ФАКТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ СТАТИЗМА И МЕРТВОЙ ПОЛОСЫ ПЕРВИЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ

А.А. Никифоров
ОАО «ВТИ», г. Москва
Науч. рук. канд. техн. наук Н.В. Зорченко

Аннотация. Генерирующее оборудование электростанций, участвующих в нормированном первичном регулировании частоты в энергосистеме, должно соответствовать определенным требованиям, формализованным для объективности оценки в виде алгоритмических критериев, которые используются для контроля участия электростанций в регулировании частоты. В работе подробно рассмотрен один из критериев – оценка фактических значений мертвой полосы и статизма первичного регулирования. Опытным путем было установлено, что существующий метод оценки не всегда корректно работает, поэтому автором предложена альтернативная методика, позволяющая более точно и объективно оценивать данные параметры. Для автоматизации расчета по предложенной методике автором разработано программное обеспечение.

Ключевые слова: электростанция, регулирование частоты, статизм, мертвая полоса, критерий, методика оценки.

В настоящее время достаточно большое количество тепловых электростанций (ТЭС) России участвует в нормированном первичном регулировании частоты (НПРЧ) в энергосистеме [1]. Работа генерирующего оборудования ТЭС в режиме НПРЧ должна соответствовать определенным требованиям, формализованным в виде алгоритмических критериев. Один из критериев – соответствие/несоответствие требуемым значениям мертвой полосы и статизма первичного регулирования.

Мертвая полоса первичного регулирования – задаваемое значение отклонения частоты от номинального значения, при котором не

происходит первичного регулирования. Минимальное значение мертвой полосы равно зоне нечувствительности первичного регулирования.

Статизм первичного регулирования – коэффициент, определяющий зависимость изменения активной мощности электрогенератора под воздействием регулятора частоты вращения турбины (регулятора мощности) от изменения частоты.

Для оценки фактических значений статизма и мертвой полосы в настоящее время используются статистические методы обработки данных. Статизм и мертвая полоса определяются как параметры функции регрессии между отклонениями частоты Δf и отклонениями мощности энергоблока ΔP .

На рис. 1 представлен пример использования данного критерия на энергоблоке № 2 Кармановской ГРЭС.

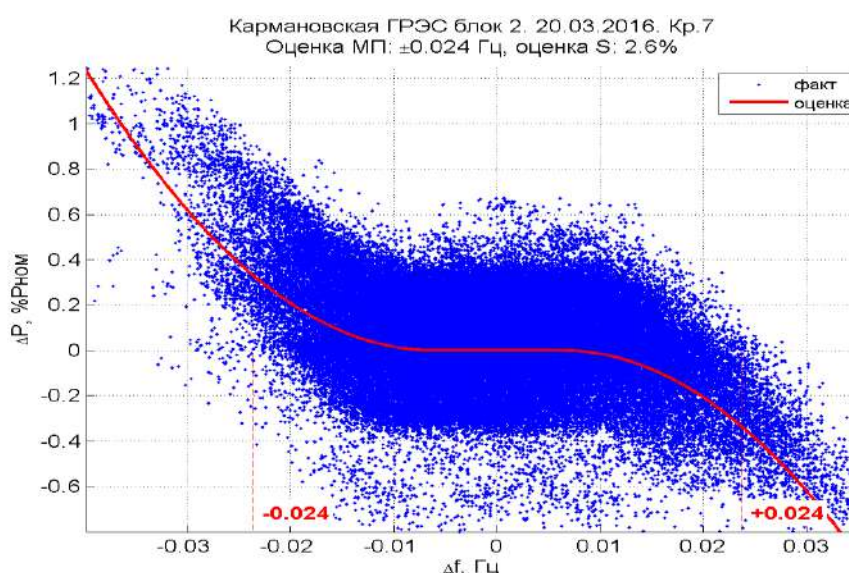


Рис. 1. Оценка фактических значений мертвой полосы и статизма энергоблок № 2 Кармановской ГРЭС

В данном случае получены оценки статизма 2,6 % и мертвой полосы $\pm 0,024$ Гц. Однако даже визуально можно определить, что мертвая полоса оценена не совсем корректно.

Это связано с тем, что в применяемом методе присутствует «привязка» к 0 в функции регрессии, которая уменьшает точность оценки в том случае, если отклонения частоты несимметричны относительно 0, а также применяется сглаживание функции регрессии, не позволяющее точно определять границы мертвой полосы.

В связи с этим предложен альтернативный метод оценки значений мертвой полосы и статизма, ниже представлено его описание.

По исходным значениям частоты вращения турбины f , плановой мощности $P_{пл}$, фактической мощности $P_{факт}$ и номинальной мощности $P_{ном}$ рассчитываются векторы данных x и y (отклонение частоты от номинального значения и отклонение мощности от значения планового задания):

$$x_i = \Delta f_i = f_i - 50, \quad (1)$$

$$y_i = \Delta P_i = \frac{P_{факт,i} - P_{пл,i}}{P_{ном}} \cdot 100. \quad (2)$$

Затем строится «облако» точек по полученным x , y . Отклонение частоты (x) в диапазоне от x_{\min} до x_{\max} разбивается на N интервалов. Для каждого полученного интервала находится среднее значение отклонения мощности (y) – среднее значение всех точек, попадающих в интервал. Эта величина определяется по формуле:

$$M_y = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_j, \quad (3)$$

где m – количество точек на интервале $1..N$.

В результате разбиения на интервалы и нахождения среднего для каждого из них получаются новые векторы данных $x_{\text{сред}}$, $y_{\text{сред}}$, содержащие в себе N значений, где $y_{\text{сред}}$ содержит средние значения точек в каждом интервале, а $x_{\text{сред}}$ – значение середины каждого интервала.

График средних значений строится поверх графика с «облаком». Для левой и правой части графика строятся две вспомогательные прямые (каждая по двум точкам). Одна точка имеет одинаковые координаты и для левой, и для правой прямой, она является «центром облака» и имеет координаты $[M[x_i]; M[y_i]]$, где M – математическое ожидание. Вторые точки, через которые проводятся вспомогательные прямые, находятся на графике средних значений и отстоят от минимального и максимального значений x , заданных при разбиении на интервалы, на 14 % от ширины диапазона разбиения с округлением к ближайшей точке $x_{\text{сред}i}$. Таким образом, строятся вспомогательные прямые:

$$y_{вс1} = a_1 x + b_1, \quad (4)$$

$$y_{вс2} = a_2 x + b_2, \quad (5)$$

где:

$$a_1 = \frac{M[y] - y_{\text{сред}}[o_1]}{M[x] - x_{\text{сред}}[o_1]}, \quad (6)$$

$$a_2 = \frac{M[y] - y_{\text{сред}}[o_2]}{M[x] - x_{\text{сред}}[o_2]}, \quad (7)$$

$$b_1 = M[y] - a_1 M[x], \quad (8)$$

$$b_2 = M[y] - a_2 M[x], \quad (9)$$

o_1 и o_2 – номера интервалов, отстающие от границ разбиения на 14 % от ширины диапазона разбиения.

В пределах между o_1 и o_2 для левой и правой части графика на каждом интервале определяется расстояние между точкой полученной прямой и точкой графика средних значений. Значение $x_{\text{сред}i}$, для которого расстояние между прямой и графиком средних значений максимально, является оценочным значением границы мертвой полосы. Таким образом, определяются значения границ МП для левой и правой частей графика.

Для левой и правой частей графика рассчитываются три значения статизма (для большей точности), по которым находится среднее значение статизма. Значения статизма рассчитываются по формуле:

$$S = -200 \frac{x_1 - x_2}{y_1 - y_2}, \quad (10)$$

где x_1 и y_1 – значения из векторов данных $x_{\text{сред}}$, $y_{\text{сред}}$, находящиеся на номерах интервалов, близких к первому. Рассматриваются три значения, находящиеся на 3, 6 и 10% ширины диапазона разбиения от границ разбиения, а x_2 и y_2 – значения из векторов данных $x_{\text{сред}}$, $y_{\text{сред}}$, находящиеся на номерах интервалов, близких к интервалу, на котором находится граница мертвой полосы.

По полученным значениям статизма и мёртвой полосы может быть построен кусочно-линейный график «оценочной» статической характеристики.

На рис. 2 приведен пример, иллюстрирующий построение графиков.

На графике зеленым цветом обозначен график средних значений, построенный по «облаку», а красным цветом – кусочно-линейный график, построенный на основе оценок мертвой полосы и статизма.



Рис. 2. Пример построения прямых и нахождения точек границ мертвой полосы

s_{11} , s_{21} , s_{31} – точки на графике средних значений, находящиеся на расстоянии от левой границы диапазона измерения в 3, 6 и 10 %, соответственно.

s_{01} – точка, находящаяся на графике средних значений на расстоянии 5 % ширины диапазона от границы мертвой полосы к границе диапазона разбиения.

На интервалах $[s_{11};s_{01}]$, $[s_{21};s_{01}]$, $[s_{31};s_{01}]$ находятся три значения статизма, по которым рассчитывается среднее значение статизма. Аналогично всё выполняется для правой части графика.

$max1$, $max2$ – максимальные расстояния между вспомогательной прямой и графиком средних значений внутри диапазона разбиения, координаты которых по оси абсцисс и определяют границы МП.

Таким образом, алгоритм позволяет определить мертвую полосу и статизм отдельно для отрицательных и положительных отклонений частоты, т.к. зачастую эти отклонения являются несимметричными относительно нуля.

По описанному выше алгоритму была разработана программа, которая позволяет удобно и быстро оценивать статизм и мертвую полосу. На рис. 3 приведен интерфейс программы.

На рис. 4 показаны графики и численные значения фактических значений мертвой полосы и статизма, полученные существующим (обозначено а) и предложенным в работе (обозначено б) методами.

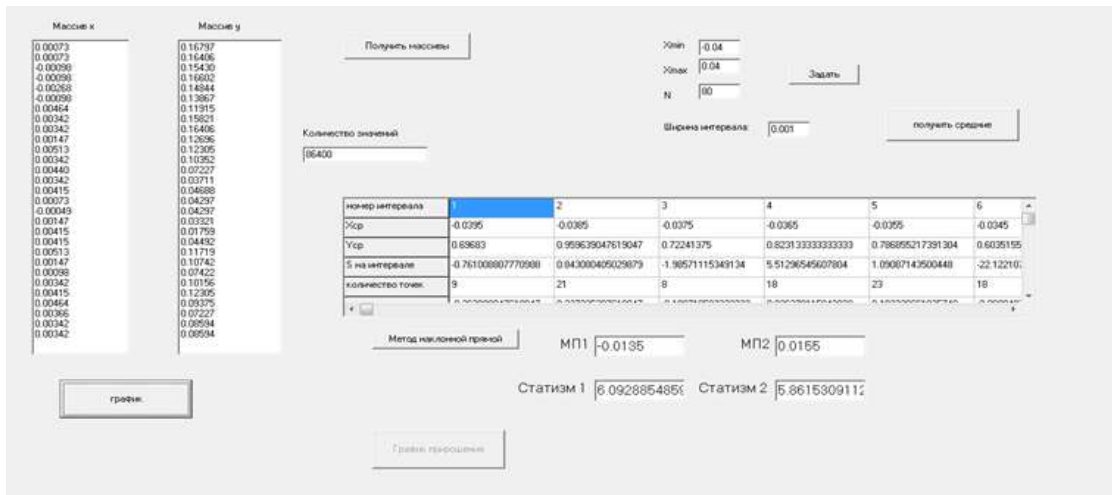


Рис. 3. Интерфейс программы

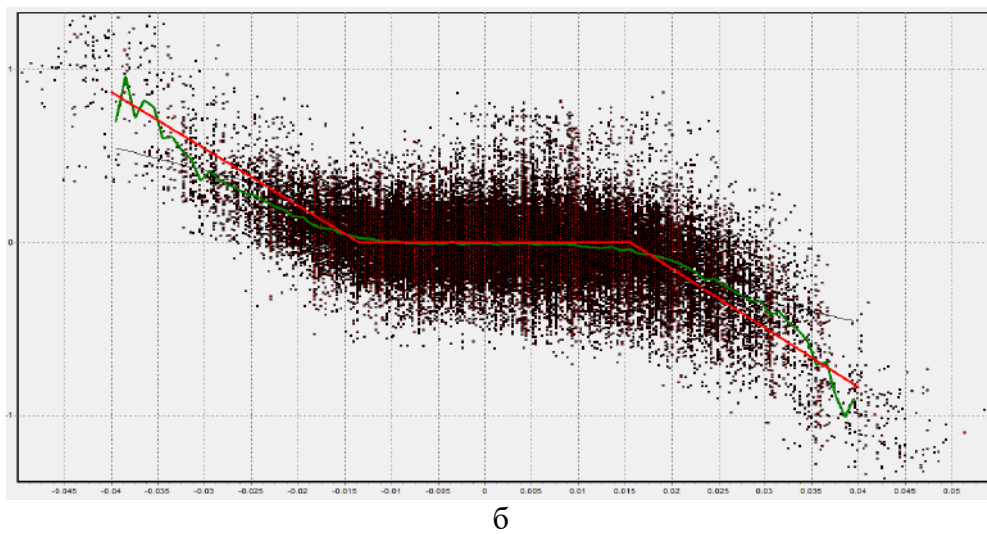
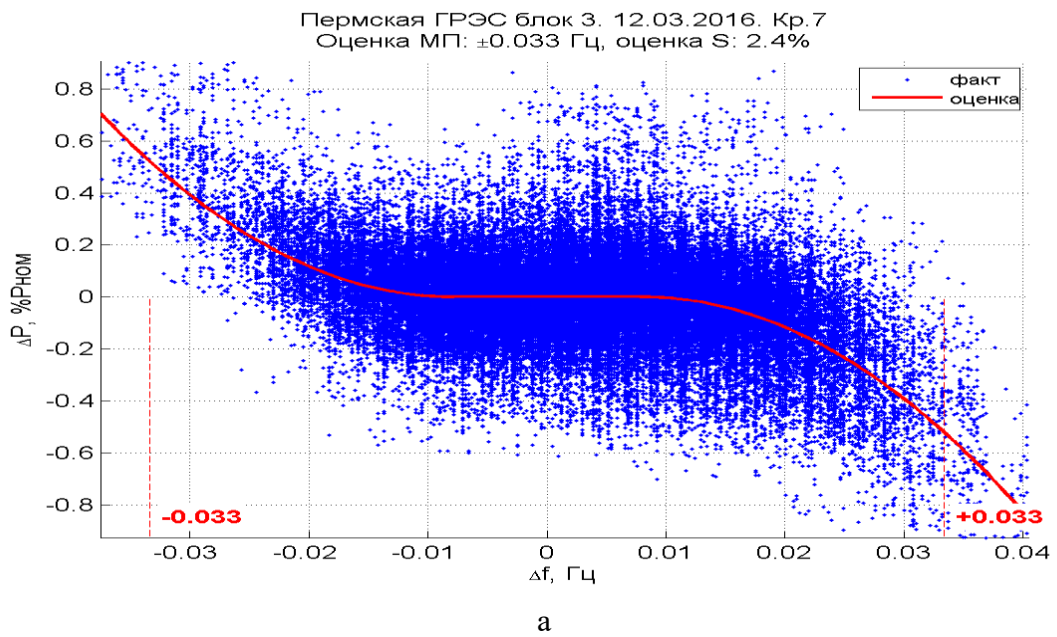


Рис. 4. Оценка статизма и мертвой полосы на энергоблоке № 3 Пермской ГРЭС 12.03.2016: а – существующий метод, б – предложенный метод

В табл. 1 и 2 приведены числовые значения мертвой полосы и статизма, соответственно, полученные разными методами.

Таблица 1

Значения мертвой полосы, полученные разными методами

Блок, станция	Существующий метод		Предложенный метод		Требуемые значения	
	Отрицательная часть, (Гц)	Положительная часть, (Гц)	Отрицательная часть, (Гц)	Положительная часть, (Гц)	Отрицательная часть, (Гц)	Положительная часть, (Гц)
3-й блок, Пермская ГРЭС, 12.03.0216	-0,033	0,033	-0,0135	0,0155	-0,015	0,015

Таблица 2

Значения статизма, полученные разными методами

Блок, станция	Существующий метод		Предложенный метод		Требуемые значения	
	Отрицательная часть, (%)	Положительная часть, (%)	Отрицательная часть, (%)	Положительная часть, (%)	Отрицательная часть, (%)	Положительная часть, (%)
3-й блок, Пермская ГРЭС, 12.03.0216	2,4	2,4	6,1	5,9	5	5

Как видно, значения, полученные предложенным методом, более достоверно и адекватно позволяют оценить требуемые параметры.

Описанный метод применяется на практике специалистами ВТИ для оценки и анализа работы ТЭС, работающих в режиме НПРЧ, может быть использован для оценки параметров участия оборудования в общем первичном регулировании частоты. Кроме того, данный подход может быть использован при диагностике работы систем регулирования турбин.

Источники

1. ГОСТ Р 55890-2013. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Регулирование частоты и перетоков активной мощности. Нормы и требования. М.: Стандартинформ, 2014. 20 с.

РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОЙ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ

И.А. Халлыев¹, В.А. Павлыгина²

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук К.Х. Гильфанов

Аннотация. Целью данной работы является расчет необходимой мощности и площади поглощения солнечного коллектора для использования его в теплонасосной системе отопления. Использование солнечного коллектора в первом контуре теплового насоса исключает необходимость бурения или подземного монтажа коллектора низкопотенциальной тепловой энергии. Комбинированное использование солнечного коллектора и теплового насоса добавит вариативности в компоновке теплонасосной системы отопления.

Ключевые слова: солнечный коллектор, тепловой насос, теплонасосная система отопления.

На сегодняшний день возобновляемая энергетика не является энергетикой будущего, а считается энергетикой настоящего. Во многих странах давно используют альтернативные источники тепловой энергии – воздух, грунтовые воды, воды водоемов, энергию солнца. Извлекают теплоту из окружающей среды с помощью теплонаносной системы теплоснабжения (ТСТ), основой которого является тепловой насос. Большими преимуществами данной системы является экологичность и экономичность (рис. 1).

Одним из основных недостатков ТСТ является дороговизна монтажа коллектора первого контура. Коллектор теплового насоса представляет собой изолированные трубки, горизонтально смонтированные в глубине не меньше 1,5 м, или вертикальные зонды, для монтажа которых необходимо бурение до 20 м. Горизонтальные коллекторы являются более популярными из-за запрета на бурение во многих местностях. Горизонтальные коллекторы имеют также экологический вред почве, так как почва над коллекторами со временем становится непригодной для растительности (рис. 2) [1].

Солнечный коллектор (СК) является не менее важным компонентом данной системы. Если реализовывать отопление и ГВС только с использованием СК, то для обеспечения тепловых нужд среднего коттеджного дома необходимо установить солнечный коллекторы с общей площадью 180 м². Учитывая, что единственной позицией при установке,

на которой не уменьшится общий КПД коллектора, является крыша дома, то установка столь большого количества солнечных коллекторов является невозможной [2].



Рис. 1. Источники низкопотенциальной энергии



Рис. 2. Классические виды коллекторов теплового насоса.
Горизонтальный коллектор и вертикальный зонд



Рис. 3. Виды солнечных коллекторов. Вакуумный и плоский солнечные коллекторы

Исходя из преимуществ по многим качественным и количественным показателям, был выбран вакуумный солнечный коллектор (рис. 3).

Преимущества вакуумного солнечного коллектора:

1. Высокий КПД 90–98 %, который достигается благодаря лучшей тепловой изоляции – вакууму.
2. Устойчивость к механическим природным воздействиям.
3. Отсутствие необходимости в чистке от снега.
4. Относительно низкая стоимость.
5. Легкость в масштабировании.

Расчет тепловых нужд Q помещения:

$$Q = k \cdot V \cdot \Delta T,$$

где k – обобщенный коэффициент теплопередачи здания. Для стены из кирпича в один слой равен 1,5, V – объём отапливаемого помещения, ΔT – разница между наружным и внутренним температурами. Необходимо учитывать самую низкую возможную наружную и целевую внутреннюю температуры:

$$k = 1,5,$$

$$V = S \cdot h = 100 \cdot 3 = 300 \text{ м}^3,$$

$$\Delta T = |T_{\text{ВН}} - T_{\text{ВНТ}}| = |-35 - 25| = 60,$$

$$Q = 1,5 \cdot 300 \cdot 60 = 27 \text{ кВт}.$$

Расчет получаемой (необходимой) тепловой мощности от коллектора:

$$Q_O = Q_{wp} - P,$$

Q_O – необходимая тепловая мощность солнечного коллектора, Q_{wp} – тепловая мощность теплового насоса, P – электрическая мощность, затрачиваемая на работу компрессора (нагрев фреона).

Для $Q_{wp} = 27 \text{ кВт} \rightarrow P = 7,3 \text{ кВт}$:

$$Q_O = 27 - 7,3 = 19,7 \text{ кВт}.$$

Расчет площади поглощающей поверхности солнечного коллектора:

$$P = P_m \cdot \eta \cdot S,$$

P – производительность солнечного коллектора, η – коэффициент полезного действия. Производители указывают от 0,9 до 0,98. S – площадь поглощения коллектора:

$$P_m = \sin(\alpha) \cdot P_{ins}.$$

Если солнечный коллектор установлен перпендикулярно к лучам солнца:

$$\sin(90^\circ) = 1 \Rightarrow P_m = P_{ins},$$

P_{ins} – средняя дневная инсоляция. Для Республики Татарстан $P_{ins} \approx 3,6$ [кВт·ч/м²/сутки]:

$$P = P_{ins} \cdot \eta \cdot S \Rightarrow \frac{P}{P_{ins} \cdot \eta} = \frac{19,7}{3,6 - 0,95} = 5,8 \text{ м}^2,$$

$$\eta = 0,95 \Rightarrow S = 5,8 \text{ м}^2.$$

Для удовлетворения тепловых нужд (отопление) помещения объёмом $V = 300 \text{ м}^3$ необходимо установить теплонасосную систему с мощностью $Q_{wp} = 27$ кВт. В качестве источника «низкопотенциальной» энергии является солнце, а солнечный коллектор должен обладать мощностью $Q_o = 19,7$ кВт и площадью поглощения $S = 5,8 \text{ м}^2$.

Источники

1. Амерханов Р.А. Тепловые насосы. М.: Энергоатомиздат, 2005. 160 с.
2. Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства / Амерханов Р.А. [и др.]. М.: Колос-Пресс, 2002. 424 с.
3. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. Под ред. Сарнацкого Э.В., Чистовича С.А. М.: Стройиздат, 1990. 208 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ В СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТИРОВКИ РАБОЧИХ СРЕД

Д.И. Хаматханов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Науч. рук. канд. техн. наук И.М. Сафаров,
канд. техн. наук М.А. Сафин

Аннотация. Использование современных систем управления и контроля в системах транспортировки рабочих сред является актуальной задачей. В рамках программы энергосберегающих технологий предлагается автоматизированная система контроля и управления параметрами теплоносителя в ЖКХ. В основе предлагаемой системы лежит программно-техническое решение: пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор, созданный с помощью программного обеспечения, свободно распространяемой версии пакета CoDeSys фирмы Овен; промышленные контроллеры имеющие интерфейсы Ethernet 100 Base-T, RS-232 и RS-485.

Ключевые слова: запорно-регулирующий клапан, запорно-регулирующая арматура, CoDeSys, пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор, трубопроводная арматура.

В данной статье предлагается автоматизированная система удаленного контроля и управления параметрами теплоносителя. Применение данной системы автоматического управления в различных отраслях народного хозяйства позволяет решать все более сложные производственные задачи. В частности, это актуально и для систем автоматического поддержания температуры горячего водоснабжения, обратной воды в системах приточной вентиляции, систем отопления для поддержания температурного графика, систем отопления в центральных или блочных тепловых пунктах.

Для каждой из этих систем существует множество частных решений, позволяющих изменять значения транспортируемой рабочей среды [8]. Одной из таких распространенных систем являются аналоговые системы автоматического управления запорно-регулирующим клапаном (далее КЗР).

В таких системах исполнительный механизм управляется аналоговыми сигналами блока управления. Коэффициенты регулирования исполнительного механизма могут зависеть от производителя исполнительного механизма, от встроенного в клапан датчика положения или внешнего датчика контролируемой величины [5]. Это делает систему неразделимой и приводит к индивидуализации системы. Кроме того, не все подобные системы имеют возможность интеграции дистанционного управления и требуют использования множества преобразующих блоков на разных участках цепи, что усложняет структуру системы.

Однако современные методы автоматического управления позволяют решить задачу с помощью универсальных методов, что дает возможность существенно упростить систему. Одним из решений данной задачи является использование пропорционально-интегрально-дифференцирующего регулятора (далее ПИД-регулятор) для управления КЗР с электроприводом и дискретным управлением (рис. 1) [2]. В основе предлагаемой концепции лежат промышленные контроллеры, имеющие интерфейсы Ethernet 100 Base-T, RS-232 и RS-485, а также программное обеспечение, разработанное в среде CoDeSys (использована бесплатная, свободно распространяемая версия пакета) фирмы «Овен».

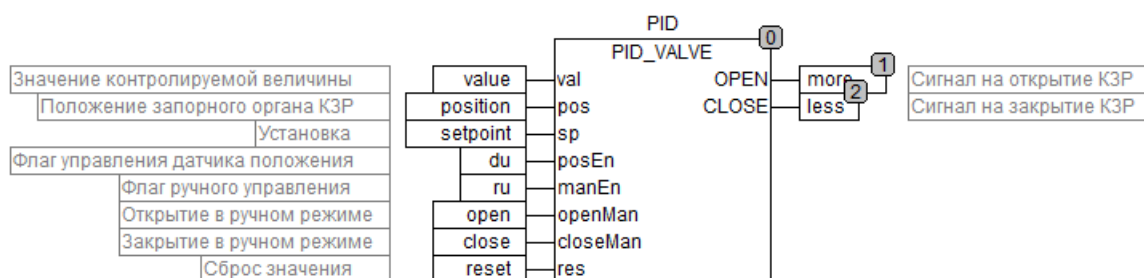


Рис. 1. Общий вид ПИД-регулятора КЗР в среде CoDeSys

Актуальность данного решения заключается в том, что система универсальна и позволяет удаленно контролировать и изменять значение установки контролируемой величины (температура, перепад, давление и т.п.), а также при наладке ПИД-регулятора дистанционно изменять его коэффициенты. Есть возможность интегрировать систему в уже существующие устаревшие КЗР без датчиков положения штока, изменив программу или добавив в старую систему новый программируемый логический контроллер с данным решением, что значительно экономит время и ресурсы на переустановку системы. Быстрое и качественное регулирование процесса за счет ПИД-блока также является достоинством данного решения [6].

Функциональный блок (ФБ) PID_VALVE состоит из пяти блоков библиотек «ОВЕН» (рис. 2): PID и LIN_TRAFO из библиотеки Util.lib [4, с. 351]; VALVE_REG, VALVE_REG_NO_POS и DIG_FLTR с проприетарным кодом из внутренней библиотеки PID_regulators.lib [5, с. 356].

Процесс регулирования выполняется с помощью ФБ PID. Блок LIN_TRAFO предназначен для линейного преобразования значения (-100..100) выхода Y блока PID в значение, приемлемое (0..100) для входа IN_VAL блоков VALVE_REG и VALVE_REG_NO_POS. Блоки

управления КЗР с датчиком положения штока VALVE_REG, где ПИД-регулятор использует информацию о положении штока клапана, и без датчика управления штока VALVE_REG_NO_POS, где вместо значения положения датчика используется информация о времени полного хода штока клапана [6]. DIG_FLTR – цифровой фильтр для аналоговых значений контролируемой величины. Логика переключения режимов обеспечиваются блоками SEL2 (рис. 3).

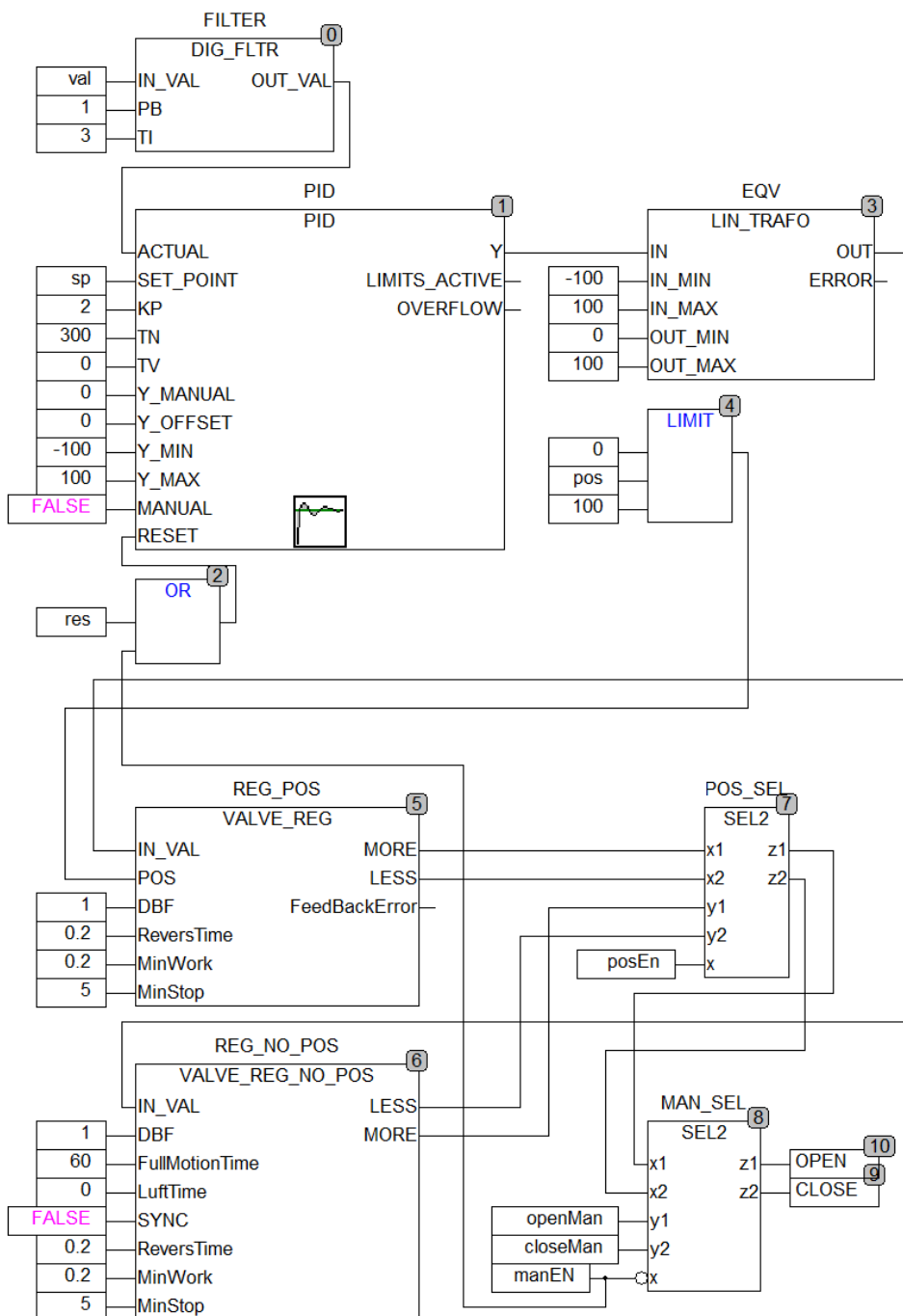


Рис. 2. Структура функционального блока PID_VALVE в редакторе CFC

```

0001 FUNCTION_BLOCK SEL2
0002 VAR_INPUT
0003   x1, x2, y1, y2, x : BOOL;
0004 END_VAR
0005 VAR_OUTPUT
0006   z1, z2 : BOOL;
0007 END_VAR
0008 VAR
0009 END_VAR

```

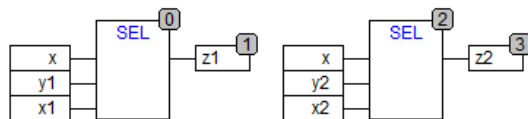


Рис. 3. Листинг функционального блока SEL2 и его структура в редакторе CFC

```

0001 FUNCTION_BLOCK PID_VALVE
0002 VAR_INPUT
0003   val, pos, sp                               : REAL;
0004   posEn, manEn, openMan, closeMan, res      : BOOL;
0005 END_VAR
0006 VAR_OUTPUT
0007   OPEN, CLOSE                               : BOOL;
0008 END_VAR
0009 VAR
0010   PID                                       : PID;
0011   REG_POS                                  : VALVE_REG;
0012   REG_NO_POS                              : VALVE_REG_NO_POS;
0013   RESET_TP                                 : TP;
0014   FILTER                                   : DIG_FLTR;
0015   EQV                                      : LIN_TRAFO;
0016   POS_SEL                                 : SEL2;
0017 END_VAR
0018

```

Рис. 4. Используемые переменные и их типы

На рис. 4 проиллюстрированы следующие переменные: val – текущее значение (температуры, давления, перепада и т.д.); sp – устанавливаемая величина (задается в единицах измерения контролируемой величины); pos – положение запорного органа КЗР (степень открытия [0..100 %]) (резистивный датчик положения можно подключить ко входу модуля MBA8, где после подключения необходимо выполнить юстировку входа [7, с. 89]); res – сброс значения интегральной составляющей ПИД-регулятора; posEn – флаг управления от датчика положения (состояние TRUE переключает выходы OPEN и CLOSE на блок VALVE_REG_POS и FALSE – на блок VALVE_REG_NO_POS); OPEN/CLOSE – дискретные сигналы для открытия/закрытия КЗР; manEn – флаг ручного управления открытием/закрытием клапана. В режиме ручного управления при значении FALSE – внешние сигналы игнорируются, и выходы завязаны на блоки VALVE_REG, при TRUE – ПИД-регулятор отключается и сбрасывается, а управление регулирующим клапаном осуществляется внешними сигналами: openMan – открытие в ручном режиме; closeMan – закрытие в ручном режиме.

Смоделирован процесс регулирования горячего водоснабжения (далее ГВС) центрального теплового пункта, куда на вход val поступают входные значения, снятые с датчика температуры циркулирующей цепи (рис. 5). Коэффициент пропорциональности и постоянная интегрирования с постоянной дифференцирования PID блока индивидуальны и подбираются эмпирическим путем [1]. Устанавливаемая величина температуры составляет 63 °С. Значения и коэффициенты были заимствованы из реальной функционирующей системы и использованы в качестве исходных данных.

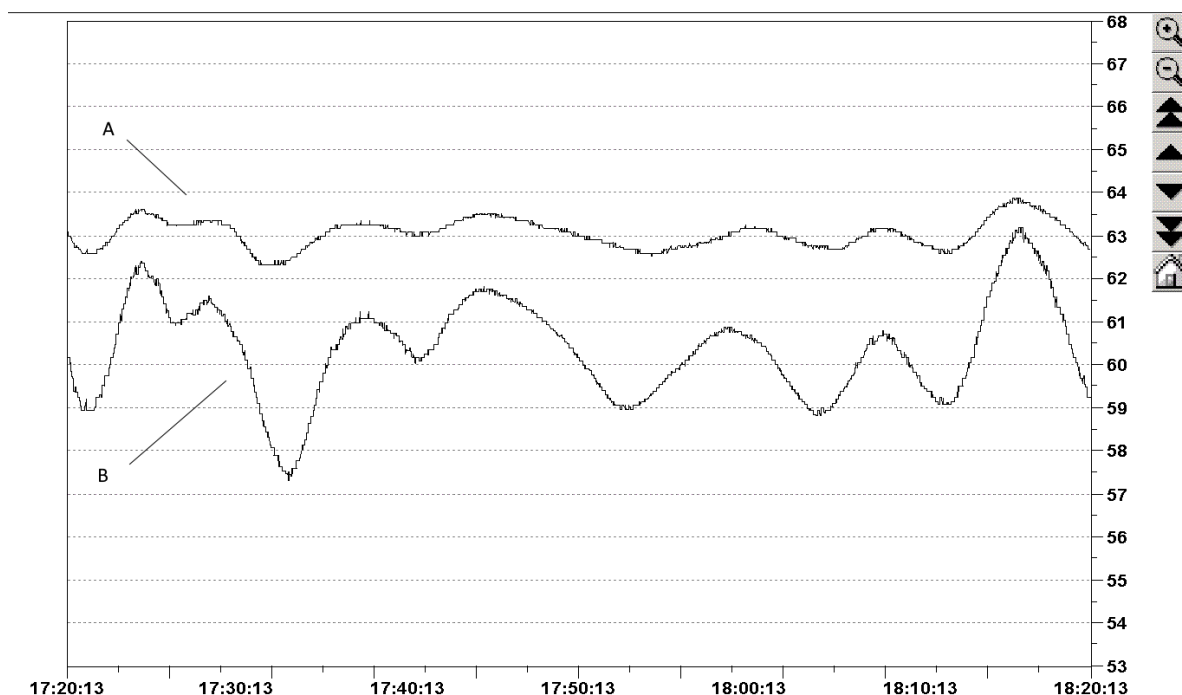


Рис. 5. Пример поддержания температуры в среде CoDeSys 2.4 (дискретность отсчета $d = 200$ мс): А – выходные значения, снятые с датчика температуры ГВС. В – входные значения, снятые с датчика температуры циркулирующей цепи

Средние 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	600	Инженер	3	600
			Слесарь	6	1 200
			КЗР		20 000
			Логистика	3	600
			Бухгалтерия	3	600
Итого		600			23 000

Оплата труда персонала, участвующего в проведении модернизации, рассчитывалась по формуле:

$$C = \frac{C_{3П}}{C_{рчМ}} K_{СН} K_{ДЗ},$$

где $C_{3П}$ – средняя заработная плата в республике Татарстан за 2018 г. (31500 руб.); $C_{рчМ}$ – среднее число рабочих часов в одном месяце; $K_{СН}$ – коэффициент отчислений на социальные нужды; $K_{ДЗ}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату.

Таким образом, внедрение предложенной системы позволяет значительно сократить персонал на обслуживание одного объекта (см. таблицу). При этом за счет дискретного управления штока существенно повышается оперативность контроля теплоносителя, где среднее время управляющего сигнала составляет не более 3 мин.

Источники

1. Вадутов О. Настройка типовых регуляторов по методу Циглера-Никольса: метод. указания к выполнению лаб. работы. Томск: Томского политехнического университета, 2014. 10 с.
2. Гуревич Д.Ф. Трубопроводная арматура: справ. пособие. 2-е изд. Л.: Машиностроение, 1981. 368 с.
3. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебник для вузов / Н.М. Капустин [и др.]; под ред. Н.М. Капустина. М.: Высшая школа, 2004. 415 с.
4. Матвеева Л.Л. Информационные технологии в менеджменте. М., 2010. 187 с.
5. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 2-е изд. М.: Физматлит, 2007. 604 с.
6. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3. Смоленск: ПК Пролог, 2006. 453 с.
7. Гуревич Д.Ф., Заринский О.Н., Косых С.И. Трубопроводная арматура с автоматическим управлением / под ред. С.И. Косых. Л.: Машиностроение, 1982. 320 с.
8. МВА8 Модуль ввода аналоговый измерительный: Руководство по эксплуатации. М.: Атлас-Пресс, 2008. 90 с.
9. Абрамов К.В. Методика определения коэффициентов ПИД-контроллера при моделировании автоматизированных систем управления

ректификационной колонной с применением пакета ChemCAD [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2011. № 2. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2011/444> (дата обращения: 13.12.2018).

10. Софиева Ю.Н., Абрамов К.В. Применение пакета моделирующих программ ChemCAD в учебно-тренировочных комплексах для изучения систем автоматизации ректификационных установок [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2012. № 1. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/619> (дата обращения: 13.12.2018).

11. Sybil P. Parker Dictionary of Scientific and Technical Terms. 6th Ed. New York: Merck, 2002. 2380 p.

12. Grigoryuk E.N., Bulkin V.V. Problems of Automation and Management Principles. Information Flow in Manufacturing [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 221. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/221/1/012006> (дата обращения: 13.12.2018).

УДК 621.92:004.032

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСКРЕТНО-ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕНА В ВИДЕ ЛУНОК

Р.А. Шакиров¹, Р.Н. Гайнуллин²

¹ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

²КНИТУ (КХТИ), г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук К.Х. Гильфанов

Аннотация. Представлены методика и результаты нейросетевого моделирования поверхностных интенсификаторов теплообмена в виде сферических выемок на основе экспериментальных данных, которая охватывает более десяти источников. Приводятся выборки действительных значений экспериментальной матрицы и результаты тестирования сети. Показана возможность и перспективы построения искусственных нейронных сетей для оптимального моделирования характеристик теплообменных поверхностей.

Ключевые слова: интенсификация теплообмена, искусственная нейронная сеть, моделирование характеристик теплообменных поверхностей.

В нефтегазовой и химической технологиях имеется большое количество теплообменной аппаратуры, в которой тепловая энергия многократно проходит преобразование. Эффективность всего

производства напрямую зависит от эффективности теплообменников. Интенсификация теплообмена и повышение энергетической эффективности теплообменных аппаратов представляют большой интерес и имеют огромное значение для многих отраслей промышленности [1, 2].

В теплообменном оборудовании широко используются поверхности с пассивными интенсификаторами теплообмена в виде полусферических (сегментных) выемок (лунок) и выступов. Сообщения об относительном повышении коэффициента теплоотдачи при относительном снижении гидравлического сопротивления значительно повысили интерес к такому типу интенсификаторов [3–9]. Они позволяют значительно повысить эффективность теплообменников. Особенно выгодно использование таких теплообменников в высокоэнергетических установках, таких как реакторы, пиролизные печи, утилизационные и газогенераторные котлы. Применение интенсифицированных поверхностей позволяет снизить массогабаритные характеристики материалоёмкость оборудования.

Расчет и проектирование интенсифицированных теплообменников с оптимальными характеристиками затрудняется проблемой обобщения результатов исследований. Анализ литературных источников показывает, что обобщить характеристики поверхностных интенсификаторов теплообмена общепринятыми уравнениями сохранения не удастся ввиду сложности тепловых и гидромеханических процессов. Последнее обуславливается также многочисленностью конструктивных параметров интенсификаторов в виде лунок. Если и удастся обобщить результаты исследований в виде эмпирических формул зависимости чисел Нуссельта от чисел Рейнольдса и Прандтля с привлечением определяющих размеров, то, как правило, только для узкого класса одиночных лунок или систем лунок в диапазоне параметров проведенных экспериментов [4].

Определенный выход из ситуации предлагают системы искусственного интеллекта, способные к обучению или самообучению. Такими являются искусственные нейронные сети (ИНС). В ИНС знания содержатся в состояниях множества нейронов и связей между ними. Из связанных определенным образом нейронов (узлов) строится нейронная сеть с определенным количеством входов и выходов. Нейросетевое моделирование позволяет обобщить результаты экспериментов сложных многопараметрических процессов, «чуть заглядывая», в некотором смысле, за пределы диапазонов параметров, в которых были проведены опыты. Нейросетевая модель представляет собой обученную компьютерную программу, которая способна прогнозировать оптимальные параметры теплообменной поверхности.

Функционирование нейронной сети состоит из двух этапов: обучения сети «правильному» или адекватному реагированию на входную информацию (входной вектор) и использования обученной сети для распознавания входных векторов. Последний этап часто называют тестированием. Другими словами, сеть учится распознаванию входных векторов, т.е. формированию выходных векторов, соответствующих распознанному классу входных векторов.

Искусственная нейронная сеть реализована при помощи нейропакета «NeuroSolutions». Он содержит мастер нейросетевых архитектур («NeuralWizard»), с помощью которого задается архитектура, подбирается обучающая выборка, критерии обучения. При решении задачи использовалась версия программы с полными функциональными возможностями.

Векторы обучающего множества предъявляются последовательно, вычисляются ошибки и весовые коэффициенты подстраиваются для каждого вектора до тех пор, пока ошибка по всему обучающему массиву не достигнет приемлемо низкого уровня. Для задания начальных значений весовых коэффициентов используется статистическая настройка, предназначенная для того, чтобы на основе дополнительной информации о данных несколько улучшить алгоритм начальной инициализации.

Принципы оптимальности сформулированы следующим образом: для каждого входного нейрона изменение входных переменных в диапазоне истинных уровней должно оказывать примерно одинаковое изменение выходного сигнала нейрона и уровень смещения для каждого нейрона должен быть установлен так, чтобы обеспечить в среднем по обучающей выборке (задачнику) максимальное значение производной для функции активации.

В качестве «учителя» использован обобщенный экспериментальный материал по теплоотдаче дискретно-шероховатых поверхностей в виде зависимости относительных чисел Нуссельта Nu от чисел Рейнольдса [1–7]. В табл. 1 представлены относительные геометрические параметры исследуемых каналов и сферических выемок, где h – глубина или высота выемки; D – диаметр лунки; H – высота проточного канала.

После настройки параметров, указав входы и выходы сети и параметры построения, программа завершает работу, создав сеть (еще не обученную, просто структуру).

Обобщение и анализ данных по теплоотдаче, проведенный в работе [1], позволили составить выборку данных для нейросетевого моделирования, представленную в табл. 2, где индекс D – диаметр лунки, Nu_0 – число Нуссельта для гладкой поверхности при том же числе Рейнольдса.

Таблица 1

Геометрические параметры исследуемых каналов и лунок

№	$h, \text{ м}$	$D, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	h/D	H/D	h/H
1	0,00071	0,00514	0,012	0,138	2,334	0,059
2	0,0015	0,00714	0,012	0,21	1,68	0,125
3	0,003	0,00916	0,012	0,327	1,31	0,25
4	0,005	0,01	0,012	0,5	1,2	0,416
5	0,00071	0,00514	0,01	0,138	1,945	0,071
6	0,0015	0,00714	0,01	0,21	1,4	0,15
7	0,003	0,00916	0,01	0,327	1,091	0,3
8	0,005	0,01	0,01	0,5	1	0,5
9	0,00071	0,00514	0,008	0,138	1,556	0,088
10	0,0015	0,00714	0,008	0,21	1,12	0,187
11	0,003	0,00916	0,008	0,327	0,873	0,375
12	0,005	0,01	0,008	0,5	0,8	0,625
13	0,00071	0,00514	0,005	0,138	0,972	0,142
14	0,0015	0,00714	0,005	0,21	0,7	0,3
15	0,003	0,00916	0,005	0,327	0,545	0,6
16	0,005	0,01	0,005	0,5	0,5	1
17	0,00071	0,00514	0,002	0,138	0,389	0,355
18	0,0015	0,00714	0,002	0,21	0,28	0,75
19	0,003	0,00916	0,002	0,327	0,218	1,5
20	0,005	0,01	0,002	0,5	0,2	2,5

Таблица 2

Выборка данных для обучения

№	$Re_D \cdot 10^{-2}$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^{-2}$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^{-2}$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^{-2}$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^{-2}$	$\frac{Nu}{Nu_0}$
1	54	1	78	1,03	92	1,06	110	1,05	150	1,24
2	70	1,07	70	1,1	120	1,25	165	1,27	205	1,23
3	65	1,8	90	1,47	120	1,75	134	1,67	165	1,64
4	62	1,44	90	1,76	118	2,1	130	2,05	160	2,4
5	38	0,93	78	1	97	1,06	121	1,07	226	1,06
6	35	0,93	54	1	70	1,07	90	1,18	121	1,1
7	90	1,7	120	1,75	130	1,8	160	1,76	210	1,7
8	62	1,92	95	2,2	114	2,25	170	1,71	2	2,5
9	55	0,95	80	1,04	97	1,26	140	1,3	160	1,28
10	66	1,6	54	1,05	70	1,27	120	1,8	180	1,36
11	19	1	50	1,5	90	1,83	120	1,75	135	1,8
12	52	2,1	66	2,24	92	2,05	170	2,7	202	2,46
13	25	0,7	43	0,7	60	0,83	85	1	115	1,02
14	47	1,3	70	1,28	1	1,3	140	1,3	210	1,3
15	59	1,67	71	1,84	1	1,95	190	2,23	210	2,15
16	48	2,9	66	3	99	3,14	136	3,3	205	3,12
17	43	0,7	59	0,8	88	0,93	102	1	206	1,02
18	47	1,6	74	1,21	108	1,41	122	1,36	2	1,5
19	55	2,2	72	2,5	1	2,94	124	3,18	206	3,54
20	44	5	72	4,6	108	5,3	130	5	207	4,84

В соответствии с табл. 1 и 2 составляется матрица, которая воспринимается нейропакетом «NeuroSolutions». Далее производится настройка параметров искусственной нейронной сети (рис. 1).

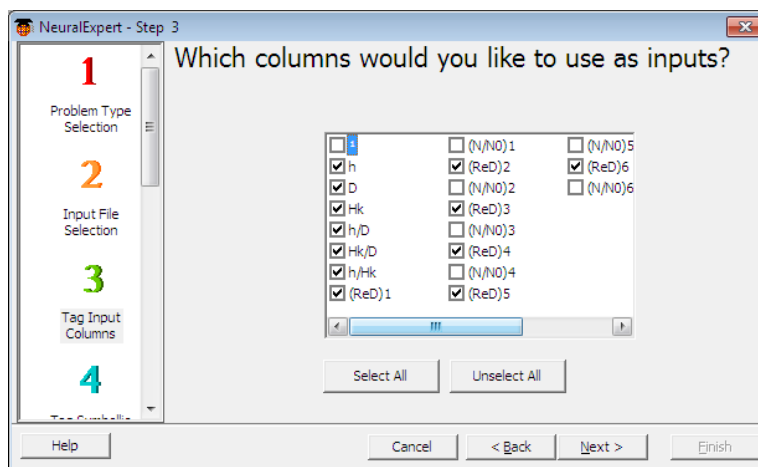


Рис. 1. Настройка параметров искусственной нейронной сети

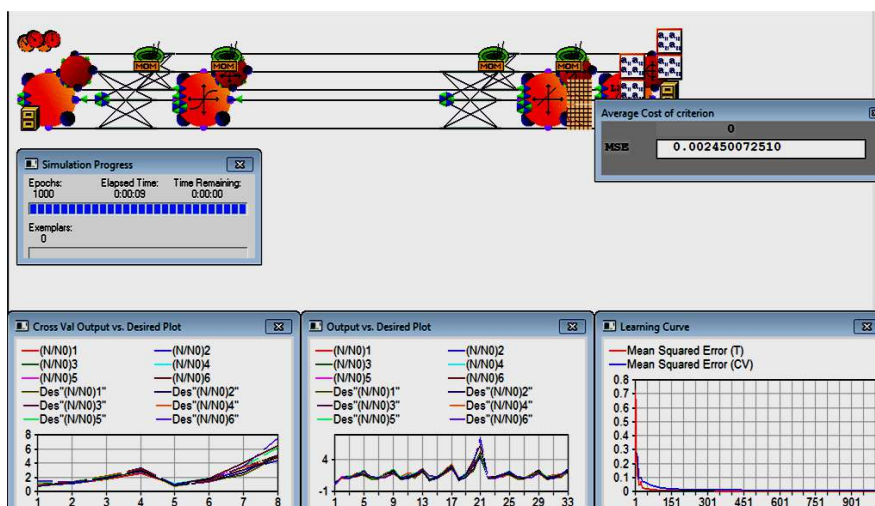


Рис. 2. Структура ИНС и обучение нейронной сети

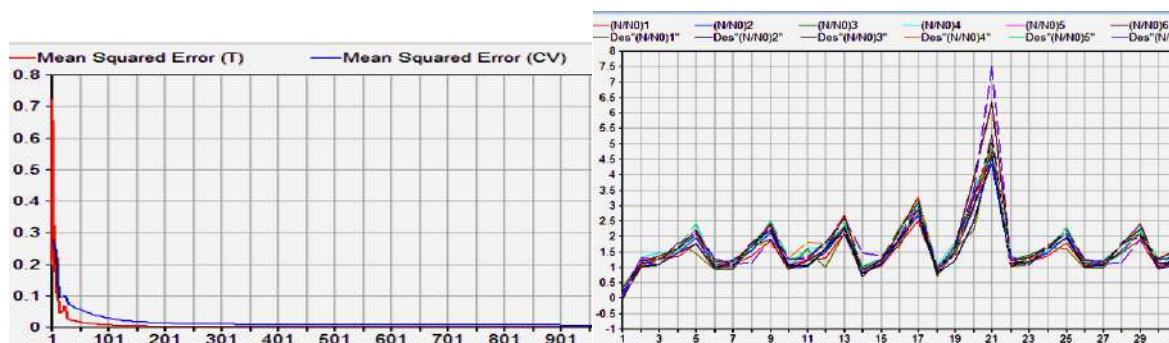


Рис. 3. Скриншоты снижения среднеквадратической ошибки (MeanSquaredError) в зависимости от количества уроков и графики прогнозируемых и действительных значений сети

Следующим этапом моделирования является процесс обучения искусственной нейронной сети (рис. 2). В процессе обучения можно наблюдать уменьшение ошибки, которое зависит от количества уроков. Это можно наглядно увидеть на рис. 3, где представлены тренды, показывающие, какие значения выдает на нашей истории сеть в процессе обучения, и какие там были значения на самом деле. Таким образом, по данным графикам видно, что ошибка обучения мала, и результаты работы сети на основе обучающих данных практически совпадают с действительными значениями выборки. Это позволяет сделать вывод, что обучение сети прошло успешно, и можно приступить к тестированию, т.е. вычислению, с какой вероятностью нейронная сеть предскажет результаты эксперимента.

В качестве тестовой матрицы используем матрицу с «неизвестными данными», которые также отобраны из [1–7], но не вошли в массив «учителя». Необходимо смоделировать (спрогнозировать) выходные данные величины $(Nu/Nu_0)_{Re}$, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Выборка данных для тестирования

$Re_D \cdot 10^{-2}$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^{-2}$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^{-2}$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^{-2}$	$\frac{Nu}{Nu_0}$	$Re_D \cdot 10^{-2}$	$\frac{Nu}{Nu_0}$
34	0,7	51,5	0,765	72,5	0,915	1	1,01	173	1,245
58,5	1,29	85	1,29	120	1,3	175	1,3	220,5	1,335
65	1,755	85,5	1,895	145	2,09	200	2,19	220	2,01
57	2,95	82,5	3,07	117,5	3,22	170,5	3,21	216,5	3,06
51	0,75	73,5	0,865	95	0,965	154	1,01	218	1,01
60,5	1,405	91	1,31	115	1,385	161	1,43	215,5	1,56
63,5	2,35	86	2,72	112	3,06	165	3,36	218	3,52
58	4,8	90	4,95	119	5,15	168,5	4,92	217,5	6,17

После тестирования обученная сеть представляет, с какой точностью были спрогнозированы данные. Это можно наблюдать на рис. 4, где представлены действительные значения (Des) и спрогнозированные нашей сетью (Out).

Среднеквадратическая погрешность нейросетевой аппроксимации, которую выдает программа, составляет порядка 0,224 %.

Таким образом, представлена возможность построения искусственных нейронных сетей для моделирования поверхностных интенсификаторов теплообмена в виде сферических выемок. Тестирование

нейросети показало погрешность моделирования 0,2 %, что можно считать удовлетворительной, учитывая разброс в выборке данных, связанных с погрешностью базовых экспериментальных данных (5–15) %.

Действительные значения экспериментальной матрицы				
Des(N/N0)1	Des(N/N0)2	Des(N/N0)3	Des(N/N0)4	Des(N/N0)5
0.7000	0.7650	0.9150	1.0100	1.2450
1.2900	1.2900	1.3000	1.3000	1.3350
1.7550	1.8950	2.0900	2.1900	2.0100
2.9500	3.0700	3.2200	3.2100	3.0600
0.7500	0.8650	0.9650	1.0100	1.0100
1.4050	1.3100	1.3850	1.4300	1.5600
2.3500	2.7200	3.0600	3.3600	3.5200
4.8000	4.9500	5.1500	4.9200	6.1700

Результаты тестирования				
Out(N/N0)1	Out(N/N0)2	Out(N/N0)3	Out(N/N0)4	Out(N/N0)5
0.8208	0.7908	0.8972	0.9327	0.8786
1.0815	1.1496	1.2859	1.1939	1.2575
1.6657	1.8461	1.9415	2.0374	2.1065
2.5231	2.7753	2.9447	2.9881	3.1415
0.9510	0.8528	0.9685	1.0935	0.9641
1.5427	1.5529	1.6670	1.8590	1.7820
3.0583	3.0729	3.3837	3.4103	3.4365
4.7984	4.3899	5.1368	4.7835	4.7427

Рис. 4. Скриншоты действительных значений экспериментальной матрицы и результаты тестирования сети

Также следует констатировать, что для практического использования результатов моделирования необходимо расширить спектр данных по поверхностным интенсификаторам теплообмена. Нейросетевая модель может быть использована для оптимизации теплообменных поверхностей при различных рабочих условиях. Показана хорошая эффективность моделирования с помощью модулей пакета «NeuroSolutions».

Источники

1. Теплогидравлическая эффективность перспективных способов интенсификации теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования. Интенсификация теплообмена: монография / Ю.Ф. Гортышов [и др.]; под общ. ред. Ю.Ф. Гортышова. Казань: Центр инновационных технологий, 2009. 531 с.
2. Экспериментальное исследование тепловых и гидравлических характеристик теплообменных поверхностей, формованных сферическими лунками / М.Я. Беленький [и др.] // ТВТ. 1991. Т. 29, № 6. С. 1142–1147.
3. Экспериментальное исследование теплогидравлических

характеристик поверхностей с коридорным расположением лунок / С.А. Бурцев [и др.] // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. № 1. С. 348–369.

4. Попов И.А., Щелчков А.В., Яркаев М.З. Теплогидравлические характеристики дискретно-шероховатых труб на переходных режимах течения // Известия вузов. Авиационная техника. 2013. № 1. С. 61–65.

5. Шанин Ю.И., Шанин О.И. Интенсификация теплоотдачи нанесением сферических лунок на стенки каналов // Конвективный теплообмен: матер. Минского междунар. форума ММФ-2004. Минск, 2004.

6. Comparison of Thermo-Hydraulic Characteristics for Two Types of Dimpled Surfaces / I. Borisov [et al.] // ASME Turbo Expo 2004: Power for Land, Sea, and Air. Vienna, 2004. Paper № GT2004-54204. Pp. 933–942.

7. Экспериментальное исследование теплогидравлических характеристик поверхностей с коридорным расположением лунок / С.А. Бурцев [и др.] // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. № 1. С. 348–369.

8. Numerical simulation of the turbulent air flow in the narrow channel with a heated wall and a spherical dimple placed it for vortex heat transfer enhancement depending on the dimple depth / S.A. Isaev [et al.] // Int. J. Heat and Mass Transfer. 2016. Vol. 94. Pp. 426–448.

9. Isaev S.A., Shchelchkov A.V. Intensification of vortex streams in the flow around thick lifting surfaces and due to creation of oval dimpled reliefs // Proc. of the 7th International Conference on Vortex Flows and Vortex Models (ICVFM 2016). Rostock, 2016. 11 p.

УДК 65.011.56

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПО СОЗДАНИЮ МИКРОКЛИМАТА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ КЛУБНИКИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ

К.Н. Шакирова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Науч. рук. канд. техн. наук М.А. Сафин

Аннотация. В данной статье рассмотрен процесс автоматизации теплицы по выращиванию клубники и поддержания микроклимата в ней для максимальной урожайности во все времена года.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, теплица, автоматизация, выращивание клубники, поддержание микроклимата, критерий управления, исполнительный механизм.

Во все времена года клубника пользуется большой популярностью у населения нашей необъятной страны. В настоящее время получить свежий урожай клубники в любое время года не является весомой проблемой благодаря автоматизированным теплицам.

Применяя современные агротехнические методы, тепличные хозяйства получают 50 т клубники высочайшего качества с одного гектара. Но этот показатель не является предельным – автоматизация технологических процессов в сочетании с увеличением производственных площадей позволяет еще больше повысить урожайность и одновременно снизить себестоимость продукта. Сравнительно с открытым грунтом производство клубники в теплицах предоставляет следующие преимущества:

- круглогодичный цикл – сбор и реализация свежей клубники не только летом, но и ранней весной, осенью и зимой, когда цена достигает максимума;

- замкнутый технологический процесс – значительная экономия водопотребления и питательных веществ;

- возможность полной или частичной автоматизации – сокращение трудозатрат и минимизация агротехнических ошибок.

Автоматизация теплицы – это современный, удобный способ повышения урожайности в парнике и подразумевает выполнение ряда операций без участия человека, а именно:

- мульчирование (восстановление) почвенного слоя.

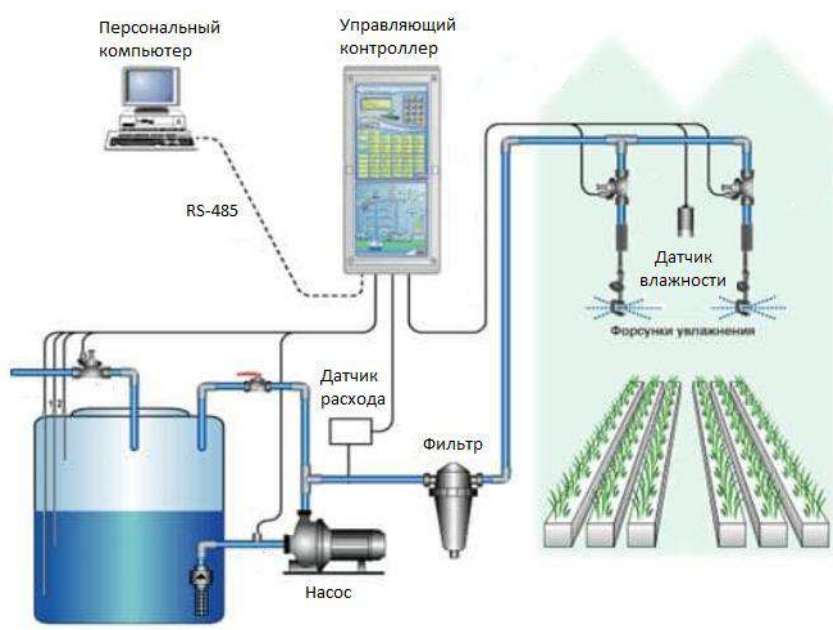
- поддержка требуемых температурных параметров внутри;

- автополив растений посредством капельного орошения.

Эффективность процесса выращивания урожая, в данном случае клубники, во многом зависит от микроклимата, который создается в теплице. Правильно выбранная технология поддержания микроклимата – одна из важнейших составляющих, позволяющих повысить урожайность. А эффективное использование энергоресурсов – дополнительная возможность существенно уменьшить себестоимость производимой продукции. Современная автоматизированная система управления (АСУ) микроклиматом должна поддерживать не только заданный режим, но и максимально эффективно использовать возможности исполнительных АСУ (см. рисунок).

В настоящее время ведется активная модернизация теплиц, связанная с повышением количества исполнительных АСУ: разделение контуров, модернизация форточной вентиляции, установка вентиляторов, установка систем зашторивания. И чем больше исполнительных систем имеет теплица, тем важнее для нее выбор критерия, определяющего

стратегию поддержания микроклимата. Например, одним из наиболее популярных критериев управления является экономия теплоресурсов. В данном случае целесообразнее активно использовать нижние контуры обогрева, т.к. они меньше всего отдают тепла внешней среде. Другой подход к выбору критерия предполагает поддержание температуры у точки роста выше, чем у корней растения и тем самым подразумевает активное использование верхних контуров обогрева. Еще один критерий управления основывается на том, что нижний контур должен поддерживать в корневой зоне постоянную температуру, так называемый оптимум, и лишь при исчерпанных ресурсах других исполнительных систем отклоняться от него.



Автоматизированная система управления

Надежность является одной из основных характеристик АСУ. Поэтому в качестве аппаратно-технической базы системы был выбран контроллер, который содержит современные средства защиты от сбоев: копию основных параметров работы системы в энергонезависимой памяти, средство защиты от зависаний и т. д. Помимо контроллера АСУ микроклиматом включает в себя набор датчиков для измерения параметров внутри теплицы. Для передачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы система включает в себя блок релейной коммутации с возможностью ручного управления.

Важным элементом системы управления является диагностика неисправностей и возможностей системы управления. Иногда в процессе эксплуатации случаются непредвиденные ситуации, связанные с

нестабильностью температуры подаваемой воды, повышенным износом и люфтом исполнительного механизма или связанные с другого рода ограничениями, накладываемыми на исполнительные системы. Заложенные в систему методы диагностики должны выявлять нестандартные ситуации и своевременно перестраивать алгоритмы управления, поддерживая при этом параметры микроклимата с минимально возможным отклонением. При невозможности разрешения ситуации без участия человека система выдает соответствующее аварийное сообщение.

Проект управления и контроля климата в тепличных хозяйствах по выращиванию клубники является уникальным. Температура, влажность и уровень CO измеряются с помощью датчиков, и с помощью контура ПИД-регулирования вычисляются и формируются корректирующие управляющие воздействия, которые реализуются с помощью отопительной системы, кондиционера, системы подачи газа CO. В помещении также находится пульт управления оператора и системы сбора информации. При отклонении значений климатических условий от нормы, автоматически принимаются управляющие воздействия. При изменении нормальных условий с помощью пульта оператора принимаются управляющие воздействия, которые возвращают систему в нормальный режим.

Автоматизированная система управления и контроля климата в тепличных хозяйствах по выращиванию клубники должна быть распределенной и выполнена на базе микропроцессорной техники.

По иерархическому принципу автоматизированную систему управления тепличным хозяйством должна подразделяться на уровни:

1) нижний уровень:

- измерительные преобразователи параметров почвы;
- измерительные преобразователи параметров воздушной среды;
- измерительные преобразователи параметров сети водоснабжения;
- регулирующие и другие исполнительные механизмы;

2) верхний уровень:

- операторская станция (рабочее место оператора).

АСУ тепличным хозяйством должна:

– обеспечивать эффективную работу технологического оборудования без постоянного присутствия эксплуатационного персонала в зоне размещения оборудования с минимальным количеством ручных операций и безопасными условиями труда;

– обеспечивать высокую надежность автоматического регулирования и управления технологическим процессом за счёт применения современных технических средств и программного обеспечения;

– облегчать работу обслуживающему персоналу за счёт упрощения процедуры пуска оборудования, ведения технологического процесса, перехода с одной скважины на другую и т.д.

Обеспечивать взаимодействие с:

– системами сбора и обработки информации – по сети RS-485;

– исполнительными механизмами и агрегатами – по физическим каналам связи;

– системой автоматического управления исполнительными устройствами – по сети RS-485.

Таким образом, автоматизация теплицы нужна не только для удаленного введения хозяйства, но и для освобождения от рутинной работы и расширения списка растений, в данном случае клубника, которая может быть выращена в теплице круглогодично. Для этого достаточно правильное поддержание микроклимата контроллером, который создает все необходимые условия и комфорт для роста клубники даже в зимний период времени.

Источники

1. Курдюмов Н., Малышевский К. Умная теплица. М: Инфра-М, 2007. 19 с.

2. Системы автоматизации теплиц [Электронный ресурс]. URL: <http://automation.pro/model-projects/sistemy-avtomatizacii-teplic> (дата обращения: 27.01.2019).

УДК 62.519

РАЗРАБОТКА ИНФРАКРАСНОЙ ПАЯЛЬНОЙ СТАНЦИИ

А.Н. Шамсияров¹, А.А. Каюмов²

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук А.Н. Богданов

Аннотация. Наиболее эффективным инструментом для пайки BGA компонентов являются инфракрасные станции. Но самый дешевый вариант таких паяльных станций стоит около 30000 руб. при минимальном функционале и спорном качестве. Поэтому было решено разработать более доступную и функциональную инфракрасную паяльную станцию. Разрабатываемая станция обеспечит высокую скорость локального бесконтактного нагрева и эффективность управления температурным профилем. Достоинством разрабатываемой инфракрасной паяльной станции является: большая зона нагрева, наличие верхнего и нижнего нагревателя, слабая деформация материнской платы, локальное излучение верхнего нагревателя, быстрая и безопасная перепайка BGA чипов.

Ключевые слова: инфракрасная паяльная станция, бесконтактный нагрев, микросхема, автоматизация.

В современном мире человек практически никогда не расстается с различными электронными устройствами (смартфоны, планшеты, проигрыватели и др.). Эти устройства значительно расширяют возможности людей, позволяя оперативно общаться, получать информацию и т.п. Этого удалось добиться благодаря миниатюризации электронных плат и радиокомпонентов.

Но уменьшение электронных плат и компонентов усложняет процесс их монтажа и ремонта. Массивы выводов при использовании поверхностного монтажа «две линии по бокам» (SOIC) производятся всё с меньшим и меньшим расстоянием и шириной выводов для уменьшения места. Выводы располагаются слишком близко, и растёт процент брака по причине спаивания припоем соседних контактов. Для повышения эффективности крепления компонентов на электронной плате применяют метод BGA (Ball grid array — массив шариков) [1].

При BGA выводы представляют собой шарики из припоя, нанесённые на контактные площадки с обратной стороны микросхемы. Микросхему располагают на печатной плате. Затем микросхему нагревают с помощью паяльной станции или инфракрасного источника так, что шарики начинают плавиться. Поверхностное натяжение заставляет расплавленный припой зафиксировать микросхему ровно над тем местом, где она должна находиться на плате и не позволит шарикам деформироваться.

Любые электронные устройства имеют риск поломки. Нередко причиной выхода из строя аппаратной части устройств являются проблемы с его электронной платой. В случае ремонта устройства с BGA микросхемами очень важным становится вопрос наличия высококачественного инструмента пайки.

Пайка феном крайне нежелательна как для печатной платы, так и для самого чипа. Во время пайки надо нагревать сам чип и держать высокую температуру достаточно долгое время, чтобы оплавилась шары. Односторонний нагрев при пайке феном плохо влияет на компоненты, т.к. надо разогреть всю область. Повышается риск перегрев чипа, что уменьшает срок его работы, а также под воздействием высокой температуры печатная плата деформируется из-за неравномерного нагрева.

Инфракрасная (ИК) паяльная станция – автоматизированное специализированное оборудование для пайки BGA компонентов. В ней имеются нижний подогрев и верхний нагреватель. Вначале включается

нижний подогрев, затем при достижении определенной температуры включается выдержка и верхний подогрев. Верхний подогрев нагревает только поверхность чипа, и проводится пайка. Температуру нагрева контролирует регулятор, к которому подключена термопара на входе, на выходе керамический ИК нагреватель [2]. Достоинствами такой станции являются:

- возможность регулирования температуры воздействия практически близко к процессу оплавления припоя;
- регулирование времени пайки;
- отсутствие деформации платы;
- не уменьшается ресурс чипа.

Но самый дешевый вариант ИК-станции стоит около 30000 руб., при минимальном функционале и спорном качестве. Поэтому было принято решение разработать более доступный вариант с необходимым функционалом и качеством пайки.

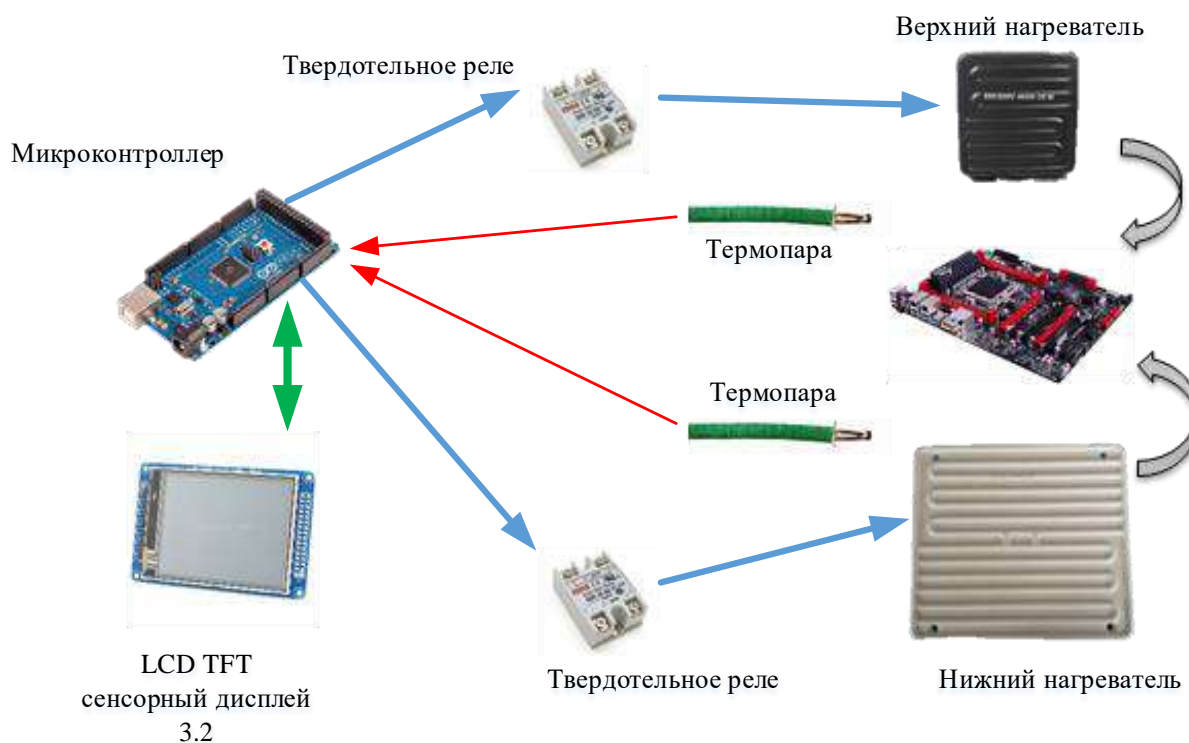
Разрабатываемая ИК-станция состоит из контроллера управления, нижнего и верхнего нагревателей, средств измерения температуры и дисплея (см. рисунок). Контроллер двухканальный, для контроля температуры к первому и второму каналу подключаются термопары. ИК-станция сможет работать в автоматическом и ручном режиме. Автоматический режим работы обеспечит поддержание температуры через обратную связь с термопар (в первом канале). В ручном режиме мощность в каждом канале можно будет регулировать в диапазоне 0–99 %. В памяти контроллера будут заложены термопрофили для пайки BGA для свинецсодержащего припоя и безсвинцового припоя. При необходимости их можно будет изменить.

Данные, полученные с верхней и нижней термопар, передаются на микроконтроллер для обработки. Микроконтроллер на основе полученных данных вырабатывает управляющее воздействие и передает сигнал на инфракрасные нагреватели. Таким образом, система функционирует в режиме: 1) предварительный нагрев нижней поверхности; 2) нагрев верхней поверхности; 3) пайка радиодетали.

Разрабатываемая ИК-станция обеспечит высокую скорость локального бесконтактного нагрева и эффективность управления температурным профилем. Из всего спектра ИК излучения с длинами волн в диапазоне 0,72–1000 мкм для пайки можно будет использовать часть диапазонов: близкое 0,72–1,5 мкм, среднее 1,5–5,6 и дальнее излучение 5,6–10 мкм.

Температура нагрева тела зависит от длины волн излучения, степени черноты или его отражающей способности, длительности облучения и

массы. Чем короче длина волны излучения, тем глубже оно проникает в тело, поэтому короткое ИК-излучение обеспечит более глубокое его проникновение по сравнению со средним и дальним.



Устройство ИК-станции

На основе проведенных экспериментов и анализа литературы были определены термопрофиля для свинцоводержащего припоя и безсвинцового припоя. Согласно полученным результатам пик температуры, необходимой для пайки свинца, составляет $271,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Рекомендуется, чтобы термопрофиль ИК пайки выбирался в дальнейшем в соответствии с паяльной пастой для уменьшения пористости поверхностного монтажа соединений.

Достоинствами разрабатываемой инфракрасной паяльной станции являются большая зона нагрева, наличие верхнего и нижнего нагревателя, слабая деформация материнской платы, локальное излучение верхнего нагревателя, быстрая и безопасная перепайка BGA чипов. Также ИК-станция сможет запоминать 10 термопрофилей, благодаря компактному устройству ее можно будет разместить на небольшой площади стола, максимальная рабочая температура – $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Станцию можно использовать для поверхностного монтажа, демонтажа различных типов компонентов: FCBGA, MLF, LFBGA, CGA, CCGA, PBGA, CSP, QFN, PGA, BGA.

Источники

1. Гераничев В.Н. Повышение надежности паяных соединений в условиях термомеханических воздействий путем капсулирования матрицы шариковых выводов BGA корпусов // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2009. № 1 (59). С. 61–66.

2. Авдеев В.А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование. М.: ДМК, 2016. 848 с.

Секция 6. ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 355.695.1

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СМАЧИВАНИЯ ГЕЛЕОБРАЗНОГО ТОПЛИВА

К.А. Батищева

ТПУ, г. Томск

bka1801@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук Г.В. Кузнецов

Аннотация. Исследованы свойства смачиваемости гелеобразного топлива, представляющего собой эмульсию «водный раствор ПВС – масло» с добавлением ПАВ. Степень наполнения маслом криогелей оценивали по изменению смачиваемости поверхности образца каплей масла в исходном состоянии. Для этого экспериментально определен статический контактный угол, образованный каплей масла на поверхности топливного пеллета, с использованием теневой методики.

Ключевые слова: статический контактный угол, смачивание, криогель, топливо.

С ростом объема производства увеличивается количество промышленных отходов нефтяного происхождения. Последние, проникая в почву и грунтовые воды, загрязняют обширные территории, нарушая экологический баланс [1]. В связи с этим, поиск способов утилизации и переработки промышленных отходов, не оказывающих вредного влияния на окружающую среду, является актуальным.

Одним из перспективных способов переработки отработанных масел нефтяного происхождения является приготовление на их основе криогельных топлив, представляющих собой эмульсию «водный раствор ПВС – масло» с добавлением ПАВ [2]. Однако для такого топлива характерен выход масла из объема полимерной матрицы на поверхность образца. Целью настоящей работы являлась оценка степени наполнения маслом криогелей по изменению смачиваемости поверхности образца.

Процесс приготовления маслonaполненных криогелей состоял из трех основных этапов. На первом этапе порошок ПВС растворяли в воде. На втором этапе в полученные образцы водных растворов ПВС вводили масло И-20 и ПАВ для повышения стабильности водомасляных эмульсий. На третьем этапе полученные жидкие растворы с разными концентрациями компонентов заливали в формы и замораживали при температуре -20°C в течение 12 часов. После этого их размораживали при температуре 20°C в течение 12 часов. Число циклов заморозки–разморозки составляло не менее 15.

Составы топливных композиций, % масс

Водный раствор ПВС 5%	Водный раствор ПВС 10 %	Масло И-20	ПАВ
79,5	–	20	0,5
59,5	–	40	0,5
49,5	–	50	0,5
39,5	–	60	0,5
–	79,5	20	0,5
–	59,5	40	0,5
–	49,5	50	0,5
–	39,5	60	0,5

Исследование свойств смачиваемости криогелей проведено на установке по определению контактного угла (рис. 1).

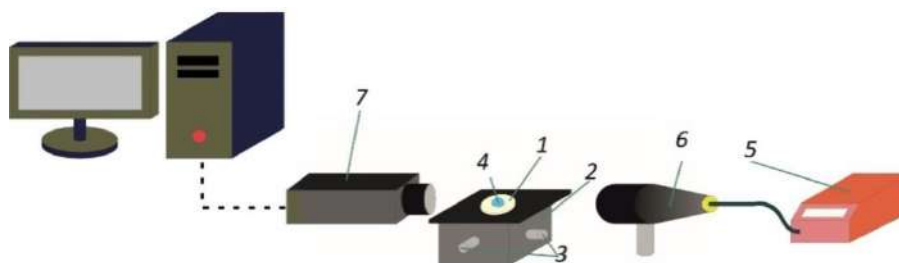


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – топливный пеллет; 2 – рабочий столик; 3 – гониометр; 4 – капля; 5 – источник света; 6 – телецентрическая труба; 7 – видеокамера

Согласно экспериментальной методике [3] топливный пеллет (1) располагался на рабочем столике (2), который выравнивался гониометром (3). Капля (4) масла объемом 5 мкл осаждалась на поверхность пеллета дозатором. Пучок рассеянного света генерировался от источника (5), преобразовывался в плоскопараллельный в телецентрической трубе (6) и освещал каплю в горизонтальном направлении. Съемка процесса производилась видеокамерой (7) с частотой 20 кадров в секунду. По полученным теневым изображениям определены статические контактные углы (θ) капли с поверхностью. Размах значений θ не превышал 3 градусов.

Смачивание поверхности топлива со временем после дозирования капли характеризовалось усредненными значениями θ (рис. 2).

Аппроксимационные кривые (рис. 2) построены с помощью метода наименьших квадратов. Изменения θ в течение 20 с после осаждения капли на поверхность топливного пеллета характеризуются логарифмической зависимостью:

$$\theta = -a \cdot \ln(t) + b,$$

где константа a изменяется пропорционально объемной доли масла в образце гелеобразного топлива; b зависит от концентрации водного раствора ПВС.

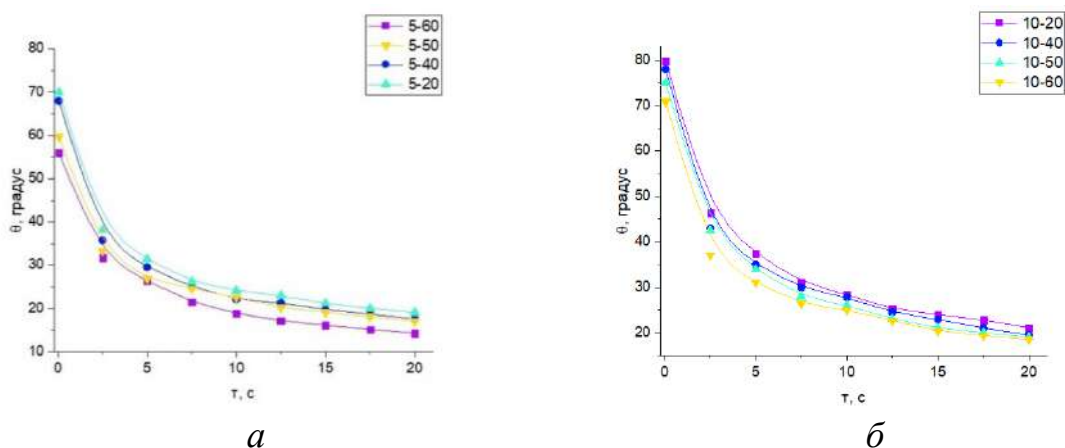


Рис. 2. Зависимости контактного угла капли масла от времени: а – криогели на основе 5 %-го раствора ПВС; б – криогели на основе 10 %-го раствора ПВС

По результатам анализа полученных зависимостей (рис. 2) установлено, что более явные олеофильные свойства характерны для образцов на основе 10 % раствора ПВС. Для таких пеллетов начальный θ (в момент отрыва капли масла от наконечника дозатора) меньше на 12 % по сравнению с образцами на основе 5 % раствора ПВС. Можно сделать вывод, что полимерная составляющая в составе топлив повышает их олиофобность. Также установлено, что увеличение концентрации масла в криогелях ведет к улучшению олеофильных свойств, что свидетельствует о выходе пластификатора из объема на поверхность топливных образцов [4]. В условиях смачивания водой можно предположить обратный эффект. С увеличением содержания масла θ капли дистиллированной воды с поверхностью криогеля будет увеличиваться.

Источники

1. Municipal solid waste recycling by burning it as part of composite fuel with energy generation / D. Glushkov [et al.] // Journal of Environmental Management. 2019. Vol. 231. P. 896–904.
2. Glushkov D.O., Nigay A.G., Yashutina O.S. The gel fuel ignition at local conductive heating // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2018. Vol. 127. Pp. 1203–1214.
3. Unification of the textures formed on aluminum after laser treatment / G.V. Kuznetsov [et al.] // Applied Surface Science. 2019. Vol. 469. Pp. 974–982.

4. Манжай В.Н., Фуфаева М.С. Изготовление криогелей на основе поливинилового спирта как способ рациональной утилизации отработанных масел // Химия и технология топлив и масел. 2015. № 5 (591). С. 40–43.

УДК 621.18

ПРОЦЕСС ТЕПЛООБМЕНА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ПРИ СЖИГАНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

А.В. Вашурина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
dfiehbyf@gmail.com
Науч. рук. д-р техн. наук А.В. Дмитриев

Аннотация: в работе изложена разработка подходящей конструкции маломощного котла с типом горелки Polidoro Premix с двумя тактами нагрева теплоносителя: в первом контуре происходит нагрев воды от стенок топочной камеры, в которой горит газообразное топливо, во втором – от дымовых газов, протекающих через чугунную стенку встроенного теплообменника. В ходе решения проблемы была разработана 3D модель с заданными конструктивными параметрами, и выявлены оптимальные размеры топочной камеры для более эффективной работы устройства.

Ключевые слова: котел, камера сгорания, исследование, геометрические параметры, теплоотдача, расчет.

В настоящее время широкое применение в мире нашли котлы малой мощности, которые отличаются простотой конструкции, обладают высокой степенью автоматизации технологического процесса и не требуют больших затрат при ремонте. На данный момент современная котельная техника малой мощности развивается в следующих направлениях: повышение энергетической эффективности путем снижения тепловых потерь и наиболее полного использования энергетического потенциала топлива, уменьшение габаритов котельного агрегата за счет интенсификации процесса сжигания топлива.

Отопительный котел представляет собой устройство, которое при помощи сгорания топлива будет осуществлять нагрев теплоносителя, в данном случае воды. Далее нагретый теплоноситель будет циркулировать по системе отопления, отдавая полученную теплоту от сгорания топлива через радиаторы, теплый пол и другие устройства, тем самым обогревая помещение.

В данной работе исследовалось влияние геометрических размеров топки котла при сгорании углеводородного топлива. Для исследования процесса сгорания углеводородного топлива принимался природный газ.

Для расчета сгорания углеводородного топлива применен метод конечных элементов в программном комплексе ANSYS Fluent. В ходе исследования использовалась модель турбулентности – SST. Модель горения – Finite Rate Chemistry and Eddy Dissipation.

Поставлена задача провести оценочный расчет процесса теплообмена между продуктами сгорания в топке камеры сгорания и омывающим ее теплоносителем. Для упрощения расчета данная задача разделена на две области: определение теплоотдачи от продуктов сгорания к внутренней стенке камеры сгорания и определение теплоотдачи от омывающего теплоносителя к внешней стенке камеры сгорания. Исследования, направленные на определение теплоотдачи от продуктов сгорания к внутренней стенке камеры сгорания, показали, что увеличение внутреннего диаметра камеры сгорания увеличивает ее эффективность. Для определения оптимальной ширины сечения потока необходимо провести решение, основанное на совместном рассмотрении двух исследуемых областей, вследствие расходящихся значений коэффициента теплоотдачи и эффективности при разных значениях диаметра внутренней стенки камеры сгорания. Результаты численного моделирования показали, что для создания наиболее эффективной камеры сгорания для котла необходимо конструктивно оформлять камеру сгорания таким образом, чтобы расстояние между горелкой и внутренним контуром камеры сгорания было минимальным. Исследованы разные варианты исполнения камеры сгорания при изменении ее внутреннего диаметра. В данной работе сделан вывод, что для нахождения оптимальных конструкционных параметров эффективной работы камеры сгорания необходимо проводить совместное исследование двух областей одновременно. Полученные результаты решения двух областей отдельно дают противоречивые результаты в области, где поверхность омывается теплоносителем. С увеличением внутреннего диаметра камеры сгорания повышается эффективность работы камеры сгорания. При этом во внутренней области, где происходит сгорание природного газа, наблюдается уменьшение эффективности работы камеры сгорания по мере роста диаметра внутренней камеры сгорания. Поэтому для нахождения оптимального значения внутреннего диаметра камеры сгорания требуется учитывать теплообмен в двух областях одновременно.

Для численного расчета в программном комплексе ANSYS Fluent была построена 3D модель камеры сгорания. Принимались следующие геометрические размеры камеры сгорания: длина – 600 мм, диаметр в ходе исследований варьировался. Внутри камеры сгорания использовалось газогорелочное устройство фирмы Polidoro Premix диаметром 60 мм и длиной 600 мм.

В докладе продемонстрирована зависимость суммарного теплового потока Q от диаметра камеры сгорания d . Исследовалась камера сгорания, выполненная из различных материалов: чугуна и листовой стали.

Численный расчет показал, что увеличение диаметра камеры сгорания котла отрицательно сказывается на эффективности работы котла, уменьшая его КПД. Камера сгорания, выполненная из чугуна, более эффективна для использования.

В результате проведенных расчетов газового котла малой мощности можно сделать вывод, что найденные параметры соответствуют заданной теплопроизводительности.

При выполнении данной работы были определены тепловые нагрузки во всех контурах котла, произведен расчет по нахождению конструктивных элементов устройства, подобран оптимальный тип горелки, найден расход теплоносителей для полноценного теплообеспечения.

Также были проведены тепловые расчеты топки и теплообменника, встроенного в котел.

Можно сделать вывод, что с начальными параметрами котла, которыми мы задались, котел малой мощности реален в конструировании и дальнейшей эксплуатации.

Источники

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) /под ред. Н.В. Кузнецов [и др.]. 2-е изд. перераб. М.: Энергия, 1973. 296 с.

2. Шумилин Е.В., Псаров С.А. Тепловой расчет котла. Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2013. 77 с.

УДК 66.074.2

УЛАВЛИВАНИЕ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССАХ ПНЕВМОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

И.И. Гиззатов¹, И.И. Хакимов², В.Э. Зинуров³
^{1,2,3}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
^{1,2,3}vadd_93@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук А.В. Дмитриев

Аннотация. Высокоэффективная сепарация газового потока от мелкодисперсных твердотельных частиц при малых потерях давления в аппарате является одним из

основных показателей при выборе очистительного устройства. В данной работе предлагается разработанный авторами прямоугольный сепаратор для сепарации газового потока от частиц малого диаметра до 10 мкм. Представлен принцип действия работы прямоугольного сепаратора.

Ключевые слова: прямоугольный сепаратор, циклон, мелкодисперсные частицы, сепарация газа, пневмотранспортирование, пневмотранспорт.

При пневмотранспортировании полидисперсного материала особое внимание уделяется сепарационным установкам. Как правило, улавливаемый материал является основным продуктом процесса (например, твердые частицы в процессе распылительной сушки), который можно использовать повторно, что позволит снизить экономические затраты предприятия. Однако в реальных производственных условиях уловить все твердые частицы остаточного продукта практически невозможно в большей степени из-за сложности существующих аппаратов к улавливанию мелкодисперсных частиц до 10–20 мкм. Поэтому чрезвычайно актуальной проблемой является повышение эффективности улавливания мелкодисперсных твердых частиц размером до 10–20 мкм [1, 2].

Среди зарубежных и отечественных компаний, занимающихся исследованием и внедрением в промышленность современного пылегазоочистного оборудования, стоит отметить: ОАО «НИИОГАЗ» (Россия), WVFTECGmbH&Co. KG (Германия), GEWATER&PROCESS TECHNOLOGIES (США) и др. Известны разработки по очистке загрязненного воздуха системой механической и химической фильтрации (компания IngersollRand, США). Однако стоимость таких комплексных систем очистки может достигать 2–3 тыс. долларов. В целом, анализ современного состояния исследований по данной проблеме показывает, что, несмотря на большое количество публикаций, ряд вопросов остается нерешенным.

Для решения данной проблемы авторами данной статьи предлагается использовать разработанный прямоугольный сепаратор, который состоит из прямоугольного корпуса, входного и выходного патрубков и нескольких рядов двутавровых элементов внутри аппарата (см. рисунок). Описать процесс очистки газового потока в прямоугольном сепараторе можно следующим образом: в ходе движения газового потока внутри устройства между элементами аппарата возникает центробежная сила, которая закручивает многофазный газовый поток, в результате частицы выбиваются из структуры потока. Таким образом, достигается улавливание полидисперсных частиц. Корпус устройства является разборным, что позволяет с легкостью произвести его очистку от частиц пыли, осевших на стенках элементов и на дне устройства. Также в дне устройства проделано

несколько отверстий, предназначенных для удаления осевших частиц пыли. Особенностью предлагаемого устройства является существенное увеличение центробежной силы, возникающей внутри аппарата между двутавровыми элементами, при постоянной входной скорости. Этому явлению способствует расположение двутавровых элементов относительно друг друга.



3D модель прямоугольного сепаратора (вид в разрезе)

В ходе разработки прямоугольного сепаратора была создана 3D модель с помощью программного комплекса Ansys Fluent. Далее была произведена серия численных исследований, которая позволила установить оптимальные соотношения между различными конструктивными параметрами аппарата: длина двутавровых элементов, длина выступов двутавровых элементов, толщина элементов, расстояние между рядами элементов и др. и технологическим параметром энергетического оборудования и скоростью газового потока, которая нагнетается компрессором. Также были рассмотрены различные формы элементов внутри прямоугольного сепаратора: двутавровые и П-образные элементы. В ходе работы исследовалось необходимое количество рядов двутавровых элементов, которое позволит достичь необходимой эффективности очистки газового потока при умеренно низком гидравлическом сопротивлении. Результаты показали, что использование сепаратора с двутавровыми элементами по эффективности улавливания частиц является выгоднее, чем с П-образными элементами. Потери давления в аппаратах, как и в первом исследовании, оставались практически одинаковыми, равные в среднем 302 Па у сепаратора с двутавровыми элементами против 289 Па у сепаратора с П-образными элементами.

Достоинства прямоугольного сепаратора являются высокая эффективность улавливания полидисперсных частиц, низкое гидравлическое сопротивление, простота использования, ремонтпригодность и др.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4522.2018.8.

Источники

1. Старк С. Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии: учебник для вузов по специальности «Теплотехника и автоматизация металлург. печей» М.: Металлургия, 1977. 328 с.

2. Страус В. Промышленная очистка газов / пер. с англ. Ю.Я. Косого. М.: Химия, 1981. 616 с.

3. Улавливание частиц из дымовых газов прямоугольными сепараторами / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 15. С. 78–80.

УДК 66.066

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ ИЗ ЗАГРЯЗНЕННОГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СЕПАРАТОРАХ

С.В. Данг¹, А.А. Ибадов²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

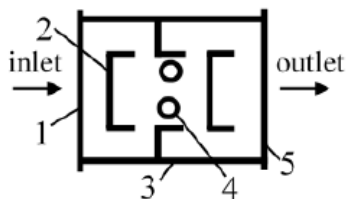
Науч. рук. канд. техн. наук О.С. Дмитриева

Аннотация. В данной работе рассмотрены вопросы удаления влаги из загрязненного трансформаторного масла. Представлены конструкция прямоугольного сепаратора и результаты разделения водомасляной эмульсии. Исследовано влияние различных значений высоты сепаратора и расстояния между рядами элементов на эффективность разделения эмульсии. Представленный сепаратор позволяет производить процессы очистки трансформаторного масла от воды со скоростью 1–2 м/с при эффективности 99,99 %.

Ключевые слова: сепаратор, трансформаторное масло, очистка масла, сепарация, отстойник, эмульсия.

Основное количество поломок трансформаторов происходит из-за повреждения системы изоляции. Вследствие этого целью данной работы является исследование удаления влаги из изоляционного масла трансформатора. Авторами данной работы предлагается использовать разработанный прямоугольный сепаратор для удаления влаги и примесей, имеющих отличную плотность от трансформаторного масла, из него. Разработанный прямоугольный сепаратор относится к аппаратам для

регенерации трансформаторного масла и может быть использован на предприятиях энергетического комплекса, электрических и трансформаторных станциях и объектах, использующих трансформаторное масло. Существенным преимуществом разработанного сепаратора является скорость обработки отработанного масла, которая составляет 1–2 м/с. Для примера, аналогичная скорость в отстойниках в 15–200 раз меньше [1–3].



Упрощенная модель сепарационного прямоугольного сепаратора: 1 – входной патрубков; 2 – П-образные элементы; 3 – корпус прямоугольного сепаратора; 4 – отверстия для вывода очищенного трансформаторного масла; 5 – выходной патрубков

Прямоугольный сепаратор имеет простую и компактную конструкцию, состоящую из нескольких рядов П-образных элементов, собранных в прямоугольный корпус. С двух параллельных сторон устройства имеются входной и выходной патрубки, предназначенные для ввода отработанного загрязненного масла и вывода загрязнителей из сепаратора, соответственно. В среднем ряду П-образных элементов в дне сепаратора проделаны два отверстия, служащие для выведения очищенного трансформаторного масла из аппарата (см. рисунок). Для повышения прочности конструкции П-образные элементы удерживаются между собой одной поперечной пластиной, которая расположена равноудаленно от нижней и верхней стенок сепаратора и крепится к корпусу аппарата.

Принцип действия данного сепаратора базируется на использовании центробежной силы. При движении загрязненного трансформаторного масла внутри сепаратора между П-образными элементами 2 возникает центробежная сила, разделяющая поток на разные фракции в зависимости от их плотности. Также добавочному разделению эмульсии способствует непосредственный контакт между маслом и стенками элементов сепаратора 2. После данных процессов разделения загрязненного масла на разные фракции, очищенное трансформаторное масло движется в проделанные отверстия 4, а различные примеси и вода выводятся через выходной патрубков 5 (см. рисунок). Повышению эффективности очистки загрязненного масла способствует увеличение количества рядов П-образных элементов внутри сепаратора.

Для расчета процесса удаления влаги из изоляционного трансформаторного масла использовалась многофазная эйлерово-эйлерова

модель Volume of Fluid с количеством фаз равным двум в программном комплексе ANSYS Fluent.

При проведении численного моделирования задавались следующие граничные условия: на входном патрубке прямоугольного сепаратора 1 задавалось значения входной скорости «velocityinlet» в диапазоне 1–2 м/с; на выходном патрубке 2 и на отверстиях для вывода очищенного трансформаторного масла 4 задавалось атмосферное давление, равное 101325 Па; на остальных границах 3 и 5 задавалось условие стенки «wall». Диаметры выходных отверстий 4 принимались равными 2,25 мм. В ходе исследования изменялись две величины: расстояние между рядами П-образных элементов и высота прямоугольного сепаратора. При изменении высоты прямоугольного сепаратора также пропорционально изменялась высота П-образных элементов.

Проведенные численные исследования показали, что использование прямоугольного сепаратора для удаления влаги из трансформаторного масла позволяет его очистить от воды на 99,99 % при правильном подборе геометрических размеров аппарата.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4522.2018.8.

Источники

1. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С. Осаждение капель жидкости при интенсификации охлаждения трубных пучков // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. №. 9. С. 33–35.

2. Сушков В.В., Зябкин А.А. Моделирование тепловых процессов и диагностирование силовых трансформаторов систем электроснабжения нефтяных месторождений // Промышленная энергетика. 2013. № 2. С. 39–42.

3. Palmer S., Rele A. Cooling of large transformer cores // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1972. No. 4. Pp. 1527–1535.

УДК 66.048.37

ОТВОД НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ОТ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ В СТРУЙНО-БАРБОТАЖНЫХ КОНТАКТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

В.А. Дмитриев¹, А.Б. Юсупов²

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук А.В. Дмитриев,
канд. техн. наук И.И. Шарипов

Аннотация. Проблема отвода низкопотенциального тепла от оборотной воды является актуальной задачей для энергетического комплекса города Казани.

Существующие аппараты являются малоэффективными или экономически затратными. В связи с этим авторами данной работы было разработано струйно-барботажное контактное устройство. В данном аппарате достигается высокая интенсивность взаимодействия между фазами, а также низкое гидравлическое сопротивление, что ведет к увеличению эффективности процесса.

Ключевые слова: градирня, теплообменное устройство, унос воды, охлаждение воды, отвод низкопотенциального тепла, обратная вода.

Отвод низкопотенциального тепла от оборотной воды в энергетическом комплексе г. Казань является актуальной задачей. Вода на тепловых электростанциях необходима для охлаждения различных агрегатов и технических узлов.

Создание новых теплообменных аппаратов за счет применения различных контактных устройств высокой эффективности вместо устаревших является наиболее рентабельным путем энергосбережения как в энергетике, так и во всей промышленности. В последнее время разрабатывается большое количество данных конструкций, которые служат для абсорбционных и ректификационных колонных аппаратов, обладающие достаточно высокой массообменной эффективностью. Однако главными минусами данных аппаратов являются высокое гидравлическое сопротивление и сложность в изготовлении и в ремонте [1–3].

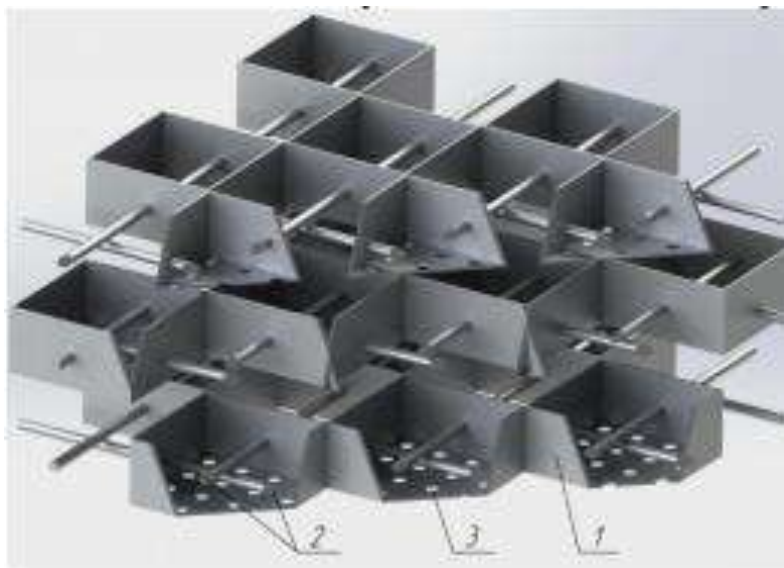


Рис. 1. 3D модель контактного устройства:
1 – сливной стакан, 2 – стержень, 3 – отверстия

Для решения поставленной проблемы предлагается использовать разработанный струйно-барботажное контактное устройство (рис. 1). Оно состоит из нескольких сливных стаканов, которые имеют вертикальные стенки, которые поддерживают уровень жидкости внутри них. Сливные

стаканы расположены в шахматном порядке. Для увеличения прочности они соединяются между собой стержнем.

Проведенные исследования показали, что значение числа Re практически не зависит от коэффициента гидравлического сопротивления (рис. 2). При изменении длины стороны основания сливного стакана в диапазоне 40–100 мм коэффициент гидравлического сопротивления варьируется в пределах 9,16–10,16. Максимальное значение коэффициента гидравлического сопротивления достигается при длине стороны основания сливного стакана, равной 0,075 м. Минимальное значение коэффициента гидравлического сопротивления достигается при длине стороны основания сливного стакана, равной 0,1 м. Следует отметить, что при длине стороны основания сливного стакана, равной 0,1 м, имеется явно выраженное минимальное значение функции, которая отображает зависимость между коэффициентом гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса, которое лежит в точке, которая соответствует следующим значениям параметров: числу Рейнольдса $Re = 11670$ и коэффициенту гидравлического сопротивления $\xi = 9,16$.

В работе представлены исследования, которые позволяют произвести подбор необходимых конструктивных параметров контактного устройства.

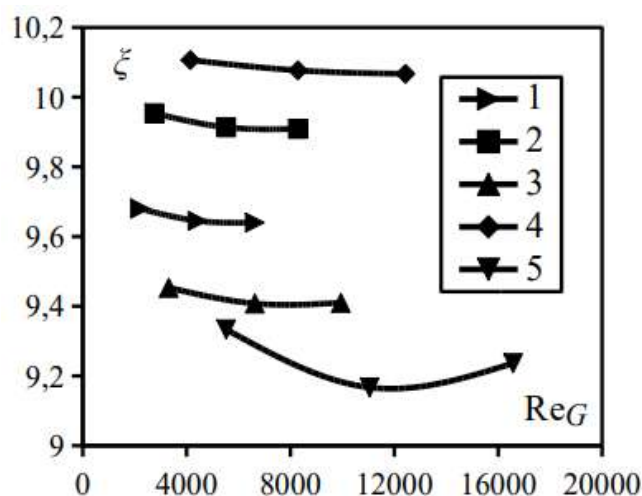


Рис. 2. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от критерия Рейнольдса при различных длинах стороны основания сливного стакана b , м:
1 – 0,04; 2 – 0,05; 3 – 0,06; 4 – 0,075; 5 – 0,1

Это позволит получить максимальное значение площади поверхности пузырей при условии, что конструкции сливных стаканов будут производиться с шириной в диапазоне 50–100 мм и при одинаковых значениях уровня жидкости в сливном стакане с высотой вертикальной стенки сливного стакана. В ходе этого происходит перелив жидкости

с верхней тарелки на нижнюю. Стоит отметить, что в ходе исследования тарелка работала в режиме уноса, о чем свидетельствует интенсивный перелив жидкости через борт сливного стакана. Высокая эффективность устройства достигается интенсивным контактом между фазами и относительно небольшим гидравлическим сопротивлением в контактном устройстве.

Высокая интенсивность взаимодействия между фазами и низкое гидравлическое сопротивление в контактном устройстве приводит к увеличению эффективности процесса. Преимущества контактного устройства: малая металлоемкость, высокая производительность, простота устройства, дешевизна и высокая удельная поверхность.

Источники

1. Wei Z.J., You Z.L., Gui S.Q. Gas Pressure Drop and Mass Transfer Characteristics in a Cross-flow Rotating Packed Bed with Porous Plate Packing // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2010. Vol. 49, Is. 8. Pp. 3732–3740.

2. Shagivaleev A.A., Ovchinnikov A.A., Nikolaev N.A. Calculation of the Efficiency of Contact Stages of Distillation Columns with Cocurrent Swirl Contact Devices // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2005. vol. 39, Is. 6. Pp. 590–593.

3. Дмитриев А.В., Калимуллин И.Р., Николаев А.Н. Оценка изменения уровня жидкости на ступени массообменного аппарата с прямоточно-вихревыми контактными устройствами // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2010. № 8. С. 11–13.

УДК 66.074.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ГАЗООЧИСТКИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ГОРОДА КАЗАНИ

В.Э. Зинуров¹, Ю.О. Семенова², И.Д. Файзрахманов³

^{1,2,3} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

^{1,2,3} vadd_93@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук А.В. Дмитриев

Аннотация. Проблема очистки и улавливания частиц из газовых потоков особенно актуальна для г. Казани. В связи с развитой промышленностью в черте города необходимо уделять дополнительное внимание данной проблеме. Особенно это связано с работой трех ТЭЦ, работающих в период обновления топлива на резервном топливе –

мазуте, со строительством мусоросжигательного завода и др. предприятий. В работе предложено разработанное устройство – сепаратор, способный как повысить эффективность существующего очистительного аппарата, так и работать отдельно.

Ключевые слова: прямоугольный сепаратор, газоочистка, улавливания частиц, мелкодисперсные частицы, фильтр для очистки, циклон.

Интенсификация технологических процессов и создание высокопроизводительных аппаратов в энергетической, химической и пищевой отраслях промышленности приводит к неизбежному росту выбросов в атмосферу значительного количества токсичной пыли и вредных газообразных примесей. По данным ООН, ежегодно в атмосферу выбрасывается 2,5 млн т пыли. По прогнозам министерства природных ресурсов РФ с 2030 г. первенство в топливно-энергетическом балансе в России займут уголь и атомная энергетика, что потребует конструктивного и технологического совершенствования пылеочистного оборудования [1].

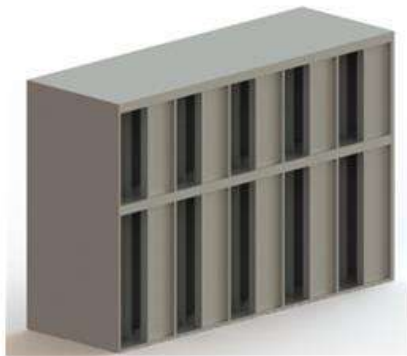
Однако к процессу газоочистки необходимо подходить рациональным путем, совмещающим высокую эффективность, надежность и оправданную стоимость. В связи с подорожанием курса доллара и сложной экономической ситуацией в стране особое внимание уделяется стоимости закупаемого оборудования для очистки газов от вредных частиц и их максимально эффективному использованию. Также следует обратить внимание на возможность повторного использования материала, который был получен при очистке газов оборудованием. Например, зола ТЭС находит широкое применение при изготовлении строительных материалов: кирпича, бетонных камней, аглопорита, керамзита и др. Стоит отметить, что город Казань, является одним из крупнейших промышленных центров России, где сильно развиты все виды промышленности: химическая, пищевая и др., в которых также имеется потребность очистки газовых потоков.

Основными устройствами для очистки газов от золы на ТЭС и от других вредных частиц на химических и пищевых производствах являются электрофильтры, инерционные пылеуловители (различные модификации циклонов), рукавные фильтры и мокрые аппараты [2]. Однако из-за низкой эффективности этого оборудования при улавливании средне- и мелкодисперсной пыли, необходимости частой замены или чистки фильтрующих элементов область их применения ограничена. Кроме того, гидравлическое сопротивление таких аппаратов может достигать 3000 Па, что приводит к увеличению энергетических затрат на реализацию процессов пылегазоочистки.

Целями данной работы являются разработка и создание энергоэффективного устройства для очистки и улавливания частиц из газового потока.

Для решения поставленной цели авторами данной работы был разработан прямоугольный сепаратор, позволяющий производить очистку газовых потоков от мелкодисперсных твердотельных частиц. Эффективность сепаратора для очистки и улавливания частиц более 10 мкм равна 99–99,9 %, для частиц менее 10 мкм в среднем равна 61,7 % [3].

Прямоугольный сепаратор состоит из входного и выходного патрубков, прямоугольного корпуса, нескольких рядов двутавровых элементов внутри корпуса (см. рисунок).



3D модель прямоугольного сепаратора

Принцип действия сепаратора заключается в том, что при движении многофазного газового потока внутри устройства между двутавровыми элементами возникает центробежная сила, отбрасывающая мелкодисперсные частицы к стенкам элементов. За счет данного процесса частицы пыли выбиваются из структурированного потока. Таким образом, увеличение рядов двутавровых элементов увеличивает эффективность очистки газового потока. Уловленные частицы прилипают к стенкам элементов или оседают на дно устройства. Через определенное время необходимо промывать устройство от уловленных частиц [4].

Сепаратор предлагается использовать в качестве дополнительной очистительной ступени. Например, при установке перед дорогими очистительными фильтрами на строящемся мусоросжигательном заводе, что позволит существенно продлить их эксплуатационный срок службы, или после циклонов на ПАО «Казаньоргсинтез», что будет способствовать улавливанию частиц менее 10 мкм и в результате существенно повысит общую эффективность очистительного цикла. В связи с резким падением эффективности у циклонов при улавливании мелкодисперсных частиц до 10 мкм сепаратор позволит устранить данный недостаток.

В работе будет представлено, что разработанный сепаратор способен эффективно очищать газовые потоки от частиц пыли. В ходе данной

научной работы было выявлено, что эффективность сепаратора при улавливании частиц более 10 мкм составляет 99–99,9 %, для этого необходимо 3–4 ряда двутавровых элементов. Для улавливания частиц размером менее 9 мкм с эффективностью 99–99,9 % необходимо около 6 рядов, эффективность одной ступени равна 17 %. Проведенная серия исследований, показала, что наиболее рациональная геометрическая форма элементов внутри сепаратора – двутавровые элементы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4522.2018.8.

Источники

1. Асламова В.С. Прямоточные циклоны. Теория, расчет, практика. Ангарск: АГТА, 2008. 233 с.

2. Страус В. Промышленная очистка газов. М.: Химия, 1981. 616 с.

3. Улавливание мелкодисперсных твердых частиц из газовых потоков в прямоугольных сепараторах / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22, № 3 (134). С. 138–144.

4. Эффективность прямоугольного сепаратора в зависимости от оформления элементов внутри аппарата / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 1, № 1 (37). С. 74–81

5. Зинуров В.Э, Дмитриев А.В. Экономичность использования прямоугольных сепараторов в респираторах // Экономика энергетики и энергосбережение: матер. междунар. науч. конф. Казань, 2018. С. 168–170.

УДК 66.045.53

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОТВОДА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ОТ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ В ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ГРАДИРНЯХ

В.Э. Зинуров¹, А.И. Хайрутдинова²

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

^{1,2}vadd_93@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук О.С. Попкова

Аннотация. Процесс охлаждения оборотной воды является существенно актуальным для энергетической отрасли. В работе рассмотрен способ интенсификации отвода низкопотенциального тепла от воды путем установки нескольких рядов контактных элементов по высоте устройства, способствующие увеличению площади контакта воды с поверхностью элементов. Результаты работы показали, что установка

контактных элементов внутри вентиляторной градирни способствует увеличению эффективности охлаждения воды, но требует установки более мощного вентилятора.

Ключевые слова: градирня, охлаждение воды, отвод тепла от воды, контактные элементы, ороситель, вентиляторная градирня.

Охлаждение оборотной воды является неотъемлемой частью ряда промышленных технологических процессов. Самыми распространенными устройствами для охлаждения больших объемов воды являются градирни.

Отвод низкопотенциального тепла от воды путем ее охлаждения воздухом широко используется в различных технических устройствах и технологических системах строительной, химической, нефтегазовой, энергетической, металлургической, атомной и других отраслях промышленности [1]. Разработка конструкций градирен, обладающих относительно высокой тепловой производительностью при малых габаритных размерах, является актуальной инженерной задачей [2].

Эффективность работы градирни всецело определяется эффективностью работы ее оросителя. Перспективными в этом отношении являются оросители, имеющие волокнистую структуру и обладающие высокими значениями пористости и удельной поверхности.

В работе рассматривается тепломассообменный процесс охлаждения воды в вентиляционной градирне, ороситель которой работает в капельном режиме орошения.

Вентиляторную градирню применяют для охлаждения промышленных систем оборотного водоснабжения за счёт теплообмена с окружающим воздухом, проходящего под напором вентиляторов через теплообменник. Градирни вентиляторные называют так, потому что, по своей конструкции они состоят из теплообменного блока – радиатора и вентиляторов, которые его обдувают.

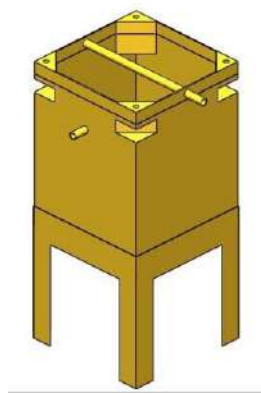
Сухая градирня это не что иное, как описанная выше вентиляторная градирня, но имеющая происхождение своего названия не по принципу устройства, а от сравнения с более древним способом охлаждения жидкости – распылением в воздухе и сбором распылённой и охлаждённой воды в ёмкость. При распылении происходит частичное испарение охлаждаемой воды, и воздух от такого устройства увлажняется.

Мокрые градирни закрытого типа – это один из вариантов водоохладителя, в котором применена гибридная схема. В отличие от сухих закрытых градирен в мокрых имеется герметичный теплообменник, по которому протекает жидкость основного контура, и этот теплообменник орошается водой и обдувается воздухом окружающей среды. Преимущества такого варианта в том, что основной контур охлаждения воды не соприкасается с окружающей средой и, соответственно, не

насыщается кислородом, не загрязняется и является закрытым, т.е. нет разрыва струи. Мокрая градирня закрытого типа позволяет применять в качестве хладоносителя растворы незамерзающих жидкостей.

В целом, вентиляторная градирня представляет значительно менее энергозатратный способ охлаждения по сравнению с чиллером, однако не позволяет достичь конечной температуры охлаждения ниже температуры окружающей среды и поэтому применима только для систем, удовлетворяющих этому условию.

Целью работы является интенсификация процесса охлаждения воды в градирне путем установки нескольких рядов контактных элементов по высоте устройства, способствующих увеличению площади контакта воды с поверхностью элементов.



3D модель вентиляционной градирни

Для решения поставленной цели авторами статьи была создана 3D модель вентиляционной градирни и впоследствии распечатана на 3D принтере (см. рисунок). Данная модель имеет несколько отверстий в верхней части для установки вентилятора. В оросителе имеется 10 круглых отверстий, через которые будет обеспечиваться равномерное распределение воды. Вода в ороситель будет подаваться с помощью насоса. Следует отметить, что для проведения эксперимента вода нагревалась с помощью нагревателя и далее подавалась в ороситель насосом. Чуть выше середины в корпусе градирни имеется дополнительный патрубок, который служит для последующих исследований. В нижней части градирни расположены вспомогательные подставки размером 2×2 см, встроенные в корпус градирни, которые предназначены для установки контактных элементов. Данные элементы позволят интенсифицировать процесс охлаждения воды вследствие увеличения удельной площади контакта контактных элементов с жидкостью. Стоит отметить, что градирня является полностью

разборной, что позволяет устанавливать внутри нее различные контактные элементы, отличающиеся габаритами и формой.

В ходе исследования рассматривался процесс охлаждения воды без контактных элементов и с ними. Исследование производилось при некоторых постоянных параметрах: атмосферное давление – 10^5 Па, температура окружающей среды – 20 °С. В ходе исследования изменялись следующие параметры: температура воды, которая подавалась в ороситель; скорость подачи воды в ороситель; скорость воздуха, нагнетаемого вентилятором. Также исследовалось влияние количества рядов контактных элементов на отвод низкопотенциального тепла от воды.

Результаты исследования показали, что установка нескольких рядов контактных элементов внутри градирни способствует увеличению отвода низкопотенциального тепла от воды относительно градирни без данных элементов. С другой стороны, большое количество контактных элементов увеличивает гидравлическое сопротивление, для преодоления которого требуется более мощный вентилятор, что увеличивает экономическую составляющую процесса. Поэтому определение рационального соотношения между ростом эффективности охлаждения воды и ростом гидравлического сопротивления установки должно являться определяющим в технологических процессах.

Источники

1. Филимонова В.А., Лазарева Е.А. Современные башенные вентиляторные градирни // Вологдинские чтения. 2009. Вып. 76. С. 136–137.

2. Расчет вентиляторной градирни с капельным орошением / Н.А. Меренцов [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 7, № 1 (128). С. 54–59.

3. Охлаждение оборотной воды предприятий энергетики в градирнях со струйно-пленочными контактными устройствами / А.В. Дмитриев [и др.] // Промышленная энергетика. 2018. № 11. С. 45–49.

4. Салахова Э.И., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С. Влияние геометрических размеров аппарата со струйно-пленочным контактным устройством на процесс тепломассообмена // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, № 1. С. 59–61.

5. Салахова Э.И., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С. Влияние высоты перегородок в струйно-пленочном контактном устройстве на интенсивность тепломассообмена // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, № 3. С. 82–85.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ В СЕПАРАТОРЕ

З.Р. Имамиева¹, Г.Р. Бадретдинова², А.А. Галиев³, М.О. Григорьева⁴
^{1,2,3,4} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. д-р техн. наук А.В. Дмитриев

Аннотация. Главными недостатками аппаратов по переработке водонефтяных эмульсий являются низкая скорость разделения водонефтяных эмульсий и большие габариты аппаратов. Поэтому разработка новых аппаратов для переработки водонефтяных эмульсий является актуальной задачей для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Авторами данной статьи предлагается использовать для решения данной проблемы разработанное устройство, которое состоит из нескольких сепараторов. Количество сепараторов определяется необходимой производительностью переработки водонефтяных эмульсий. В данной работе представлены схема действия устройства и преимущества над аналогами.

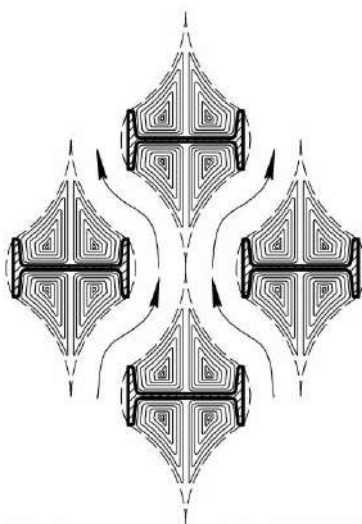
Ключевые слова: водонефтяная эмульсия, сепаратор, отстойник, нефть, нефтепереработка, нефтеперерабатывающая промышленность, двутавровые элементы, разделение эмульсии.

Развитие нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности требует соответственные улучшения в существующих процессах, которые обеспечивают улучшение технико-экономических показателей и качества нефтепродуктов. К одному из наиболее важных технологических процессов относят подготовку нефти. В данном процессе необходимо произвести обезвоживание водонефтяной эмульсии. Сами по себе водонефтяные эмульсии являются неустойчивыми системами, которые склонны к образованию минимальной поверхности фаз. Следует добавить, что при этом они должны обладать хорошей способностью к расслоению. Для переработки водонефтяных эмульсий используется большое количество различных аппаратов: сепараторы, отстойники и др. Главными недостатками данных аппаратов являются низкая скорость переработки водонефтяных эмульсий и большие габариты аппаратов. Поэтому разработка новых аппаратов для переработки водонефтяных эмульсий является актуальной задачей для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности [1–5].

Авторами данной статьи предлагается использовать для решения данной проблемы разработанное устройство, которое состоит из нескольких сепараторов. Количество сепараторов определяется необходимой производительностью переработки водонефтяных эмульсий. Сепаратор представляет собой устройство прямоугольной формы, внутри

которого расположены несколько рядов двутавровых элементов. Высокая эффективность разделения водонефтяной эмульсии достигается высокими значениями центробежных сил, которые возникают при движении жидкости между двутавровыми элементами при относительно небольших скоростях движения водонефтяной эмульсии. Процесс движения водонефтяной эмульсии представлен на рисунке.

Принцип действия сепаратора заключается в том, что за счет действия центробежных сил между двутавровыми элементами водонефтяная эмульсия начинает расслаиваться, нефтяное кольцо отделяется от основного потока эмульсии. Далее эмульсия поступает на следующую ступень. Под действием силы тяжести отделившаяся нефть отводится из устройства через выполненные в дне отверстия.



Движение водонефтяной эмульсии

Проведенные исследования показали, что для достижения минимального гидравлического сопротивления сепаратора необходимо скомпоновать сепаратор таким образом, чтобы расстояние между соседними рядами двутавровых элементов было равным 0,5–0,6 от длины элемента. Исследования проводились в программном комплексе ANSYS Fluent. В ходе расчета использовалась многофазная эйлерова–эйлерова модель Volume of Fluid (VoF).

Достоинствами прямоугольного сепаратора перед аналогами (другие модификации сепараторов, отстойники и др.) являются простота изготовления, компактность, низкое гидравлическое сопротивление, высокая эффективность разделения водонефтяной эмульсии, малая металлоемкость и дешевизна.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4522.2018.8.

Источники

1. Разделение устойчивых эмульсий в струйном аппарате / М.П. Тюрин [и др.] // Технология текстильной промышленности. 2008. № 3 (308). С. 120–123.
2. Разделение водонефтяной эмульсии на наноуровне управляемыми электронными потоками / Ю.А. Савиных [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2010. № 5. С. 74–78.
3. Закирьянова Г.Т., Ковалева Л.А., Насыров Н.М. Моделирование процессов тепломассопереноса и разделения эмульсии под воздействием электрических полей // Вестник НГУ. 2009. № 4. С. 15–22. (Физика).
4. Валеев С.И., Булкин В.А. Гидродинамика цилиндрического гидроциклона с удлиненным верхним сливным патрубком // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 20. С. 231–232.
5. Улавливание частиц из дымовых газов прямоугольными сепараторами / А.В. Дмитриев // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 15. С. 78–80.

УДК 662.611

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМИЧЕСКИ ВОЗБУЖДАЕМЫХ ПУЛЬСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ГАЗА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

П.В. Медведева¹, М.А. Хайрутдинов²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук О.С. Попкова

Аннотация. Рассмотрены вопросы возбуждения акустических колебаний газа в длинной цилиндрической трубе при наличии внутренних источников теплоты. Подвод теплоты моделируется заданием распределенной объемной теплоты по длине трубы.

Ключевые слова: горение, колебания, газ, цилиндрическая труба, источники теплоты, модель горения.

Создание высокофорсированных топок сопряжено с рядом трудностей. Проблемой является борьба с высокочастотными колебаниями, которые возникают в камере сгорания. Колебания могут нарушить процесс горения и привести к разрушению конструктивных элементов топки. Осуществление таких режимов обещает большие выгоды в части увеличения теплонапряженности топок [2].

Для решения данной задачи в работе принимаются следующие допущения: распространение акустических возмущений при одномерном

течении; склеивание одномерных процессов слева и справа от зоны горения.

Зная зависимости распространения акустических возмущений в одномерном течении газа и умея доводить процесс в зоне горения к некоторому процессу в одном сечении, можно применить математический аппарат для исследования процесса возбуждения колебаний.

Используется модель одномерного течения. Концы трубки остаются открытыми, давление на входе и выходе будут неизменными. В некотором сечении трубы имеется теплоподвод. Используем уравнения сохранения массы, импульса, тепловой энергии, а также уравнение состояния для идеального газа будут иметь вид [2]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} = -\rho \frac{\partial u}{\partial x}; \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x}; \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial e}{\partial t} + u \frac{\partial e}{\partial x} \right) = -p \frac{\partial u}{\partial x} + Q. \quad (3)$$

Удельной внутренней энергией частицы газа будет e . Заметим, что источник распределенной по объему энергии Q в данной работе не имеет отношения к внутреннему источнику, который в каждый момент времени является заданной функцией координаты и времени. Он здесь будет использоваться для математического моделирования процесса поддержания продольных колебаний газа в трубе.

Термодинамические параметры среды связаны между собой термическим и калорическим уравнениями состояния для идеального газа:

$$p = \rho RT, \quad e = c_v T, \quad (4)$$

где R – газовая постоянная, c_v – удельная теплоемкость, γ – показатель адиабаты. Если ввести в рассмотрение удельную энтропию идеального газа:

$$s = c_v \ln p - c_p \ln \rho,$$

то уравнение тепловой энергии (3) можно переписать в виде:

$$\rho T \left(\frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} \right) = Q.$$

Из данных исследований видно, что термодинамический параметр энтропия элементарной частицы меняется только в случае неравенства нулю Q . В случае, если тепловая энергия не подводится к камере сгорания, то такие параметры как энтропия остаются не измененными, а температура изменяется вследствие отсутствия теплопроводности газа и вязкости. Особенностью системы (1)–(4) в случае $Q(x,t) \equiv 0$ является то, что первые два уравнения могут быть проинтегрированы отдельно от третьего. Физический смысл отделения третьего уравнения от первых двух сводится к тому, что акустические волны давления и скорости распределяются от тепловых волн энтропии, это приводит к отделению уравнений, первого и второго с третьим. Это исследование, как отмечалось во введении, накладывает отпечаток на метод решения задачи об устойчивости горения.

Используя второе уравнение (4), запишем уравнение тепловой энергии через температуру:

$$\frac{\rho R}{\gamma - 1} \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} \right) = -p \frac{\partial u}{\partial x} + Q. \quad (5)$$

Переходя в системе уравнений (1), (2), (4) и (5) к безразмерным величинам (5) и сохраняя только линейные слагаемые, получим:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0; \quad \gamma \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} = 0;$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\gamma - 1) \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \gamma(\gamma - 1)Q; \quad p = \rho + T.$$

Тогда:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + (\gamma - 1)Q = 0. \quad (6)$$

Искомые величины выражаются через потенциал скорости ϕ и Q :

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad (7)$$

$$p = -\gamma \frac{\partial \phi}{\partial t}, \quad (8)$$

$$\rho = -\frac{\partial \phi}{\partial t} - (\gamma - 1) \int_0^t Q(x, \hat{t}) d\hat{t}, \quad (9)$$

$$T = (\gamma - 1) \left[-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \int_0^t Q(x, \hat{t}) d\hat{t} \right]. \quad (10)$$

Особенность уравнения (6) для задач горения состоит в том, что конкретный вид $Q(x, t)$ зависит от выбранной модели подвода теплоты, т.е. от искомым параметров задачи [2].

Источники

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. 848 с.
2. Сахабутдинов Ж.М., Кочнева О.С., Павлов Г.И. Анализ термически возбуждаемых пульсационных колебаний газа в цилиндрической трубе // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2004. № 3/4. С. 13–26.

УДК 662.611

МОДЕЛИ ГОРЕНИЯ

П.В. Медведева¹, А.И. Хайрутдинова²

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук О.С. Попкова

Аннотация. В данной работе рассматривается локальная и конвективная модели поддержания колебаний столба газа за счет линейной связи между возмущениями теплоты и возникающими в трубе продольными скоростями.

Ключевые слова: горение, колебания, газ, цилиндрическая труба, источники теплоты, модель горения.

Различают подвод теплоты в точках, неподвижных относительно стенок трубы, и подвод теплоты на подвижной поверхности. Эти два варианта называются локальная и конвективная модели подвода теплоты [2]. Конкретный вид $Q(x, t)$ меняется от большого числа режимных и конструктивных параметров, фигурирующих в расчетной модели. Между акустическими колебаниями и колебанием процесса горения стоит целая цепочка связывающих их процессов. На устойчивость процесса горения

вливают время запаздывания тепловыделения, качество распыла топлива, полнота сгорания топлива, коэффициент избытка воздуха и т.п.

Возмущенное значение теплоты можно представить в виде:

$$Q = \tilde{Q}(x)q(x,t), \quad (1)$$

где $\tilde{Q}(x)$ дает распределение подведенной теплоты по длине трубы, а $q(x,t)$ определяет амплитуду возмущения.

Связь между q и u в общем случае представляется в виде:

$$L_1(q) = YL_2(u), \quad (2)$$

где L_1, L_2 – линейные дифференциальные операторы, зависящие от времени. Величина Y в данной работе далее полагается постоянной.

Рассмотрим три варианта этой модели, часто используемые при теоретическом анализе [2]. Решение системы, имеющее гармонический характер отыскивается в виде:

$$q(x,t) = \hat{q}(x) e^{i\omega t}; \quad u(x,t) = \hat{u}(x) e^{i\omega t}. \quad (3)$$

Линейную связь между этими возмущениями представляют в виде:

$$\hat{q} = Y I(\omega) \hat{u}, \quad I(\omega) = I_R(\omega) + iI_I(\omega), \quad (4)$$

где $I(\omega)$ – комплексное число. Значения $I_R(\omega)$ и $I_I(\omega)$ определяют выбранную связь между параметрами в первом уравнении (4). Связь типа (4) трактуется как локальная модель.

Конкретный вид q , I_R и I_I для трех упомянутых вариантов в случае локальной модели представлены в таблице. Такое задание полностью определяет соотношение (2) для выбранной модели.

Вариант	$q = q(u)$	I_R	I_I
1	$q = Yu(t - \tau)$	$\cos(\omega\tau)$	$-\sin(\omega\tau)$
2	$\tau(dq/dt) + q = Yu$	$1 / [1 + (\omega\tau)^2]$	$-\omega\tau / [1 + (\omega\tau)^2]$
3	$q = Y[u + \tau(dq/dt)]$	1	$\omega\tau$

Решение уравнения отыскивается в виде суммы:

$$\phi(x,t) = \sum_{m=0}^{\infty} f_m(t) \psi_m(x);$$

$$q(x,t) = \sum_{m=0}^{\infty} g_m(t) \psi'_m(x) \quad \text{или} \quad q_s(x,t) = \sum_{m=0}^{\infty} g_m(t) \psi'_m(x_s). \quad (5)$$

Функции $\psi_n(x)$ являются решением однородного уравнения:

$$\psi_n'' + \Omega_n^2 \psi_n = 0, \quad (6)$$

где Ω_n^2 – квадрат собственной частоты, связанный с акустической задачей для трубы, а $\psi_n(x)$ являются собственными функциями, удовлетворяющими условиям ортонормирования. В случае открытых концов трубы, функция имеет вид $\psi_n(x) = \sqrt{2} \sin(\Omega_n x)$ и $\Omega_n = \pi n$ ($n = 1, 2, 3, \dots$). В случае трубы закрытой с одного конца, функция имеет вид $\psi_n(x) = \sqrt{2} \cos((2n-1)\pi x/2)$ и $\Omega_n = (2n-1)\pi/2$ ($n = 1, 2, 3, \dots$). Коэффициент $\sqrt{2}$ вводится для выполнения условия нормирования.

В результате специального выбора базисных функций $\psi_n(x)$ система уравнений для определения амплитуд $f_n(t)$ и $g_n(t)$ находится методом Галеркина. После подстановки (5) в уравнения и интегрирования от $x=0$ до $x=1$, с учетом (6) получим:

$$\ddot{f}_n + n\dot{f}_n + \Omega_n^2 f_n + (\gamma - 1)Q_n = 0, \quad (7)$$

где соответствующие выражения в случае локального и конвективного способов передачи теплоты имеют вид:

$$Q_n(t) = \sum_{m=0}^{\infty} \psi'_m(x_s) \left(\int_{x_s}^1 \bar{Q} g_m(t - (x - x_s)/u_c) \psi_n dx \right). \quad (8)$$

Система уравнений (7) в общем случае является взаимосвязанной. Это видно из представления Q_n в виде интеграла (8). Ясно, что для сложной функции $\bar{Q}(x)$ вычисление соответствующих интегралов возможно только численно.

Для исследования задачи устойчивости используем соотношение (7) в простом случае, когда взаимодействиями между модами колебаний

пренебрегаем, т.е. при $m=n$. В результате такого упрощения можно проанализировать устойчивость решения уравнения (7) по отношению к геометрическим и термодинамическим параметрам задачи. Гармоническое решение отыскивается в виде:

$$f_n(t) = \hat{f}_n e^{i\omega_n t}, \quad g_n(t) = \hat{g}_n e^{i\omega_n t}, \quad (9)$$

где \hat{f}_n и \hat{g}_n – постоянные величины. Величина ω_n является комплексной частотой, по реальной части которой можно судить об устойчивости решения дифференциального уравнения (7). Подставляя (9) в (7) с учетом принятых допущений, получим:

$$\omega_n^2 - \Omega_n^2 - (\gamma - 1)Y D_{nn} I(\omega_n) = 0, \quad (10)$$

где выражения для коэффициентов D_{nn} в случае локальной и конвективной моделей подвода теплоты равны, соответственно:

$$D_{nn} = \psi'_n(x_s) \int_{x_s}^1 \bar{Q}(x) e^{-i\omega_n(x-x_s)/u_c} \psi_n(x) dx. \quad (11)$$

При принятых выше ограничениях относительно взаимодействия мод колебаний последнее слагаемое в (10) трактуется как величина второго порядка малости. В этом случае предлагается процедура последовательных приближений для определения ω_n . Перепишем (10) в виде, ориентированном на такой подход:

$$(\omega_n - \Omega_n)(\omega_n + \Omega_n) = (\gamma - 1)Y D_{nn} I(\omega_n). \quad (12)$$

В первом приближении, пренебрегая слагаемыми в правой части (12), получим $\omega_n = \pm\Omega_n$. Второе приближение для комплексной частоты:

$$\omega_n = \pm s_n + i\zeta_n \quad (14)$$

получается в результате подстановки первого приближения в правую часть (12) и приравнивания коэффициентов реальной и мнимой частей:

$$s_n = \Omega_n + \frac{(\gamma - 1)Y}{2\Omega_n} [D_{R,nn} I_R(\Omega_n) - D_{I,nn} I_I(\Omega_n)], \quad (15)$$

$$\zeta_n = \frac{(\gamma-1)Y}{2\Omega_n} [D_{R,nn}I_I(\Omega_n) - D_{I,nn}I_R(\Omega_n)]. \quad (16)$$

Комбинирование (9) со второй частью уравнения (13) приведет к соответствующим общим выражениям:

$$\zeta_n = -\frac{(\gamma-1)Y_n \psi_n'(x_s)}{2\Omega_n} \int_{x_s}^1 \bar{Q} \sin\left(\sigma_n + \Omega_n \frac{x-x_s}{u_c}\right) \psi_n dx \quad (17)$$

для локальной и конвективной термоакустических моделей взаимодействия. В уравнении (17) $Y_n = YA(\Omega_n)$, $\sigma_n = \sigma(\Omega_n)$, где $A\cos(\sigma) = I_R$, $A\sin(\sigma) = -I_1$.

Подчеркнем, что уравнение (17) подходит для всех граничных условий и всех термоакустических моделей взаимодействия.

Источники

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. 848 с.
2. Сахабутдинов Ж.М., Кочнева О.С., Павлов Г.И. Анализ термически возбуждаемых пульсационных колебаний газа в цилиндрической трубе // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2004. № 3/4. С. 13–26.

УДК 66.095.264.3

РАССМОТРЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ ПРИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ И ПРОГРЕВЕ МАТЕРИАЛА

Р.С. Мирсалихов¹, В.Э. Зинуров², М.О. Григорьева³
^{1,2,3}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
 vadd_93@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук И.И. Шарипов

Аннотация. В данной работе рассматривались процессы полимеризации и прогрева. Определение теплофизических характеристик различных материалов в ходе физических, химических и др. явлений, к которым также относится процесс полимеризации, является достаточно распространенным методом в условиях стационарного и нестационарного теплового режима. Задача ставилась в одномерной постановке. Теплопроводность материала задавалась постоянной на протяжении всего процесса. К известным величинам относились коэффициент теплоотдачи окружающей среды, начальная температура воздуха и материала. Также была известна плотность теплового потока. Результаты вычислений представлены в докладе.

Ключевые слова: полимеризация, нестационарная задача, теплообмен, численный метод, нестационарный теплообмен, нестационарная теплопроводность.

Определение теплофизических характеристик различных материалов в ходе физических, химических и др. явлений, к которым также относится процесс полимеризации, является достаточно распространенным методом в условиях стационарного и нестационарного тепловых режимов. Нестационарные методы основаны на исследовании меняющихся во времени по определенному закону температурных полей. Они более сложны в реализации в отличие от стационарных методов, основанных на исследовании неизменных во времени температурных полей [1–5].

В данной работе рассматривался процесс прогрева лишь в одном направлении X . Теплопроводность материала задавалась постоянной на протяжении всего процесса. К известным величинам относились коэффициент теплоотдачи окружающей среды, начальная температура воздуха и материала. Также была известна плотность теплового потока. Результаты вычислений представлены в докладе.

Также было учтено, что в процессе полимеризации выделяется тепло. Интенсивность и количество выделяемого тепла зависит от природы мономера. Сам по себе процесс полимеризации – цепной процесс, при котором макромолекула образуется путем последовательного присоединения молекул мономера к растущему активному центру. В результате реакции полимеризации образуются высокомолекулярные соединения, отличительной особенностью которых является то, что они состоят из совокупности макромолекул различных длин, имеющих, соответственно, различные молекулярные массы.

1. Активация молекул мономера – индукционный период, когда происходит разрыв двойных связей, предшествующий соединению молекул мономера. Образование полимера крайне незначительно. Продолжительность индукционного периода зависит от химической природы мономера, количества катализатора и температуры.

2. Рост цепи – главная фаза реакции, во время которой происходит образование основного количества полимера. После того, как в реакционной массе возникли активные центры, обладающие высокой реакционной способностью, зависящей от внутримолекулярных колебаний или наличия свободных химических валентностей, начинается процесс роста цепи. Каждый активный центр обладает способностью очень быстро присоединять другие молекулы. Весь процесс протекает при помощи свободных радикалов, возникающих на концах растущей цепи полимера.

3. Обрыв цепи: образование макромолекулы завершается моментом прекращения ее роста, что происходит по разным причинам.

Нарушение процесса полимеризации приводит к быстрому износу материала (см. рисунок).



Быстрый износ поверхности материала

Выделяют два вида полимеризации радикальную и ионную. Они отличаются в зависимости от химической природы активных центров, которые участвуют в процессе образования молекулярных цепей. Если рассмотреть процесс радикальной полимеризации, то можно отметить, что он всегда проходит по цепному механизму. В процессах радикальной полимеризации отмечают следующие элементарные химические стадии: иницирование, рост цепи, обрыв цепи и передачу цепи. Стоит отметить, что иницирование и рост цепи относятся к обязательным элементарным химическим стадиям в процессах радикальной полимеризации.

Источники

1. Орлов М.Е. Тепломассообмен: учеб.-метод. комплекс. Ульяновск: УлГТУ, 2005. 138 с.
2. Цветков Ф.Ф., Керимов Р.В., Величко В.И. Задачник по тепломассообмену: учеб. пособие для студ. Вузов. М.: МЭИ, 2008. 195 с.
3. Краснощеков В.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. М.: Энергия, 1980. 288 с.
4. Жуховицкий, Д.Л. Сборник задач по теплопередаче: учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ, 1998. 82 с.
5. Теплопередача через цилиндрические стенки: метод. указания к расчетно-графической работе / сост. М.Е. Орлов. Ульяновск: УлГТУ, 2005. 11 с.

ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО СВЕРХЗВУКОВОГО ПАССАЖИРСКОГО АВИАЛАЙНЕРА

А.Р. Нагуманов

КНИТУ-КАИ им А.Н. Туполева, г. Казань

vonamugan@gmail.com

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук С.И. Харчук

Аннотация. В данной работе речь идет о перспективах развития авиадвигателестроения, возможности создания пассажирских сверхзвуковых самолетов второго поколения и возобновления сверхзвуковых авиаперевозок. Проводится анализ проектно-конструкторских и научно-исследовательских работ по сверхзвуковой тематике. Рассматривается экономическая целесообразность эксплуатации самолетов гражданского назначения с перспективой полета на сверхзвуковой скорости. Проведена оценка параметров перспективного двигателя.

Ключевые слова: авиация, авиационные перевозки, сверхзвуковой пассажирский самолет, авиационные двигатели, турбореактивный двигатель, сверхзвуковой полет, газотурбинный двигатель.

Первые пассажирские реактивные лайнеры, такие как de Havilland Comet (рис. 1) или ТУ-104, летали на скоростях около 800–850 км/ч, что было очень быстро в сравнении с их поршневыми предшественниками. Развитие технологий несло за собой развитие и авиации. Машины, созданные в 60-ых, стали ещё быстрее. Для ТУ-154 (рис. 2) или Boeing 727 крейсерская скорость в 950 км/ч была вполне привычным режимом. Но инженеры на этом не останавливались, и в начале 70-ых гг. появились пассажирские авиалайнеры, преодолевшие звуковой барьер. Concorde и ТУ-144 разгонялись до чисел Маха, равных 2. Однако звуковые удары, рёв двигателей взлетающего на форсажном режиме самолета, непомерный расход топлива и сложность эксплуатации не дали сверхзвуковой эре наступить.

Это может показаться странным, так как современные авиалайнеры от поколения к поколению теряют скорость. Герои восхода реактивной эры летали на скоростях 900–950 км/ч, а то и больше. В XXI веке такие машины, как Boeing 737 или Airbus A320, летают на скоростях меньше 900. Широкофюзеляжные дальнемагистральные Boeing 747-8 и Airbus A380 – 900–930 км/ч. Самые совершенные машины современности: Boeing 787 Dreamliner (рис. 3), Airbus A350 XWB – базовая крейсерская скорость 903 км/ч. Почему такое явление имеет место? Вопрос «Почему мы летаем так медленно?» будет абсолютно некорректен. Инженеры нарочно снижают скорость полета. Самолет – сложнейшая система с огромным

количеством показателей. Одни параметры улучшаются за счет других. Решение снизить скорость полета делает самолет экономичнее, безопаснее и комфортнее для пассажиров.

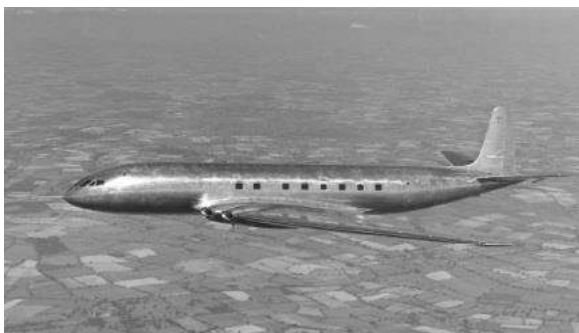


Рис. 1. de Havilland Comet



Рис. 2. ТУ-154



Рис. 3. Boeing 787 Dreamliner



Рис. 4. ТУ-144



Рис. 5. Concorde в музее «Intrepid», Нью-Йорк



Рис. 6. Самолет AS2 компании Aerion

Долгое время считалось, что сверхзвуковые полеты в сфере пассажирских перевозок не являются приоритетным вектором развития. Большим корпорациям невыгодно инвестировать в проекты с большой степенью риска. Эта сфера предпочитает эволюцию революции. Это явно можно заметить на примере Boeing Sonic Cruiser, который так и не появился, хотя планировался как трансзвуковой самолет. С развитием технологий многие из проблем сверхзвуковых пассажирских перевозок

все-таки можно попытаться решить уже в ближайшем будущем. Основным аргументом в пользу важности этого вопроса играет высокая ценность времени как ресурса.

Отсюда можно сделать вывод, что эпоха сверхзвуковой пассажирской авиации не завершилась, а лишь замедлила свое движение. И в России, и за рубежом научно-исследовательские работы продолжаются, хотя и не так активно, как во времена ТУ-144 (рис. 4) и Concorde (рис. 5). Более того, в начале 2018 года знаковое заявление о возможности создания сверхзвукового самолета прозвучало из уст Президента РФ В.В. Путина. Ректор Московского авиационного института (национального исследовательского университета), академик РАН М.А. Погосян: «Важнейшим трендом будущего авиастроения» называет сверхзвуковую авиацию. Генеральный директор Центрального аэрогидродинамического института (ЦАГИ) С.Л. Чернышев в своем выступлении на Всемирном фестивале молодежи и студентов в Сочи в октябре 2017 г. отметил: «Сверхзвуковой пассажирский самолет – это одно из направлений авиации будущего, и второе поколение может появиться уже в 2020-х гг.».

Для того чтобы оценить техническую и технологическую возможности создания таких машин, а также яснее понять необходимость их применения, требуется провести анализ научно-технического наследия и опыта использования первых сверхзвуковых самолетов. Важнейшим аспектом будет являться соблюдение экологических требований, таких как звуковой удар, загрязнение окружающей среды и шум в зоне аэропорта. Сверхзвуковые пассажирские авиалайнеры смогут конкурировать с дозвуковыми только тогда, когда эффект от разницы скорости перемещения будет значительно выше, чем повышение трат на эксплуатацию. Учитывая тот факт, что для набора высоты и снижения при посадке требуется около 400–600 км, а эффект от высокой скорости полета реализуем только на крейсерском участке траектории, эффективность сверхзвуковой машины будет расти с протяженностью маршрута. С уверенностью можно утверждать, что на направлениях до 3–4 тыс. км пассажиры не почувствуют значительной экономии времени. В этом плане Российская Федерация обладает естественным огромным рынком внутренних сверхзвуковых пассажирских перевозок. Это могут быть такие маршруты, как: Москва–Анадырь (9300 км), Москва–Благовещенск (6800 км), Москва–Владивосток (9100 км), Москва–Магадан (7800 км), Москва–Хабаровск (6200 км). Перспективы рынка трансконтинентальных перелетов ещё шире.

Разумеется, такой вид транспорта не сможет конкурировать с традиционными дозвуковыми авиалайнерами по стоимости полета для пассажира. Однако существует ещё и ниша деловой авиации. Пассажирам, готовым платить за перелет больше, авиакомпании сейчас готовы предложить лишь роскошь. Но скорость полета могла бы стать куда более привлекательным ценообразующим фактором.

Помимо стоимости перелета, возможность применения «сверхзвука» ограничивается нормами экологического воздействия. Шумовое загрязнение от сверхзвуковых самолетов первого поколения было слишком большим. Определенный научно-технический задел имеется в этом вопросе. Минпромторг РФ заявил, что «По предварительным оценкам, на проектирование и создание первого демонстрационного летного образца промышленности может потребоваться около семи-восьми лет». В Европе, США и Японии за последние несколько лет появилось большое количество и научно-исследовательских, и коммерческих проектов в этой области. BoomTechnology, QueSST, D-SEND, ZENST – все эти проекты уже привлекли огромные объемы инвестиций и могут похвастаться участием крупных корпораций в своих разработках. К созданию непосредственно самолета с возможностью коммерческой реализации пока ближе всех подобралась американская компания Aegion со своим проектом «истребителя» для бизнеса под названием AS2 (рис. 6). Перелет на таком самолете из Токио в Нью-Йорк станет почти вдвое быстрее. Время в пути составит 9 часов, включая час на отдых и дозаправку в Анкоридже, вместо 14 часов 21 минуты сейчас только с дозаправкой. Используя новые решения в конструкции планера и наработки в области ламинарных течений, специалисты компании решили вопрос с шумовым загрязнением. По заявлениям инженеров, им удалось уменьшить площадь планера на 20 %, поэтому на скорости до 1,2 маха звуковой удар не будет слышен. Это подтверждаются данными, которые были получены в ходе продувки модели самолета в аэродинамической трубе NASA. Изначально на самолет планировалось устанавливать два двигателя Pratt&WhitneyJT8D в сверхзвуковой версии. Затем количество двигателей увеличилось до трех. Сейчас Aegion сотрудничает с GeneralElectric. Впрочем, GE пока может предложить только концепт двигателя под названием Affinity (рис. 7). Вопрос с силовой установкой остается открытым и в других компаниях. В создании планера специалистам удалось продвинуться довольно существенно, но вот двигателя для перспективного пассажирского авиалайнера пока не существует.

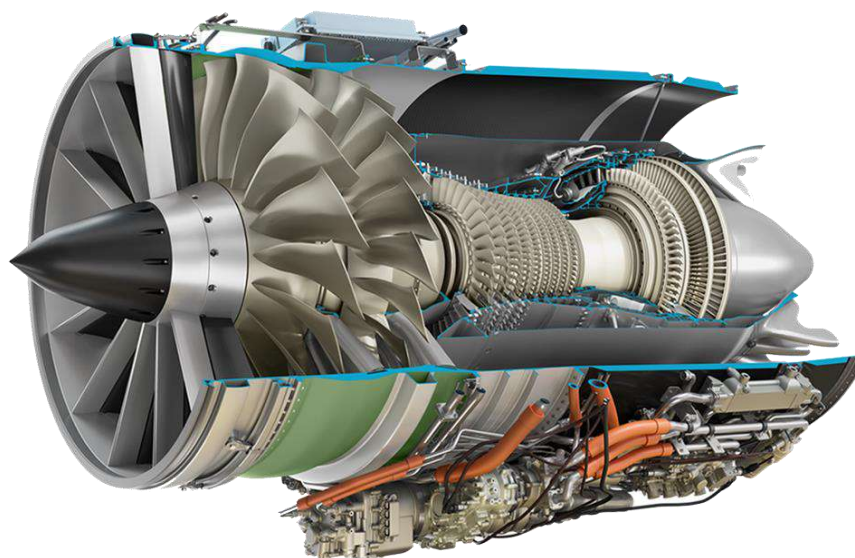


Рис. 7. Концепт двигателя Affinity от General Electric

Стоит вернуться к теме расстояния перелетов. Как говорилось выше, планируется использование сверхзвуковых машин на дальних направлениях. В этом контексте можно рассуждать о целесообразности создания лайнера не только для пассажиров бизнес класса, но и среднего, а также для транспортных перевозок. Если цена будет отличаться не в разы, как у первого поколения, а время перелета сократится в два раза, такой самолет непременно появится сразу после сверхзвуковых бизнес-джетов.

Силовая установка для более вместительного самолета соответственно должна быть более мощной. Принимая во внимание массу современных широкофюзеляжных лайнеров и перспективы эволюции планера, можно заключить, что такой двигатель на взлёте должен обеспечивать порядка 27 т тяги. Турбореактивных двигателей подобной мощности, рассчитанных на сверхзвуковой полет, практически не существует, что делает исследования в этом направлении ещё перспективнее.

Основываясь на вышеупомянутых исследованиях в области создания «бесшумного» планера, определим крейсерскую скорость полета самолета в районе 1,4 маха. Это обеспечит значительное сокращение времени полета и позволит лайнеру летать не только над океаном. Конечно, можно рассуждать и о более высоких скоростях полета. В таком случае потребуется внедрение гибридной силовой установки с применением ракетных и прямоточных двигателей. И такие проекты тоже есть. Например, ZENST или ReactionEngine. Однако они находятся на очень ранней стадии реализации. Первые полеты планируются не раньше 2050 г. AS2 в свою очередь должен взлететь уже в 2023 г.

Нет никакого смысла в создании неэкономичного двигателя для пассажирского сегмента. А значит, схема непременно должна быть двухконтурной. ТРДДФ военного назначения, такие как АЛ-31Ф или АЛ-41Ф, обладают очень малой степенью двухконтурности, что делает их крайне неэкономичными. Однако такие двигатели устанавливаются на истребители, и их геометрические размеры сильно ограничены. Здесь же эта проблема ощущается не так остро.

В ходе настоящего исследования были проведены расчеты, на основании которых целесообразно применить схему со степенью двухконтурности 1,4–3,0 и установку двух вентиляторных ступеней. Современные входные устройства позволяют сделать это. Подобная компоновка поможет двигателю стать более экономичным.

При переходе через звуковой барьер тяга двигателя существенно снижается. Возможно, на данном режиме целесообразно будет добавить в схему небольшую форсажную камеру, которая позволила бы самолету быстро преодолеть звуковой барьер. Краткосрочный форсажный режим не так значительно отразится на стоимости полета для пассажиров.

Принимая во внимание современные технологии в изготовлении охлаждаемых лопаток турбин, а также серьезные успехи в создании новых термостойких материалов, температуру перед турбиной можно определить в районе 1800–1900 К. Уже сейчас на серийных двигателях для пассажирских лайнеров температуры постепенно приближаются к данным значениям. Благодаря развитию технологий это несущественно сказывается на ресурсе изделия.

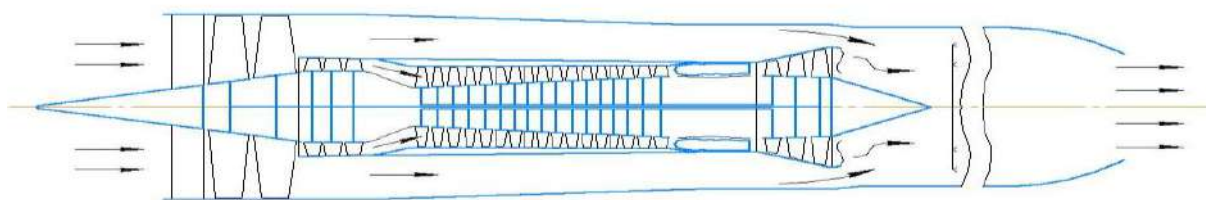


Рис. 8. Эскиз возможной конструктивной схемы ТРДДФ со взлётной тягой 27000 кгс для перспективного сверхзвукового пассажирского самолета

После проведения термогазодинамического расчета, можем наметить остальные параметры будущего двигателя (рис. 8). Так, для покоящегося на земле двигателя с $H = 0$ м и числа Маха $M = 0$ следует:

- удельная тяга – 639,89 Н·с/кг;
- удельный расход топлива – 0,047 кг/(Н·ч);
- расход воздуха через двигатель – 413,789 кг/с;
- расход воздуха через первый контур – 172,412 кг/с;

- расход воздуха через второй контур – 241,377 кг/с;
- площадь реактивного сопла – 1,198 м²;
- эффективный КПД двигателя – не менее 0,416.

Подобный двигатель открывает большие перспективы по созданию крупногабаритных сверхзвуковых самолетов как пассажирских, так и транспортных.

Источники

1. Булавкин А.А., Рогожин Б.А. Выбор параметров и термогазодинамический расчет и расчет ВСХ ТРД, ДТРД и ТВД. Казань: КАИ, 1985. 25 с
2. Сиротин Н.Н. Конструкция и эксплуатация, повреждаемость и работоспособность газотурбинных двигателей. М.: РИА ИМ-ИНФОРМ, 2002. 423 с.
3. Кулагин В.В. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. М.: Машиностроение, 2003. 540 с.
4. Юсупов И.М., Халдеев И.М., Волков Ф.А. Элементы композиции форм летательных аппаратов. Принципы и средства гармонизации форм как объектов зрительного восприятия: учеб. пособие / под ред. И.М. Юсупова Казань: КАИ, 1981. 90 с.
5. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П. Теория ракетных двигателей / под ред. В.П. Глушко. М.: Машиностроение, 1989. 464 с.
6. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей: учебник для вузов / под ред. С.М. Шляхтенко. М.: Машиностроение, 1987. 568 с.
7. Первый в РФ сверхзвуковой гражданский самолет может быть спроектирован за семь-восемь лет [Электронный ресурс]. URL: <http://tass.ru/ekonomika/4911172> (дата обращения: 05.12.2018).
8. Boom Technology [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Boom_Technology (дата обращения: 05.12.2018).
9. Пятое отклонение [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/833099> (дата обращения: 05.12.2018).
10. Ту-160: приглашаются пассажиры... [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2018/01/30/kogda-poiavitsia-sverhzhukovoj-passazhirskij-samolet.html> (дата обращения: 05.12.2018).
11. Перспективное проектирование [Электронный ресурс]. URL: http://www.tsagi.ru/research/planning_stage/ (дата обращения: 05.12.2018).
12. Специалисты ФГУП «ЦАГИ» предложили облик демонстратора сверхзвукового гражданского самолета будущего [Электронный ресурс].

URL: <http://www.tsagi.ru/pressroom/news/3189/> (дата обращения: 05.12.2018).

13. Ученые ЦАГИ приближаются к пониманию облика сверхзвукового делового самолета [Электронный ресурс]. URL: http://www.tsagi.ru/pressroom/news/2029/?sphrase_id=33447 (дата обращения: 05.12.2018).

14. Полмира за три часа. Есть ли будущее у сверхзвуковых пассажирских самолетов? [Электронный ресурс]. URL: <https://meduza.io/feature/2016/03/27/sychev-pro-samolety> (дата обращения: 05.12.2018).

15. Aerion Supersonic [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aerionsupersonic.com/> (дата обращения: 05.12.2018).

16. Будущее авиации. Перспективные проекты самолетов и вертолетов [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/395979/> (дата обращения: 05.12.2018).

17. Перспективы развития сверхзвуковой авиации [Электронный ресурс]. URL: <http://engine.aviaport.ru/issues/115/pics/pg14.pdf> (дата обращения: 05.12.2018).

18. Американцы представили двигатель для сверхзвукового пассажирского самолета [Электронный ресурс]. URL: <https://nplus1.ru/news/2018/10/17/affinity> (дата обращения: 05.12.2018).

19. Fast Friends: The World's First Supersonic Business Jet Gets A New Engine [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ge.com/reports/fast-friends-worlds-first-supersonic-business-jet-gets-new-engine/> (дата обращения: 05.12.2018).

20. Ту-144 и «Конкорд» – есть ли будущее сорок лет спустя? [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20130621/944953365.html> (дата обращения: 05.12.2018).

21. Новая разработка в отечественной авиации: Ту-444 [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20081127/155983663.html> (дата обращения: 05.12.2018).

22 АЛ-41Ф1. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/АЛ-41Ф1#АЛ-41Ф1С> (дата обращения: 05.12.2018).

23. Двигатель АЛ-41Ф-1 «ОКБ им. А. Люльки» и ПАО «ОДК-УМПО» для ПАК ФА – Су-57 [Электронный ресурс]. URL: <https://cont.ws/@su-35/1031559> (дата обращения: 05.12.2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ГАЗОВОГО ПОТОКА ПРЯМОУГОЛЬНЫМ СЕПАРАТОРОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТОЛЩИНАХ ДВУТАВРОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ву Л. Нгуен¹, М.О. Григорьева²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук О.С. Дмитриева

Аннотация. В работе представлен разработанный авторами прямоугольный сепаратор для сепарации многофазного газового потока от мелкодисперсных частиц размером до 10 мкм. Произведено исследование по определению оптимальной толщины двутавровых элементов внутри сепаратора при разных значениях скорости на входе в устройство и длинах двутавровых элементов для повышения эффективности процесса сепарации. Показано, что изменение толщины стенки элементов приводит к изменению структуры потока, что является причиной понижения эффективности улавливания частиц пыли.

Ключевые слова: сепаратор, очистка газового потока, частицы пыли, мелкодисперсная пыль, циклон, фильтр, сепарация газового потока.

Сепарация многофазного газового потока от мелкодисперсных твердотельных частиц до 10 мкм является актуальной задачей в настоящее время. Аппараты, осуществляющие улавливание частиц пыли из газовых потоков, с данной задачей справляются крайне неэффективно. К таким аппаратам относятся различные модификации циклонов, мокрых пылеуловителей, фильтров, электрофильтров и др. Стоит отметить, что эти аппараты являются достаточно распространенными во всех областях промышленности вследствие высокоэффективной сепарации газовых потоков от частиц размером более 30 мкм. Однако при необходимости улавливания частиц пыли размером менее 10 мкм эффективность циклонов существенно падает [1, 2].

В предыдущих работах [3, 4] авторами данной статьи был представлен разработанный прямоугольный очистительный сепаратор для улавливания мелкодисперсных твердотельных частиц размером менее 10 мкм.

Для повышения эффективности улавливания мелкодисперсных частиц и понижения гидравлического сопротивления сепаратора необходимо определение оптимальных конструкционных размеров элементов аппарата. Целью данной работы является определение оптимальной толщины двутавровых элементов в прямоугольном сепараторе.

Исследования проводились для упрощенной модели прямоугольного очистительного сепаратора (рис. 1). На рис. 1 представлена первая ступень прямоугольного сепаратора.

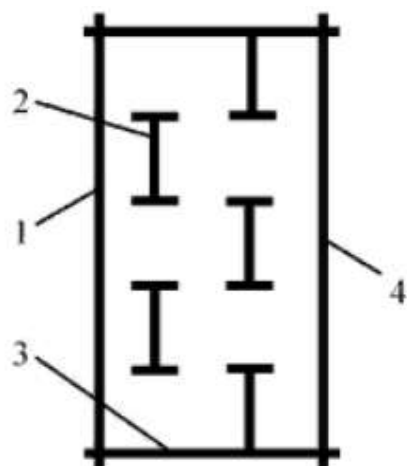


Рис. 1. Упрощенная двухмерная модель прямоугольного сепаратора:
 1 – входной патрубок, соединяющий газопровод с прямоугольным сепаратором;
 2 – двутавровый элемент внутри сепаратора; 3 – корпус устройства;
 4 – выходной патрубок сепаратора

Для определения оптимальной толщины двутавровых элементов внутри сепаратора использовался метод конечных элементов в программном комплексе ANSYS Fluent. В ходе исследования использовалась модель турбулентности – SST.

В ходе данного исследования задавались следующие неизменные параметры: на выходе из устройства принималось атмосферное давление 10^5 Па, начальная скорость частиц в газовом потоке 0 м/с, число частиц, находящихся в газе, n принималось равным 1000, массовый расход продуктов сгорания $G = 10$ г/с (0,01 кг/с). Для получения результатов изменялись следующие параметры: скорость на входе W в диапазоне 3–7 м/с, диаметр частиц a в газе принимался в диапазоне 1–12 мкм, длина двутавровых элементов b принималась равной 10, 14 и 20 мм, толщина стенок δ варьировалась в диапазоне 0,5–1,5 мм. Для получения зависимостей между ними один из параметров варьировался в указанном диапазоне значений, а другие параметры задавались базовыми значениями. Базовые значения: скорость на входе $W = 5$ м/с, диаметр частиц $a = 5$ мкм, длина двутавровых элементов $b = 14$ мм, толщина стенок $\delta = 1$ мм.

Численный расчет проводился при следующих допущениях: процесс течения газового потока стационарен, концентрация пыли исключает взаимодействие между частицами, влияние частиц на движение несущей среды не учитывается.

В ходе исследований было установлено, что при длинах двутавровых элементов $b = 14$ мм и толщинах стенок $\delta = 1$ мм эффективность улавливания мелкодисперсных частиц составляет 54,1 %, что является

наибольшим показателем в исследовании при различных длинах двутавровых элементов (рис. 2). Средняя эффективность сепарации газа при длинах двутавровых элементов 14 мм равняется 40,5 %, что на 13,7 и 15,6 % выше, чем при длинах двутавровых элементов 10 и 20 мм, соответственно. Следует отметить, что при длинах двутавровых элементов более 15 мм необходимо увеличивать толщину стенок для повышения эффективности процесса сепарации газа.

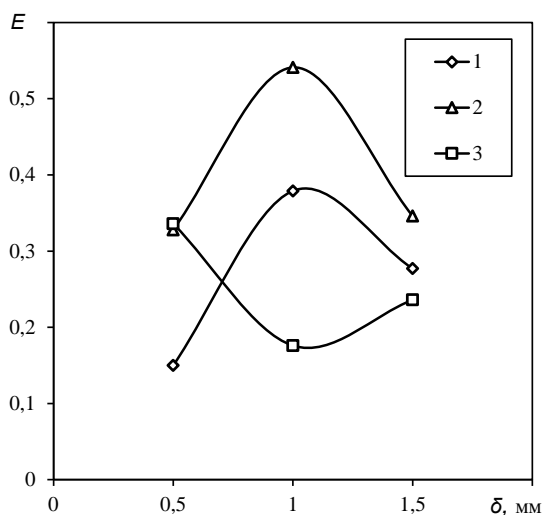


Рис. 2. Зависимость изменения эффективности сепарации газового потока первой ступенью прямоугольного сепаратора от толщины двутавровых стенок при различной длине двутавровых элементов b , мм: 1 – 10; 2 – 14; 3 – 20

В ходе исследований установлено, что максимальная эффективность прямоугольного сепаратора достигается при толщине стенки $\delta = 1$ мм. Достоинства прямоугольного сепаратора: малая металлоемкость, высокая эффективность сепарации газового потока и компактность.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4522.2018.8.

Источники

1. Малис А.Я., Касторных М.Г. Пневматический транспорт для сыпучих материалов. М.: Агропромиздат, 1985. 344 с.
2. Кузнецова А.А. К вопросу о методах расчета процессов пневмотранспорта сыпучих строительных материалов // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 164.
3. Улавливание мелкодисперсных твердых частиц из газовых потоков в прямоугольных сепараторах / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник

Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22, № 3 (134). С. 138–144.

4. Оптимизация конструкционных параметров дозатора в системе пневмотранспорта мелкодисперсных материалов / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 17. С. 39–41.

УДК 536.2 (075)

ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

А.А. Тишаков
СамГТУ, г. Самара
mr.tishakov2010@yandex.ru
Науч. рук. д-р техн. наук И.В. Кудинов

Аннотация. Изготовлена специальная установка, позволяющая поддерживать температуру до 3000 °С, необходимую для осуществления химических процессов в реакторе. Выполнено численно-аналитическое исследование температурного состояния многослойной цилиндрической установки с учётом лучистого теплообмена в газовой прослойке на всех режимах работы лабораторного стенда с помощью программы ANSYS Workbench.

Ключевые слова: численно-аналитический расчёт, сложный теплообмен, химический реактор, тепловой расчёт, многослойная цилиндрическая установка, лучистый теплообмен, программное обеспечение ANSYS Workbench.

Рассмотрим задачу стационарной теплопроводности применительно к трехслойному полому бесконечному цилиндру, у которого внутренний и наружный слои разделяются воздушной прослойкой (рис.1). Температура внутренней стенки цилиндра известна и равна t_1 . Теплообмен на наружной поверхности цилиндра происходит при краевых условиях 3-го рода с заданными величинами коэффициента теплоотдачи α и температуры среды $t_{\text{ср}}$. Требуется найти тепловой поток с единицы длины цилиндрической стенки, а также распределение температуры по толщине стенки.

Математическая постановка данной задачи будет:

$$q_1 = \frac{\pi(t_1 - t_2)}{\left(\frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}\right)}; \quad (1)$$

$$q_2 = 5,67\varepsilon_{\text{пр}} \left[\left(\frac{t_2 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_3 + 273}{100}\right)^4 \right] \pi d_2; \quad (2)$$

$$q_3 = \frac{\pi(t_3 - t_4)}{\left(\frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} \right)}; \quad (3)$$

$$q_4 = \alpha(t_4 - t_{cp})\pi d_4, \quad (4)$$

где λ_1, λ_3 – коэффициенты теплопроводности первого и третьего слоёв,

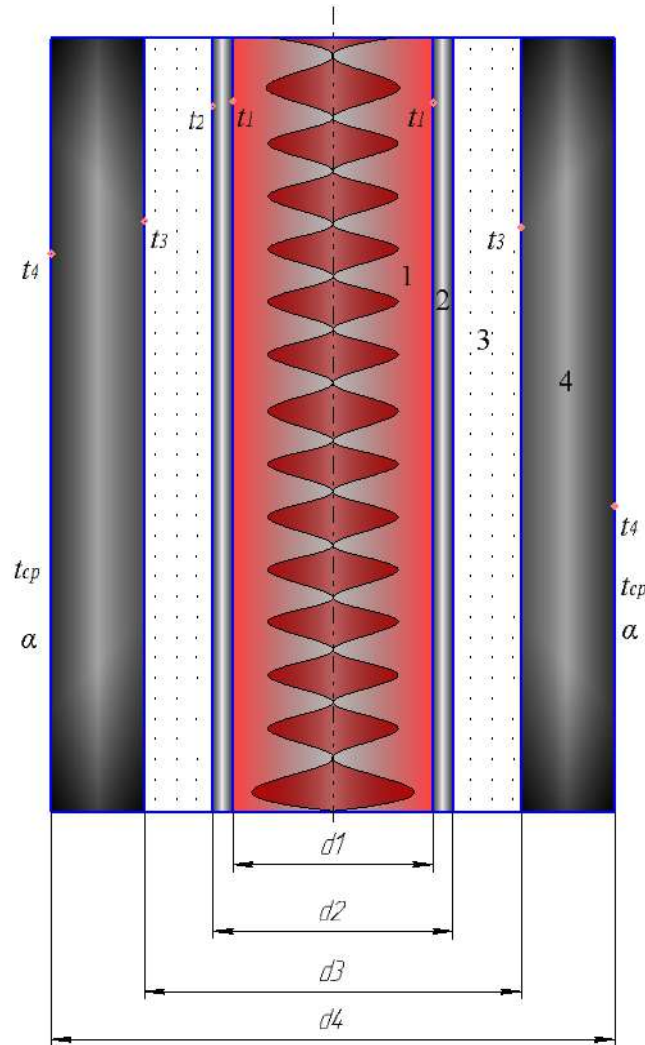


Рис. 1. Схема лабораторной установки химического реактора: 1 – химический реактор; 2 – первый слой (асбест); 3 – воздушная прослойка; 4 – слой стекловаты

$\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$; q_1 – тепловой поток, переносимый посредством теплопроводности, $\text{Вт}/\text{м}$; q_2 – лучистый поток через воздушный слой, $\text{Вт}/\text{м}$; q_3 – тепловой поток, протекающий через наружный слой, $\text{Вт}/\text{м}$; q_4 – конвективный тепловой поток, $\text{Вт}/\text{м}$; d_1, d_2, d_3, d_4 – диаметры слоев трехслойного полого цилиндра (рис. 1).

Исходные данные задачи следующие (рис. 1): $d_1 = 0,07$ м; $d_2 = 0,09$ м; $d_3 = 0,128$ м; $d_4 = 0,2$ м; $\lambda_1 = 0,1$ Вт/м·К; $\lambda_3 = 0,05$ Вт/м·К; $t_{cp} = 20$ °С; $\alpha = 10$ Вт/м²·К.

Рассмотрим способ определения точного решения системы (1)–(4), позволяющий находить ее неизвестные, не используя графические методы. При стационарном режиме тепловые потоки в любом слое равны, т. е. $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q$. Поскольку число неизвестных (t_2, t_3, t_4, q) равно четырём, то система (1)–(4) замкнута. Однако определение ее точного решения затрудняется нелинейностью уравнения (2). Для упрощения этой системы сведём соотношения (3) и (4) к одному алгебраическому уравнению. Выразим из (4) температуру t_4 и подставим полученное соотношение в (3):

$$q = \frac{\pi(t_3 - t_{cp})}{\frac{1}{2\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{\alpha d_4}}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что температура t_4 оказалась исключенной из системы (2), (5), решение которой необходимо теперь получить. Для дальнейшего упрощения системы (1), (2), (5) выразим температуру t_2 из уравнения (1), а t_3 – из уравнения (5) и подставим полученные выражения в соотношение (2). Откуда для теплового потока q будем иметь степенное уравнение вида:

$$q = \frac{5,67\varepsilon_{пр}}{10^8} \left[\left(t_1 - \frac{q \ln \left(\frac{d_2}{d_1} \right)}{2\pi\lambda_1} + 273 \right)^4 - \left(t_1 - \frac{q\alpha d_4 \ln \left(\frac{d_4}{d_3} \right)}{2\lambda_3} + t_{cp} + 273 \right)^4 \right]. \quad (6)$$

Соотношение (6) представляет алгебраическое уравнение 4-й степени для искомого теплового потока q . Это уравнение имеет четыре корня, три из которых не имеют физического смысла, два комплексных и один отрицательный. Следовательно, из решения уравнения (6) получаем один действительный корень, представляющий определяемый тепловой поток. Расчёты теплового потока по уравнению (6) для разных значений температуры (t_1) внутренней поверхности приведены в табл. 1.

По найденному тепловому потоку по формулам (1), (3), (4) были найдены температуры (t_2, t_3, t_4), которые также приведены в табл. 1.

Температуры по тепловому потоку

Тепловой поток q , Вт/м	Температура, °С				Эквивалентный коэффициент теплопроводности воздушного слоя $\lambda_{\text{ЭКВ}}$, Вт/(м К)
	t_1	t_2	t_3	t_4	
8	50	47	33	22	0,033
67	200	173	127	32	0,081
167	400	333	289	51	0,212
272	600	491	457	70	0,445
376	800	650	623	89	0,802
479	1000	808	788	108	1,31
581	1200	968	951	126	2,00
682	1400	1127	1114	145	2,89
783	1600	1287	1276	163	4,00
883	1800	1446	1437	182	5,38
983	2000	1606	1598	200	7,00
1084	2200	1766	1759	218	11,4
1184	2400	1926	1920	237	14,3
1285	2600	2086	2081	255	17,7
1385	2800	2246	2241	273	21,5
1485	3000	2406	2402	292	25,9

Найдём расход охлаждающего воздуха $G_{\text{возд}}$ для всех режимов работы лабораторной установки:

$$Q = G_{\text{возд}} \cdot c_{\text{рт возд}} \cdot (t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}), \quad (7)$$

где $c_{\text{рт возд}}$ – средняя теплоёмкость воздуха на каждом режиме; $t_{\text{ср}}$ среднеарифметическая температура между t_2 и t_3 воздуха в прослойке 3 (рис. 1); $t_{\text{в}}=20$ °С – температура наружного воздуха.

Зная расход охлаждающего воздуха, определим скорость его перемещения по формуле (8):

$$w_{\text{возд}} = \frac{F_{3-2}}{G_{\text{возд}}}, \quad (8)$$

где $F_{3-2} = \frac{\pi d_3^2}{4} - \frac{\pi d_2^2}{4}$ – площадь сечения воздушной прослойки:

Полученные результаты расхода охлаждающего воздуха и необходимой скорости охлаждения приведены в табл. 2.

Расход охлаждающего воздуха и необходимой скорости охлаждения

Тепловой поток q , Вт/м	Расход охлаждающего воздуха $G_{\text{возд}}$, м ³ /ч	Необходима скорость охлаждения $w_{\text{возд}}$, м/с
8	0	0
67	0	0
167	0	0
272	1,728	13,54
376	1,729	13,53
479	1,718	13,62
581	1,699	13,78
682	1,680	13,92
783	1,663	14,07
883	1,646	14,21
983	1,631	14,35
1084	1,619	14,45
1184	1,606	14,57
1285	1,596	14,66
1385	1,586	14,75
1485	1,576	14,84

Определим количество теплоты, которое необходимо отвести от каждого изоляционного слоя для того, чтобы охладить его до 50 °С:

$$Q_{\text{м.в}} = G_{\text{м.в}} \cdot c_{\text{рт м.в}} \cdot (t_{\text{ср.м.в}} - 50), \text{ Дж};$$

$$Q_{\text{асб}} = G_{\text{асб}} \cdot c_{\text{ср.асб}} \cdot (t_{\text{ср.асб}} - 50), \text{ Дж},$$

где $G_{\text{м.в}}$, $G_{\text{асб}}$ – массы изоляционных слоёв минеральной ваты и асбеста, соответственно; $t_{\text{ср.м.в}}$ – среднеарифметическая температура между t_3 и t_4 воздуха в прослойке 4 (рис. 1); $t_{\text{ср.асб}}$ – среднеарифметическая температура между t_1 и t_2 воздуха в прослойке 2 (рис. 1); $c_{\text{рт м.в}}$, $c_{\text{ср.асб}}$ – теплоёмкость изоляционных слоёв минеральной ваты и асбеста равны 920 Дж/(кг·°С) и 1050 Дж/(кг·°С), соответственно:

$$G = \rho \cdot V,$$

где ρ – плотность изоляционного слоя, $\rho_{\text{м.в}} = 50 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{асб}} = 470 \text{ кг/м}^3$; V – объём изолирующего слоя, определяющийся по формуле (9):

$$V_{\text{слоя}} = F \cdot h \quad (9)$$

где h – высота изоляционного слоя, $h = 1,2$ м; F – площадь изоляционного слоя.

Найдём объёмы изолирующих слоёв:

$$V_{\text{м.в}} = \left(\frac{\pi d_4^2}{4} - \frac{\pi d_3^2}{4} \right) \cdot h = 0,022 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{асб}} = \left(\frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} \right) \cdot h = 0,003 \text{ м}^3;$$

$$G_{\text{м.в}} = \rho_{\text{м.в}} \cdot V_{\text{м.в}} = 50 \cdot 0,022 = 1,1 \text{ кг};$$

$$G_{\text{асб}} = \rho_{\text{асб}} \cdot V_{\text{асб}} = 470 \cdot 0,003 = 1,41 \text{ кг}.$$

Определим время охлаждения каждого изоляционного слоя для последнего режима:

$$Q_{\text{м.в}} = 1,1 \cdot 920 \cdot (1347 - 50) = 1312,6 \text{ кДж};$$

$$Q_{\text{асб}} = 1,41 \cdot 1050 \cdot (2703 - 50) = 3927,8 \text{ кДж}.$$

Найдём коэффициент теплоотдачи α из уравнения Nu:

$$\alpha_{\text{возд}} = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_{\text{возд}}}{\delta}, \quad (10)$$

где $\lambda_{\text{возд}}$ – коэффициент теплопроводности воздуха при $t_{\text{в}} = 20$ °С; δ – толщина изоляционного слоя, являющаяся определяющим размером.

$$\text{Nu} = B \cdot (\text{Re}_{\text{ж}})^n \cdot (\text{Pr}_{\text{ж}})^l \cdot \left(\frac{\text{Pr}_{\text{ж}}}{\text{Pr}_{\text{ст}}} \right)^{0,25} \quad (11)$$

$$\text{Re}_{\text{ж}} = \frac{w \cdot \delta}{\zeta_{\text{ж}}},$$

где $\zeta_{\text{ж}}$ – кинематическая вязкость воздуха, $\zeta_{\text{ж}}(t = 20^{\circ}\text{C}) = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
 δ – определяющий размер, толщина $\delta = 0,019 \text{ м}$; w – необходимая скорость охлаждения, м/с;

$$\text{Re}_{\text{ж}} = \frac{14,84 \cdot 0,019}{15,06 \cdot 10^{-6}} = 18722,4.$$

$\text{Re}_{\text{ж}} > \text{Re}_{\text{кр}}$ турбулентный режим $B = 0,021$; $n = 0,8$; $l = 0,43$.

$$\text{Pr}_{\text{ж}}(t = 20^{\circ}\text{C}) = 0,703;$$

$$\text{Pr}_{\text{ст.м.в.}}(t = 2402^{\circ}\text{C}) = 0,74504;$$

$$\text{Pr}_{\text{ст.абс.}}(t = 2406^{\circ}\text{C}) = 0,74512.$$

Полученные значения поставим в уравнение (11) и найдём критериальный коэффициент Nu , для каждого изоляционного слоя при последнем режиме работы:

$$\text{Nu}_{\text{абс.}} = 0,021 (18722,4)^{0,8} (0,703)^{0,43} (0,703/0,74512)^{0,25} = 46,5566;$$

$$\text{Nu}_{\text{м.в.}} = 0,021 (18722,4)^{0,8} (0,703)^{0,43} (0,703/0,74504)^{0,25} = 46,5579.$$

Полученные значения коэффициента Nu подставим в уравнение (10) и найдём коэффициент теплоотдачи воздуха $\alpha_{\text{возд}}$ от каждого изоляционного слоя при последнем режиме работы:

$$\alpha_{\text{возд}} = \frac{\text{Nu}_{\text{абс.}} \cdot 0,0259}{0,019} = 63,46404,$$

$$\alpha_{\text{возд}} = \frac{\text{Nu}_{\text{м.в.}} \cdot 0,0259}{0,019} = 63,46575.$$

Исходя из полученных значений, решим задачу нестационарного охлаждения лабораторной установки в модуле Transient Thermal программы ANSYS Workbench. Для этой цели, используя результаты аналитического решения задачи (1)–(4), приведенные в табл. 1, было задано начальное температурное распределение внутри установки (рис. 2)

и найдены графики изменения максимальных и минимальных температур в лабораторной установке от времени (рис. 3).

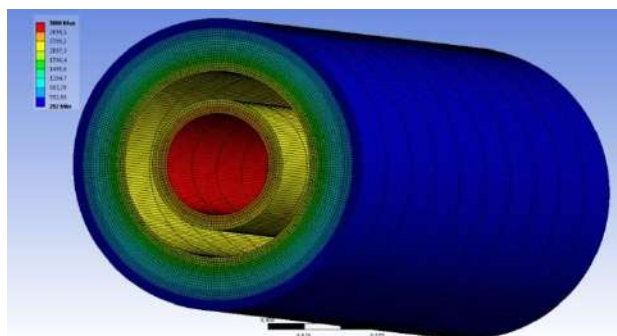


Рис. 2. Начальное распределение температуры при $q = 1485$ Вт/м и схема разбиения на конечные элементы

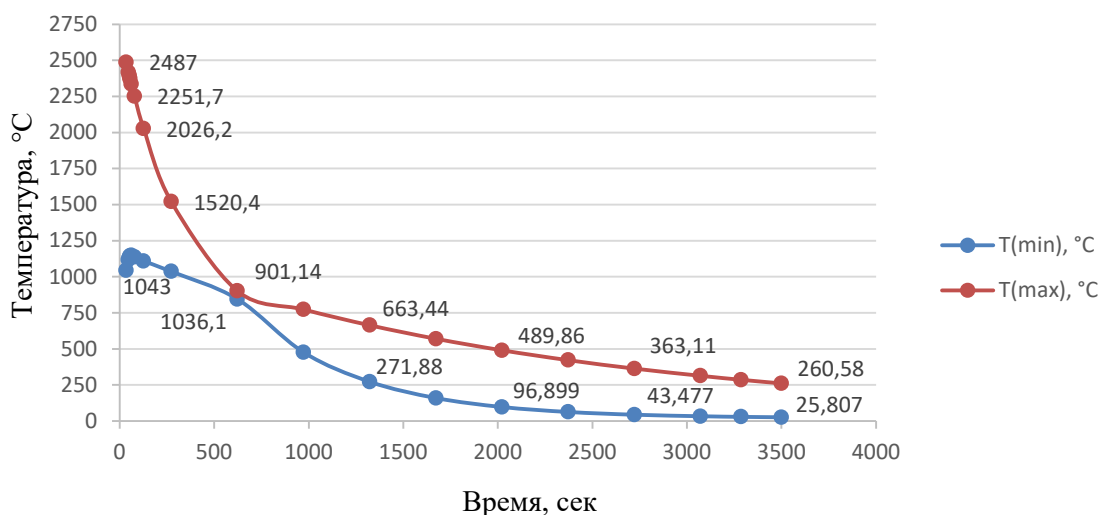


Рис. 3. Графики изменения максимальных и минимальных температур в лабораторной установке от времени

Найдены скорости движения охлаждающего воздуха в зазоре 2 (рис. 1) лабораторной установки, который подается вентилятором для поддержания температуры на поверхности стенда не более 50°C для всех режимов работы на основе численно-аналитического расчёта. Определено время охлаждения химического реактора атмосферным воздухом, подаваемым вентилятором, для рабочей температуры (3000°C) электрической спирали лабораторного стенда.

Источники

1. Кудинов И.В., Абишева Л.С, Бранфилева А.Н. Исследование сложного теплообмена в многослойной цилиндрической конструкции,

включающей энергосберегающие газовые прослойки // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура: науч.-техн. журнал. 2014. № 3 (16). С. 90–95 с.

2. Кудинов И.В. Графоаналитический метод расчета потерь теплоты через многослойные стенки при наличии лучистого теплообмена между отдельными слоями // Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: межвуз. сб. науч. тр. 2011. Вып. 6. С. 74–80.

3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1997. 344 с.

4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергия, 1969. 440 с.

УДК 66.021.3/4

ТЕПЛОМАССОБМЕН В СТРУЙНО-ПЛЕНОЧНЫХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

А.И. Хафизова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aliyahi@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук А.В. Дмитриев

Аннотация. На сегодняшний день широкое применение для охлаждения оборотной воды находят струйно-плёночные контактные устройства. В работе представлены результаты проведения математических расчетов. Полученные результаты говорят о перспективах работы в данном направлении и возможности использования данных устройств на предприятиях.

Ключевые слова: струйно-плёночные устройства, теплообмен, энергоэффективность, гидравлическое сопротивление, охлаждение воды, ороситель, градирня.

Использование на промышленных предприятиях охлаждающих устройств приобретает все большие обороты. С каждым годом разновидностей конструкций для охлаждения оборотной воды становится все больше и больше. Наиболее часто в производстве встречается использование градирен, которые обеспечивают устойчивое охлаждение воды при высоких удельных гидравлических и тепловых нагрузках. Наиболее популярными из них являются вентиляторные. Преимуществами таких градирен являются малые габариты, эффективность охлаждения. Однако одним из недостатков таких градирен является дороговизна при их использовании. Для того, чтобы решить эту задачу, необходимо разработать такие конструкции, которые позволили бы сократить потребление электроэнергии, либо снизить затраты на изготовление самих конструкций [1, 2].

Основным элементом градирни, отвечающим за охлаждающую способность, является ороситель. Вариантов оросителей множество, они отличаются не только самой конструкцией изготовления, но также и материалом из которого они изготавливаются. При разработке и изготовлении оросителей необходимо уделить внимание таким вопросам, как простота при изготовлении, простота при замене на новые детали, металлоемкость конструкции. Учесть все вопросы не так просто, в связи с этим необходимо подобрать такие конструкции, которые сократили бы расходы до минимума [3, 4].

Большое применение находят тарельчатые аппараты, однако все больше внимания уделяется насадочным устройствам из-за их технико-экономических показателей, которые значительно превышают показатели тарельчатых аппаратов.

Наиболее эффективным способом энергосбережения на промышленном предприятии является модернизация уже существующих конструкций.

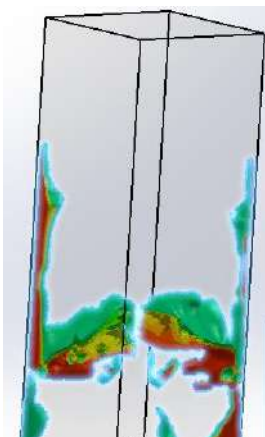
Существующие конструкции контактных устройств [5] отвечают вышеизложенным требованиям. Струйно-пленочное контактное устройство обладает большой площадью контакта фаз, не высоким гидравлическим сопротивлением, простотой при изготовлении конструкции, а также хорошей смачиваемостью.

Верхние ступени контактного устройства служат каплеуловителями и препятствуют уносу жидкости из градирни. Конструкция контактного устройства представляет собой множество ступеней с шахматным расположением по вертикали и горизонтали стаканов, с вертикальными перегородками посередине. Движение потока газа в устройстве носит зигзагообразный характер.

Для увеличения эффективности работы устройства внесли некоторые изменения в конструкцию, а именно выполнили отверстия в нижней части стенок стаканов – в каждом стакане по 8 отверстий диаметром 5 мм.

Исследования двухфазных потоков при физическом эксперименте в устройстве не могут дать точных результатов характера движения жидкости и воздуха внутри элемента, в связи с этим проводились численные эксперименты в программном пакете. Строилась математическая модель, задавались граничные условия и проводился эксперимент (см. рисунок). При расчете использовался метод объема жидкости (VOF), который позволяет учитывать взаимодействие двух несмешивающихся фаз. Изучаемый модуль разбили на 130690 ячеек. На границе раздела с твердыми стенками располагается 48644 ячеек. В нижней части устройства давление воздуха задавалось 101425 Па, а в

верхней – 101325 Па. Решалась нестационарная задача. Через 0,9 с. был выявлен квазистационарный режим, поэтому расчет был остановлен.



Численное моделирование взаимодействия жидкой и газовой фазы
в элементе устройства

При проведении эксперимента изменялся уровень жидкости в стаканах, а с ним – и скорость жидкости. Была получена зависимость, что с ростом среднерасходной скорости воздуха уменьшается скорость истечения жидкости из отверстий.

Данная конструкция позволяет эффективно охлаждать воду, создает большую поверхность теплообмена, обладает хорошей смачиваемостью, а также проста в изготовлении.

Источники

1. Пушнов А.С., Соколов А.С., Бутрин М.М. Методы интенсификации процесса тепло- и массообмена в колонных аппаратах с контактными устройствами // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. Т. 1, № 15. С. 237–242.

2. Ющенко В.Д., Лесович Е.В., Зыков А.В. Анализ эффективности работы градирен с распылителями воды // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2017. Т. 2, № 3. С. 1–7.

3. Музафарова А.Р., Емельянычева Е. А. Классификация, основные требования конструктивные особенности современных насадочных контактных устройств // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 2. С. 63–67.

4. Повышение эффективности теплообменных процессов в малогабаритных аппаратах охлаждения оборотной воды / К.Е. Бондарь [и др.] // Фундаментальные исследования. 2017. № 9-1. С. 25–29.

5. Impact of the liquid level in the jet-film contact devices on the heat-and-mass transfer process / O.S. Dmitrieva [et al.] // MATEC Web Conf. 2017. Vol. 129. 4 p.

УДК 532.546

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Р.Р. Хусаинов¹, Р.Р. Яфизов²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Rishat1497@mail.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук О.В. Соловьева,
канд. физ.-мат. наук С.А. Соловьев

Аннотация. Построены компьютерные модели пористых сред различной конфигурации, проведен расчет перепада давления в зависимости от скорости потока на основе созданных моделей. Геометрия упаковки случайно расположенных пересекающихся сфер дает нелинейное изменение давления, тогда как упорядоченная упаковка сфер и структура случайно расположенных цилиндров и сфер дают результаты близкие к модели Дарси. Для модели случайно расположенных сфер при той же пористости среды, как и для других моделей, коэффициент сопротивления имеет максимальное значение, что обусловлено множеством каналов сложной геометрии, создающих дополнительное сопротивление потоку. Оптимизация геометрии пористого материала вызвана инженерными потребностями в снижении значения перепада давления при течении газа или жидкости через сложную структуру. Прямое численное моделирование при этом является единственным способом исследовать течение с учетом сложной внутренней геометрии. Создание подобной компьютерной модели и построение сеточного разбиения является отдельной трудоемкой задачей.

Ключевые слова: высокопористый ячеистый материал, приближенная модель пористой среды, прямое численное моделирование, гидродинамический расчет.

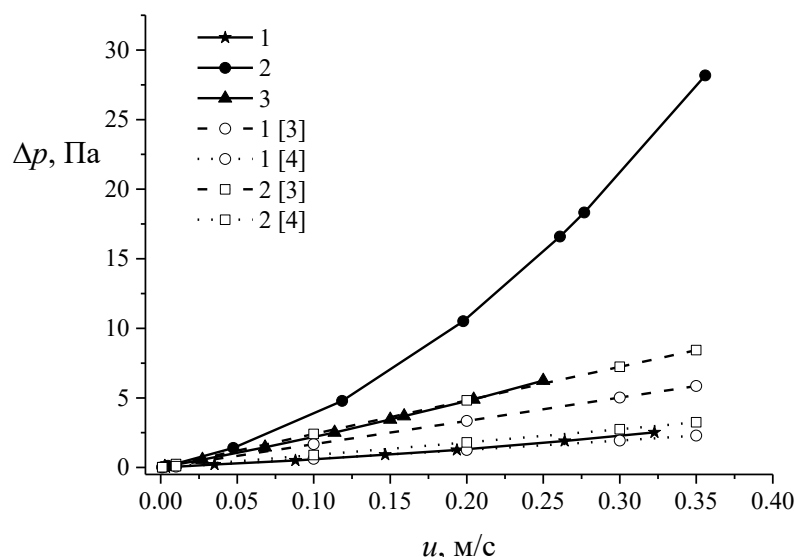
Использование высокопористых ячеистых материалов с развитой площадью поверхности представляет собой важный прорыв во многих промышленных применениях. Среди различных пористых сред металлические высокопористые ячеистые материалы демонстрируют отличительные особенности: низкая плотность, умеренная жесткость, высокая прочность и высокое отношение плотности к объему, вследствие чего они активно используются в различных приложениях, таких как охлаждение микроэлектроники, топливных элементов и компактных теплообменников. Для таких приложений знание значения перепада давления является ключевой проблемой для контроля потока, совершенствования передачи тепла, планирования и развития процессов химической технологии [1].

Моделирование трехмерной структуры пористых сред и определение соответствующих геометрических характерных размеров приводит к росту фундаментальных исследований для возможного применения в инженерии. В работе [2] для исследования падения давления в высокопористых ячеистых материалах была применена комбинация микрокомпьютерной томографии, имитационного моделирования и вычислительной гидродинамики (CFD). Анализ охватывает ряд режимов потока и направлен на определение влияния важных морфологических параметров на перепад давления. Технология микрокомпьютерной томографии наряду с подробным CFD моделированием позволяет исследовать явления, происходящие в реальных микроструктурах пористого материала.

В статье Хеллмана [3] были проведены прямое численное моделирование на основе компьютерной томографии и физический эксперимент течения запыленного газа в пористой среде, получены полуэмпирические зависимости для перепада давления, проведено сравнение с экспериментальными данными авторов Вейк и Браун [4], результаты эксперимента расходятся с экспериментальными данными Хеллмана. Предложена своя полуэмпирическая формула, однако и результаты прямого численного моделирования недостаточно хорошо коррелируют с предложенной полуэмпирической зависимостью.

Численное моделирование течения воздуха в созданных геометриях проводилось с использованием программного комплекса ANSYS Fluent с заданием следующих граничных условий: на входе области задавался массовый расход воздуха, на выходе из пористой среды – давление, равное атмосферному. Все расчеты проведены для фиксированного набора значений массового расхода на входе в расчетную область. Скорость фильтрации отличается для каждого случая и зависит от геометрии созданной структуры.

Сравнение результатов численного моделирования с полуэмпирическими зависимостями приведено на рисунке. Наиболее близкими оказались результаты, полученные по полуэмпирической формуле работы [3], к данным численного расчета течения в пористой среде, составленной случайным набором сфер и цилиндров, тогда как результаты, полученные по формуле работы Вейка [4] хорошо коррелируют с расчетом для упорядоченной упаковки сфер. Приведенные кривые свидетельствуют о недостаточности накопленных знаний поведения потока в пористых средах, поскольку экспериментальные исследования проводятся для конкретного образца пористой среды без учета влияния особенностей структуры на гидродинамические параметры.



Изменение перепада давления в зависимости от геометрии пористой среды:
 1 – упорядоченное расположение взаимно пересекающихся сфер, 2 – случайное расположение пересекающихся сфер, 3 – пористая среда, образованная набором сфер и цилиндров, расположенных случайным образом, 1 [3] – экспериментальные результаты, полученные авторами работы [3] для упорядоченной структуры, 1 [4] – результаты эксперимента авторов работы [4] для упорядоченной упаковки, 2 [3] – экспериментальные данные для случайной упаковки [3], 2 [4] – экспериментальные данные для случайной упаковки [4]

Проведено детальное численное моделирование течения газа в пористых средах различной геометрии. Результаты расчетов хорошо согласуются с результатами экспериментальных исследований других авторов, а также с результатами, полученными по модели Дарси. Зависимость перепада давления от скорости фильтрации для случайно расположенных пересекающихся сфер носит нелинейный характер, следовательно, для применения осредненной модели течения в пористой среде в данном случае следует использовать модель Форхгеймера. Данные исследования вносят вклад в развитие знаний о гидродинамике в пористых средах при исследовании на мезомасштабе и могут лечь в основу создания пористых материалов с улучшенными свойствами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и правительства республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-41-160005, при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-01188.

Источники

1. Mass transfer and pressure drop in ceramic foams: A description for different pore sizes and porosities / G.I. Garrido [et al.] // Chemical Engineering Science. 2008. Vol. 63. Pp. 5202–5217.

2. CFD characterization of flow regimes inside open cell foam substrates / Della Torre A. [et al.] // International Journal of Heat and Fluid Flow. 2014. Vol. 50. Pp. 72–82.

3. Characterization of An Open-Pored Nickel Foam with Respect to Aerosol Filtration Efficiency by Means of Measurement and Simulation / A. Hellmann [et al.] // Aerosol Science and Technology. 2015. Vol. 49. Pp. 16–23.

4. Wake D., Brown R.C. Filtration of Monodisperse Aerosols and Polydisperse Dusts by Porous Foam Filters // J. of Aerosol Science. 1991. Vol. 22, № 6. Pp. 693–706.

УДК 621.45.022.5

РАЗРАБОТКА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ С ГАЗОГОРЕЛОЧНЫМ УСТРОЙСТВОМ ФИРМЫ POLIDORO PREMIX

А.А. Чугунов¹, А.И. Хайрутдинова²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. канд. техн. наук О.С. Попкова

Аннотация. Наложение экономических санкций западными странами на нашу страну существенно затронуло многие промышленные отрасли. В связи с этим разработка собственной технологической продукции является крайне актуальной задачей. В данной работе ставится задача произвести оценочный расчет процесса теплообмена между продуктами сгорания в топке камеры сгорания и омывающим ее теплоносителем. Результаты численного моделирования показали, что для создания наиболее эффективной камеры сгорания для котла необходимо конструктивно оформлять камеру сгорания таким образом, чтобы расстояние между горелкой и внутренним контуром камеры сгорания было минимальным. Исследованы разные варианты исполнения камеры сгорания при изменении ее внутреннего диаметра.

Ключевые слова: камера сгорания, дымовые газы, топка, газогорелочное устройство, потери тепла, газовый котел.

Наложение экономических санкций западными странами на нашу страну осложнило покупку многих аппаратов, устройств и др. технологических систем. Особенно это затронуло многие отрасли промышленности: энергетическую, нефтехимическую, металлургическую и др. Из-за роста доллара практически в 2,3 раза произошел скачок цен почти на всю технологическую продукцию. Например, импортный газовый котел мощностью 50 кВт в 2014 г. стоил 52770 руб., а на начало 2019 г. его цена увеличилась до 89213 руб. Таким образом, рост цены составил около 65 %. В связи с этим разработка собственной технологической продукции является актуальной задачей для промышленности нашей страны. В данной работе будет рассмотрена разработка камеры сгорания, создание

которой позволит снизить экономическую зависимость от зарубежных компаний-производителей. Целью настоящей работы является оценочный расчет сгорания углеводородного топлива в камере сгорания.

Главными требованиями, предъявляемыми к современным камерам сгорания, является высокая эффективность. Для достижения максимально возможной эффективности необходимо снизить тепловые потери. К основным тепловым потерям относят: потери тепла от химической неполноты сгорания топлива; потери тепла в окружающую среду, которые вызваны большой разницей температур и потери тепла с уходящими газами.

Уменьшение потерь тепла от химической неполноты сгорания топлива осуществляется достижением оптимального значения коэффициента избытка воздуха в камере сгорания. Для этого необходимо обеспечить качественное смесеобразование окислителя и углеводного топлива. Уменьшение потери тепла в окружающую среду, которая вызвана большой разницей температур между наружными стенками агрегата и окружающим воздухом достигается путем повышения толщины изоляционного слоя стенок камеры сгорания. Уменьшение потери тепла с продуктами сгорания вызывают сложности, так как температура продуктов сгорания может достигать 1300–1700 °С [1–7].

Для проведения оценочного расчета сгорания углеводородного топлива рассматривался газовый котел мощностью $Q = 50$ кВт, имеющий предполагаемую камеру сгорания длиной $L_2 = 600$ мм. Предполагается, что в камере сгорания будет использоваться газогорелочное устройство фирмы Polidoro Premix со следующими конструктивными параметрами: $d_1 = 60$ мм, $L_1 = 600$ мм. Газогорелочное устройство Polidoro Premix представлено на рисунке.



Газогорелочное устройство фирмы Polidoro Premix

Расчет сгорания углеводородного топлива в камере сгорания с представленными геометрическими характеристиками производился в программном комплексе AnsysFluent.

В связи со сложностью численного моделирования, а именно необходимости больших вычислительных мощностей расчет камеры сгорания производился отдельно по двум областям. В первой области исследовалось влияние геометрических размеров внешнего корпуса камеры сгорания на поглощение теплоносителем тепловой энергии, а во второй области исследовалось влияние геометрических размеров внутреннего корпуса камеры сгорания на отдачу тепловой энергии внутренней стенке камеры от уходящих газов к теплообменному аппарату.

В работе представлены результаты проведенных исследований: для создания наиболее эффективной камеры сгорания для котла необходимо конструктивно оформлять камеру сгорания таким образом, чтобы расстояние между горелкой и внутренним контуром камеры сгорания было минимальным.

Источники

1. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках. М.: Энергоатомиздат, 2000. 456 с.
2. Ларионов Н.Н. Теплотехника. М.: Стройиздат, 1985. 432 с.
3. Assessment of Change in Torque of Stream-Bubble Contact Mass Transfer Devices / I.N. Madyshev [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Vol 51, Is. 5-6. P. 383–387.
4. Кочнева О.С., Павлов Г.И., Сахабутдинов Ж.М. Экспериментально-теоретические исследования нестационарного взаимодействия горячей капли с акустическим потоком газа в трубе // Вестник Казанского технологического университета. 2003. № 2. С. 137–143.
5. Viganò F., Magli F. An optimal algorithm to assess the compliance with the T_{2s} requirement of Waste-to-Energy facilities // EnergyProcedia. 2017. Vol. 120. P. 317–324.
6. Костюк А.Г., Шерстюк А.Н. Газотурбинные установки. М.: Высшая школа, 1979. 254 с.
7. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Гумерова Г.Х. Оценочный расчет процесса теплообмена в камере сгорания при сжигании природного газа // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, №. 2. С. 99–103.

Секция 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

УДК 639

ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ МОЛОДИ СТЕРЛЯДИ В УСЛОВИЯХ БАСЕЙНОВОГО СОДЕРЖАНИЯ

И.И. Арефьев¹, М.Л. Калайда², И.К. Абдрахманов³
^{1,2,3}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
VAN.MGDN@MAIL.RU

Аннотация. В данной работе рассмотрены особенности выращивания молоди стерляди в условиях бассейнового содержания в зависимости от параметров среды: температуры воды, содержания растворённого в воде кислорода и плотности посадки.

Ключевые слова: стерлядь, искусственное воспроизводство, бассейновое содержание, плотность посадки, выживаемость молоди.

Вид Стерлядь (*Acipenserruthenus*L., 1758) является одним из представителей рыб семейства осетровых, способна постоянно обитать в пресной воде. Самцы в пределах ареала достигают половой зрелости в возрасте 4–5, самки – 6–10 лет [3,4]. В первые два года стерлядь растёт более интенсивно, в дальнейшем темп её роста замедляется. Средняя длина встречающейся в уловах стерляди достигает 40–60 см, средняя масса – 0,3–1 кг [3,4]. Большинство половозрелых особей реки Волги характеризуется абсолютной длиной 42–53 см [2]. Стерлядь нерестится в водоемах на галечном грунте при температуре от 7 до 20 °С. Внешне половозрелых самцов можно выделить по появлению беловатого налета на голове. Абсолютная плодовитость стерляди составляет 4–140 тыс. шт. икринок [3, 4]. Волжская стерлядь откладывает от 4 до 10 тыс. икринок [5].

Стерлядь *Acipenser ruthenus* раньше входила в число важнейших промысловых видов, но в настоящее время занесена в «Красную книгу Российской Федерации» и «Красную книгу Международного союза охраны природы». Процент её в уловах Куйбышевского водохранилища, и без того низкий, сократился с 0,04 % в 2010 г. до 0,02 % в 2014 г. [1]. Это делает искусственное воспроизводство стерляди в регионе Среднего Поволжья одной из приоритетных задач аквакультуры [1].

Изучение особенностей выращивания молоди стерляди в условиях бассейнового содержания проводилось в составе проектной группы на базовой кафедре «Рыбоводно-продукционные исследования в аквакультуре» на рыбоводном комплексе ООО «Биосфера-Фиш», где получают молодь стерляди для пополнения естественных запасов. Планируемая мощность –

5 млн мальков массой до 10 г в год. Предприятие расположено в питомнике «Биосфера» в Лаишевском районе Республики Татарстан.

В данной работе проведена оценка выживаемости молоди стерляди с момента пересадки личинок из инкубационного аппарата «Осетр» в бассейны инкубационно-личиночного цеха.

Оценивались такие параметры среды, как температура воды, содержание в воде растворённого кислорода, плотность посадки личинок и влияние этих показателей на выживаемость молоди. Для данной работы выбрали три бассейна инкубационно-личиночного цеха с одним источником водоподдачи.

Для измерений был использован оксиметр OxyGuardHandyPolaris с возможностью измерения температуры воды. Диапазон измерения температуры у прибора от -5 до $+45$ °С с погрешностью $\pm 0,2$ °С. Диапазон измерения кислорода – 0–60 мг/л (0–600 % насыщения).

Нормативные показатели температуры воды и содержания кислорода в воде для подращивания личинок [4] представлены в таблице.

Нормативные показатели для подращивания личинок

Показатели	Ед.
Температура воды для подращивания личинок, °С	14–18
Кислород растворенный, мг/л	9–11
Кислород растворенный, % насыщения	100±5
Плотность посадки предличинок, тыс.шт./м ²	12,5
Плотность посадки личинок, тыс. шт./м ²	5,0

На рис. 1 представлена динамика изменений температуры воды в бассейнах за рассматриваемый промежуток времени. Диапазон колебаний температуры составил 3 °С (с 16,5 до 19,5 °С, со спадом внутри этого интервала до 18 °С). Перепады температуры обусловлены подачей свежей подготовленной воды с низкой температурой из артезианского источника.

На рис. 2 представлены показатели динамики содержания в воде растворённого кислорода за рассматриваемый период. Диапазон изменений показателей содержания кислорода составил более 1 мг/л (с 6 до 7,2 мг/л). Эти значения являются значительно ниже тех, что указаны в нормативах, а именно 9–11 мг/л.

На рис. 3 представлена динамика плотности посадки молоди стерляди в каждом из бассейнов. Плотность посадки молоди находится в пределах норматива, а именно 5000 экз./м².

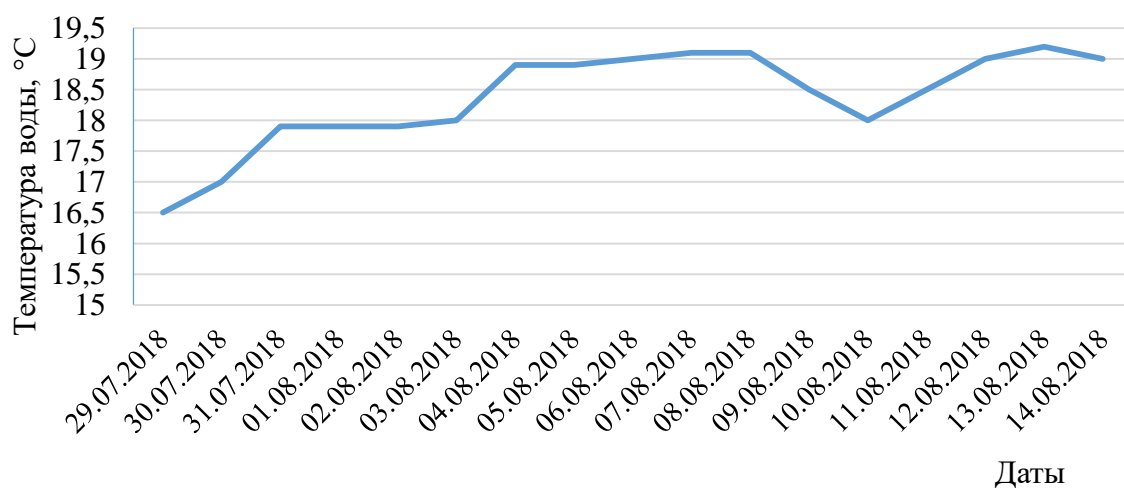


Рис. 1. Динамика показаний температуры воды

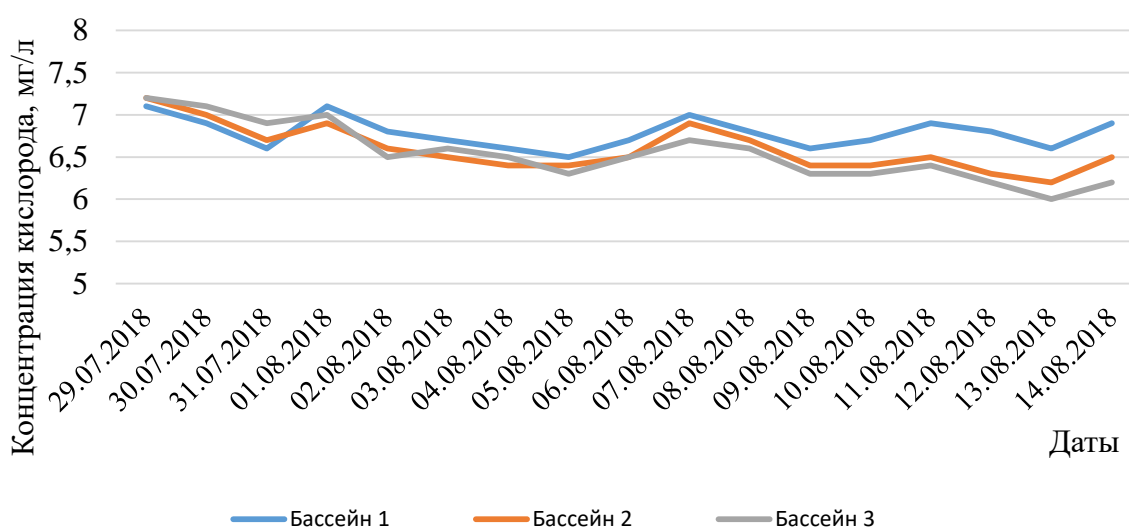


Рис. 2. Динамика содержания в воде растворённого кислорода

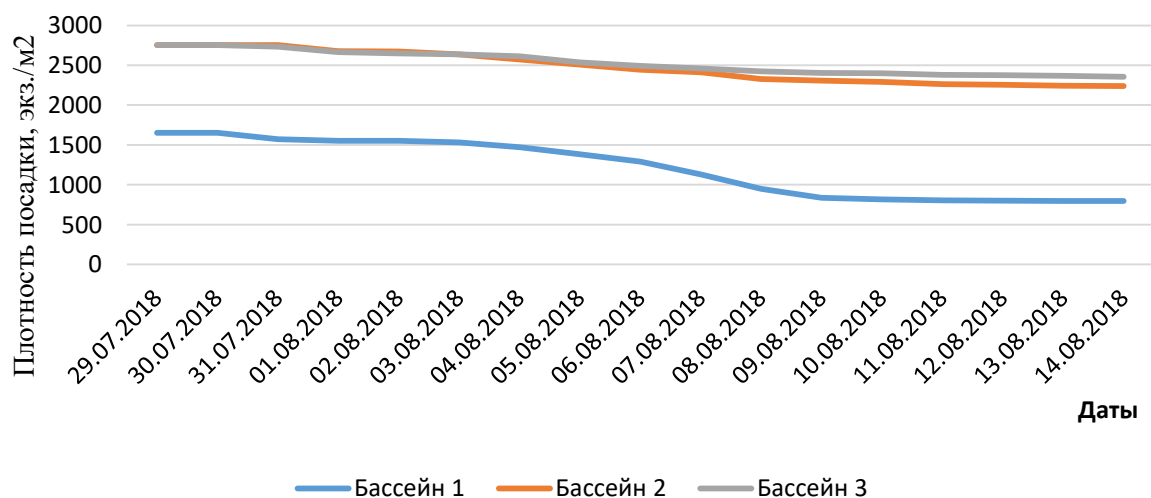


Рис. 3. Плотность посадки мальков в бассейнах за рассматриваемый период

Максимальная смертность за рассматриваемый период наблюдалась в бассейне (№ 1) с наименьшей плотностью посадки (1651 экз./м²) и составила 51,8 %. Минимальная смертность составила 24,5 % (бассейн № 3). Максимумы смертности молоди во всех бассейнах связаны с перепадами температуры воды на 1 °С, обусловленными периодичностью подачи артезианской воды.

Другим фактором влияния артезианской воды на молодь являлось снижение в воде растворённого кислорода: содержание кислорода, растворенного в воде, находилось ниже нормативного уровня на 2 мг/л.

Для снижения смертности молоди рекомендуется включение в систему водоподачи распределительного бассейна для выравнивания температуры воды и повышения в ней содержания кислорода до нормативных значений 9–11 мг/л.

Источники

1. Калайда М.Л. Современное состояние и задачи развития аквакультуры в Республике Татарстан // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: матер. нац. науч.-практ. конф. Саратов, 2016. 37–43 с.

2. Калайда М.Л., Абдрахманов И.К., Калайда А.А. Компенсационные выпуски стерляди как мероприятие по направленному формированию ихтиоценоза Куйбышевского водохранилища // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: матер. III нац. науч.-практ. конф. Саратов, 2018. С. 111–117 с.

3. Козлов В. И. Товарное осетроводство. М., 1986. 364 с.

4. Хрусталева Е.И., Курапова Т.М., Хайновский К.Б. Искусственное воспроизводство стерляди *Acipenser ruthenus* L // Биотехника искусственного воспроизводства рыб, раков и сохранение запасов промысловых рыб / ред. канд. биол. наук К.Б. Хайновский [и др.]. Вильнюс, 2008. С. 8–16.

5. Семейство Осетровые (*Acipenseridae*) [Электронный ресурс]. URL: http://www.internevod.com/rus/academy/bio/k_fish/acipenseridae.shtml (дата обращения: 04.02.2019).

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД НА АО «ЗВКС»

А.А. Ашрафзянова¹, М.Л. Калайда
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
^{1,2}Alia_5_95@mail.ru

Аннотация. В последний период отмечается значительное снижение качества поверхностных вод, связанное с воздействием на водные ресурсы предприятий различных отраслей. Материалом для исследований послужили пробы сточных вод Зеленодольского водоканала. Качество сточных вод и степень их очистки оценивались по гидрохимическим показателям: рН, азоту аммонийному, фосфатам, сульфатам, хлоридам, биохимическому потреблению кислорода (БПК₂₀).

Приведены данные по характеристике сточных вод до очистки, поступивших в приемную камеру водоканала и после очистки, отобранных в лотке Вентури, из которого вода по системе водоводов поступает в р. Волга. Наибольшее поступление азота аммонийного на очистку наблюдалось в летний период (56,8 мг/дм³). В другие периоды года оно снижалось: осенью – в 1,13, весной – в 1,15, зимой – в 1,16 раз. Содержание фосфатов в изученных сточных водах превышало ПДК на входе на очистку до 26 раз, а после очистки – до 10 раз. По показателю БПК₂₀ можно сделать вывод о высоком содержании в сточных водах углеродсодержащей органики, которая окисляется биологическим способом и выполняет роль активного субстрата для микроорганизмов.

Ключевые слова: Волга, водоканал, сточные воды, биологическая очистка, водородный показатель, азот аммонийный, сульфаты, хлориды, фосфаты, биохимическое потребление кислорода.

Волга – крупнейшая река Европейской России. Её бассейн занимает более 1/3 площади Европейской части России [1]. Значительный вклад в комплекс экологических проблем р. Волга внесло строительство каскада гидроэлектростанций, что привело к изменениям гидрологических и гидрохимических показателей реки, замедлился водообмен и сократился общий сток реки [1, 3].

В последний период отмечается значительное снижение качества поверхностных вод, связанное с воздействием на водные ресурсы предприятиями различных отраслей. Ухудшение качества вод связано с эвтрофированием водных экосистем, значительным загрязнением органическими веществами и тяжелыми металлами, которые оказывают токсическое воздействие на гидробионтов. Изменение структуры гидробиоценозов приводит к снижению способности вод к самоочистке, что является значимой проблемой современности. В этих условиях особенно важным становится выбор критериев оценки состояния

водоемов, которые ложатся в основу выбора методов реабилитации водных экосистем [8].

Одной из главных причин загрязненности поверхностных вод РТ является неудовлетворительное состояние очистных сооружений. В сбросах сточных вод содержание тяжелых металлов, в первую очередь магния, свинца, цинка и марганца, превышает предельные допустимые концентрации (ПДК) более чем в 3 раза, а биологически вредных веществ, таких как нефтепродукты, сульфаты, аммоний ион, нитраты, фосфаты, нитриты, фосфор, – более чем в 5 раз.

Зеленодольск – город республики Татарстан, расположенный на Волге, в 38 км от столицы Татарстана, на границе с Чувашией и Марий Эл. Этот населенный пункт второй по важности субъект Казанской агломерации, пятый по количеству жителей в Татарстане. Суммарная численность жителей на 2017 год составляет 99,2 тыс. человек [2].

На январь 2018 г. по числу жителей Зеленодольск занимал 172 место из 1113 городов РФ [2].

В связи с вышесказанным нами проводилось исследование по оценке качества сточных вод на АО «ЗВКС».

АО «ЗВКС» Зеленодольские очистные сооружения введены в эксплуатацию 11 сентября 1984 г., первоочередная проектная мощность составила $28\ 000\ \text{м}^3$, в июле 1987 г. была сдана вторая проектная мощность $52\ 000\ \text{м}^3$. Исходя из технического регламента г. Зеленодольска, данным проектом предусмотрена очистка хозяйственно-бытовых стоков с определенными требованиями к поступающим сточным водам.

Исследования проводили в лаборатории АО «ЗВКС» г. Зеленодольск.

Материалом для исследований служили пробы сточных вод до (поступившие в приемную камеру) и после очистки (в лотке Вентури, из которого вода по системе водоводов поступает в р. Волга). Отбор проб проводился в соответствии с требованиями ГОСТ РФ 5.592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб».

При оценке качества вод использовались нормативные материалы: СанПиН 2.1.4.1074-01 и нормативы качества воды, водных объектов рыбохозяйственного значения.

Для определения качества воды и степени очистки сточных вод путем определения контролируемых из гидрохимических показателей были выбраны азот аммония, взвешенные вещества, водородный показатель (рН), сульфаты, хлориды, фосфаты, биохимическое потребление кислорода ($\text{БПК}_{\text{полн}}$).

Результаты эксперимента показали, что температура сточной воды, поступающей в весенний, летний и осенний периоды, варьировала от 16 до 25 °С, что соответствовало нормам для биологической очистки. Для эффективной биологической очистки сточных вод важным условием является и оптимальная реакция среды. Также необходимо отметить, что минимальные значения температуры – 14 °С – наблюдались в зимний период и были ниже требуемого предела для биологической очистки.

Концентрацию водородных ионов сточных вод определяют потому, что сточные воды имеют кислую среду и могут погубить микроорганизмы, которые участвуют в биологической очистке, не очистив данные воды, появляется вероятность гибели флоры и фауны водоема, в который сбрасываются сточные воды, и самоочищающаяся способность водоема резко снизится. При рН = 6,0 жизнедеятельность микроорганизмов на биологических фильтрах снижается, а при рН менее 5,0 в ряде случаев прекращается совсем.

Анализ приведенных на рис. 1 данных показал, что рН сточных вод варьировал от 7,6 до 7,9 на входе сточных вод и на выходе из очистных сооружений – 7,3–7,4, что соответствует нормативным значениям ПДК (6,5–8,5).

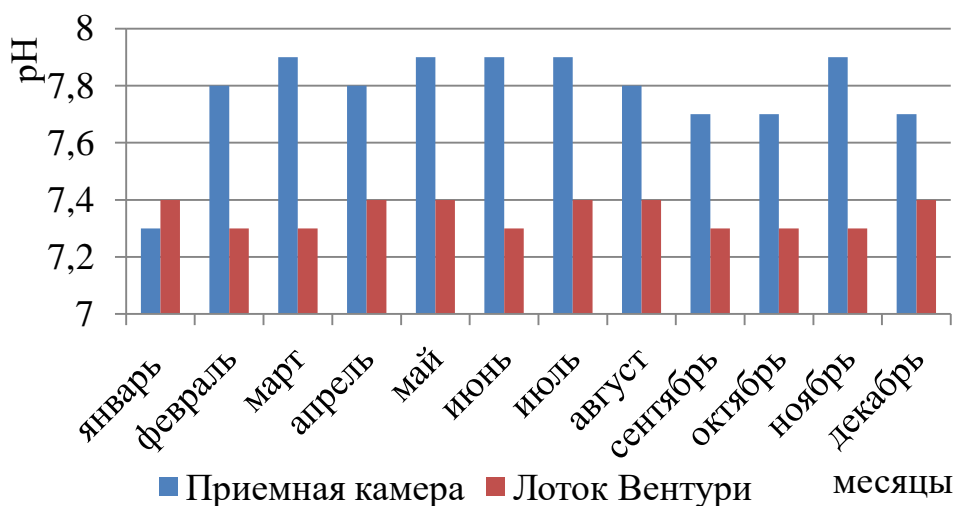


Рис. 1. рН сточных вод АО «ЗВКС» до (приемная камера) и после очистки (лоток Вентури)

Больше всего азота аммонийного поступило в летний период (56,8 мг/дм³). В другие периоды года оно снижалось: осенью – в 1,13, весной – в 1,15, зимой – в 1,16 раз. При выходе из очистных сооружений максимальный показатель азота аммонийного составил 29,6 и

минимальный – 6,6 мг/дм³. Процесс аммонификации белковых соединений приводит к образованию аммония. Все это объясняется тем, что в теплые времена года в сточные воды водоканала поступают фекалии из выгребных ям. После биологической очистки появляются окисленные формы азота, что и свидетельствует о завершенности процесса.

Для многих микроорганизмов, которые используются в аэротенках, питательной средой является азот, который нужен им для хорошей работы биологической пленки очистных канализационных сооружений. При его значительном накоплении в сточных водах он стимулирует увеличение численности сине-зеленых водорослей (цианобактерий) и приводит к «цветению воды», что часто наблюдается в летний период.

Концентрация сульфатов может изменяться лишь в анаэробных условиях при очистке сточных вод в двухъярусных отстойниках. В этих процессах сульфаты восстанавливаются до сульфидов и при концентрации более 1 г/дм³ могут нарушать процесс метанового брожения.

На рис. 2 показаны результаты проведенных исследований, в сточных водах всего периода исследований содержание сульфатов находилось в пределах 472–396,5 мг/дм³ при ПДК 500 мг/дм³ (СанПиН 2.1.5.980-00).

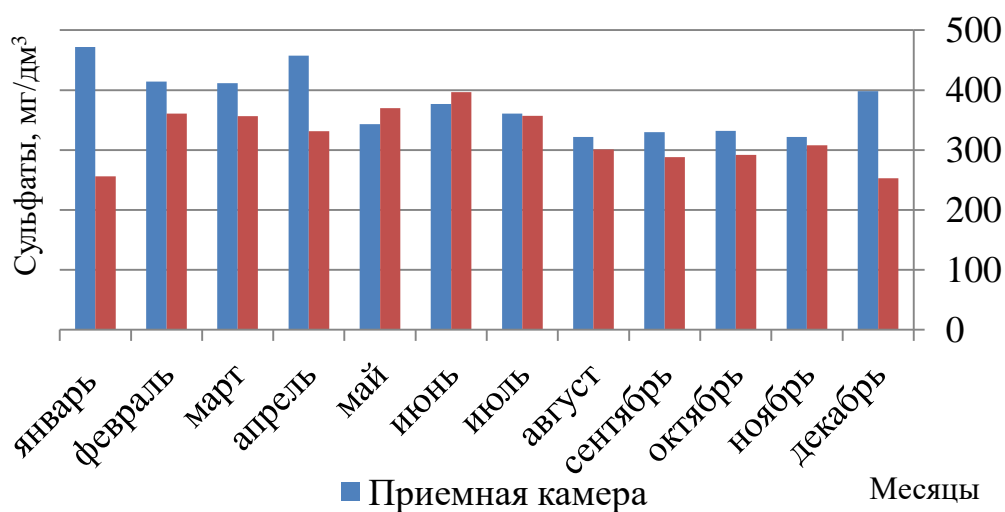


Рис. 2. Содержание сульфатов в сточных водах АО «ЗВКС» до (приемная камера) и после очистки (лоток Вентури), мг/дм³

Концентрация хлоридов (рис. 3) в сточных водах находилась в большом диапазоне колебаний (128,8–126,6 мг/дм³), но не превышала допустимой величины (300 мг/дм³). При изучении конкретных показателей установлено, что их максимальные значения отмечены в зимний период, а в остальные периоды удерживались примерно на одном уровне.

Источником фосфора в сточных водах (рис. 4) являются не только физиологические выделения людей, но и отходы их хозяйственной деятельности, некоторые виды производственных сточных вод. Качество биологической очистки сточных вод характеризуется содержанием азота и фосфора, которые являются компонентами материала клеток микроорганизмов, их еще называют биогенными элементами. Процессы биологического окисления примесей невозможны без азота и фосфора. В технологии производства для выращивания дрожжей и нормальной работы аэротенков на очистных сооружениях используют фосфаты.

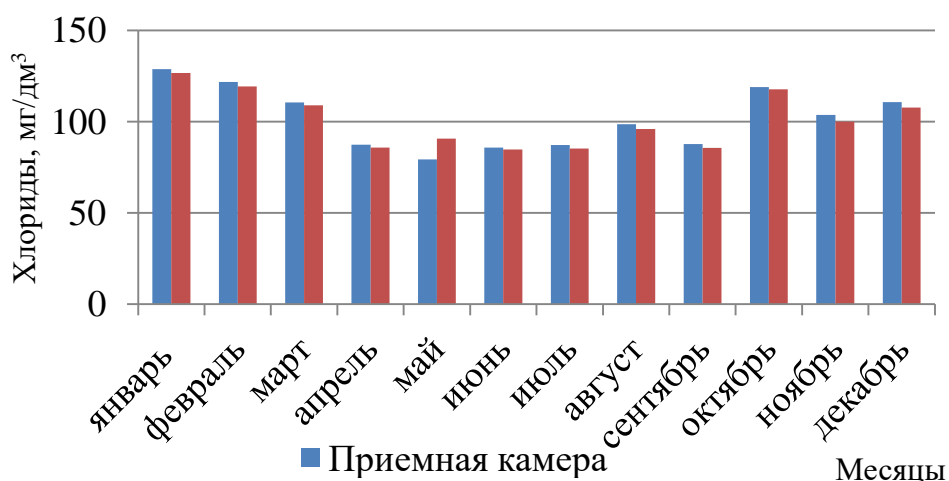


Рис. 3. Содержание хлоридов в сточных водах АО «ЗВКС» до (приемная камера) и после очистки (лоток Вентури), мг/дм³

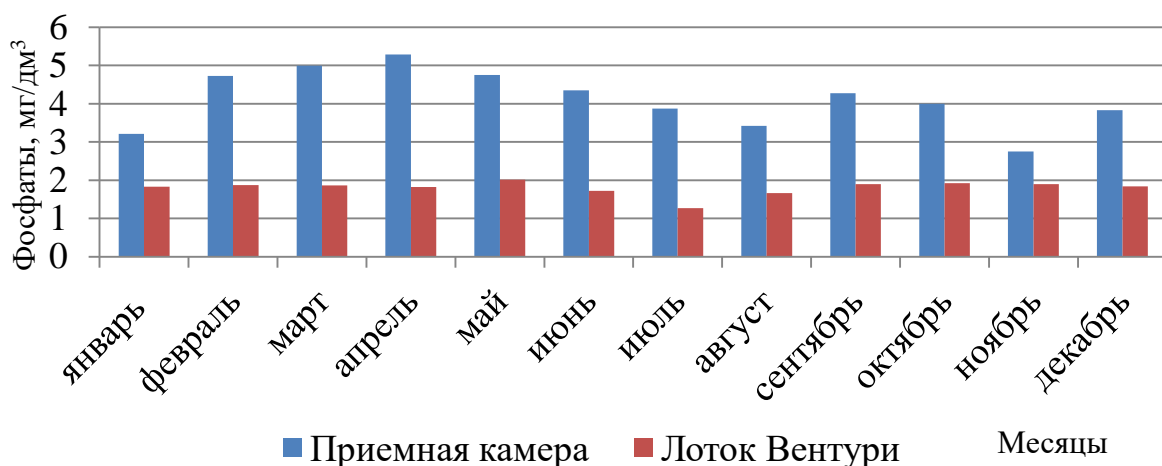


Рис. 4. Содержание фосфор фосфатов в сточных водах АО «ЗВКС» до (приемная камера) и после очистки (лоток Вентури), мг/дм³

Содержание фосфатов в изученных сточных водах превышало ПДК на входе на очистку до 26 раз, а после очистки – до 10 раз (рис. 4).

БПК пробы сточных вод – кислородный эквивалент степени загрязненности сточных вод биохимически окисляемыми органическими веществами (см. таблицу).

Содержание БПК₂₀ в сточных водах АО «ЗВКС», мг/дм³

Месяцы	Приемная камера	Лоток Вентури	ПДК, мг/дм ³
январь	453	16,34	3
февраль	510	16,48	3
март	460	15,50	3
апрель	576	13,48	3
май	584	14,57	3
июнь	775	9,70	3
июль	658	13,00	3
август	741	12,35	3
сентябрь	638	11,29	3
октябрь	459	13,60	3
ноябрь	627	14,07	3
декабрь	625	13,70	3

БПК устанавливает количество кислорода, необходимое для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в окислении и деструкции органических соединений примесей сточной воды. БПК характеризует часть органических примесей, окисляемых биохимически и находящихся в растворенном и коллоидном состоянии, и часть примесей во взвешенном состоянии, которая способна расщепляться под действием экзоферментов. Из данных таблицы видно, что ПДК по содержанию БПК₂₀ превышено в любое время года на входе и на выходе. Это свидетельствует о высоком содержании в сточных водах углеродсодержащей органики, окисляющейся биологическим способом и выполняющей роль активного субстрата для микроорганизмов.

Таким образом, для улучшения качества очистных сооружений и сохранения природных водоемов, которые принимают сточные воды, потребуется ежедневный сбор анализов и проверка сточных вод в лабораториях. Данные результаты дают понять насколько качественно проходит очистка сточных вод, и требуются ли дополнительные действия по улучшению их химического состава. Необходимо усовершенствовать методы очистки от фосфатов и органических веществ.

Источники

1. Авакян А.Б. Волга в прошлом, настоящем и будущем. М.: «Экопресс-ЗМ», 1998. 20 с.
2. Атлас Республики Татарстан. Казань, 2005. 211 с.
3. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. М.: Наука, 1986. 367 с.
4. Калайда М.Л. Экологическая оценка Куйбышевского водохранилища в условиях антропогенного воздействия. Казань.: Казан. гос. энерг. ун-т, 2003. 135 с.
5. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения [Электронный ресурс]: Приложение к приказу Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 (с изменениями от 12 октября 2018 г.). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 10.01.2019).
6. СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод [Электронный ресурс]: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22 июня 2000 г. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 10.01.2019).
7. Численность населения муниципальных образований Республики Татарстан на начало 2018 года [Электронный ресурс]: статистический бюллетень. URL: <https://tatstat.gks.ru/storage/mediabank/МОчисл2018.pdf> (дата обращения: 17.10.2018).
8. Хамитова М.Ф. Исследование изменений гидробиологических характеристик в условиях локальных загрязнений в регионе Средней Волги: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2017. 24 с.
9. О состоянии санитарно эпидемиологического благополучия населения в Республике Татарстан в 2017 году [Электронный ресурс]: гос. доклад / редкол. А.В. Шадриков [и др.]. URL: <http://eco.tatarstan.ru/rus/gosdoklad-2017.htm> (дата обращения: 10.01.2019).

ОСОБЕННОСТИ ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ВОДОЕМА ПАРКОВОЙ ЗОНЫ «ОЗЕРО ХАРОВОЕ»

В.В. Бабикова¹, М.Ф. Хамитова²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
lera.babikova.1995@mail.ru

Аннотация. Исследования фитопланктонного сообщества водоема парковой зоны «Озеро Харовое» показали, что в видовом составе фитопланктона было встречено 9 таксонов из 4 отделов водорослей, в 2017г. отмечалось сокращение числа видов диатомовых и зеленых водорослей и появление эвгленовых водорослей. Численность фитопланктонного сообщества в 2016 г. за счет синезеленых водорослей была выше (до 1203 тыс. кл./л), чем в 2017 г. (до 334 тыс. кл./л). Биомасса фитопланктона варьировала от 0,0004 до 1,3 мг/л, отмечалось увеличение биомассы фитопланктона в 2017 г. за счет большего количества крупных диатомей.

Ключевые слова: фитопланктон, водоемы парковой зоны, видовое разнообразие, сине-зеленые, диатомовые, эвгленовые водоросли.

В последние годы в г. Казани уделяется большое внимание состоянию и увеличению количества парков, игровых и спортивных площадок – гармоничному включению природных локусов в облик города и центров муниципальных районов. Водоемы парковых и рекреационных зон являются неотъемлемой и существенной частью позитивного облика территорий и требуют к себе особого внимания, поскольку постоянно испытывают на себе антропогенный прессинг. В связи с этим возникает необходимость мониторинга их состояния и организации работ по сохранению их естественной красоты.

Фитопланктон обладает высокой чувствительности к условиям окружающей среды, благодаря чему водоросли играют важную роль в биологическом анализе воды [2]. Кроме того, одноклеточные водоросли являются основным источником продукции и самой многочисленной группой живых организмов водоемов, способной оказывать значительное воздействие на других гидробионтов [3].

С этих позиций для нас составляло особый интерес изучение фитопланктонного сообщества водоема парковой зоны «Озеро Харовое» в г. Казани (рис. 1).

Парк «Озеро Харовое» находится на пересечении крупных автомобильных улиц в Кировский район г. Казани. Водоем в парке является остатком водно-болотной территории, на которой сейчас располагаются жилые, общественные, образовательные и муниципальные

строения. Площадь водоема составляет 1 га, средняя глубина – 1,9 м, а максимальная достигает 4 м. Источниками водопитания водоема являются грунтовые, дождевые и талые воды.

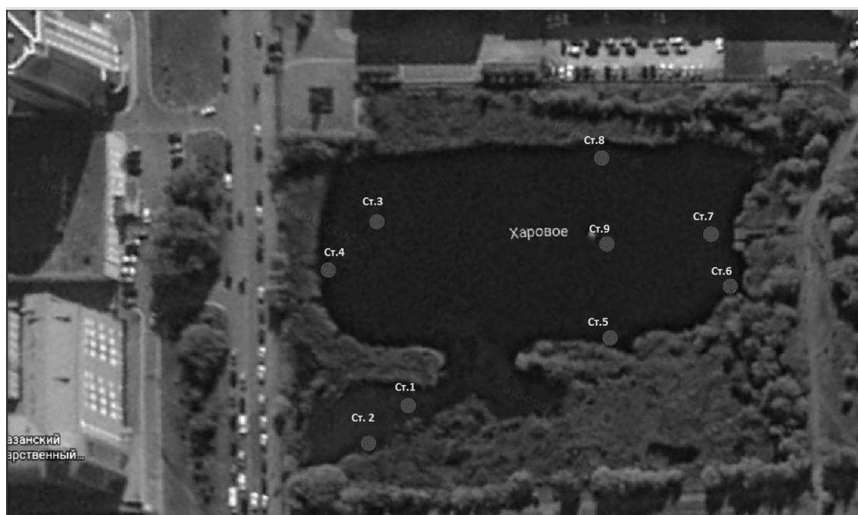


Рис. 1. Вид сверху, озеро Харовое

Водоем использовался в качестве источника воды для пожарных целей [11]. В 2012 г. на его территории планировали построить многоярусную парковку и жилой комплекс «Приозерный», но в 2015 г. его благоустроили и создали экопарк «Озеро Харовое».

Исследования фитопланктона проводились в водоеме парковой зоны «Харовое» летом 2016–2017 гг. Пробы отбирались в прибрежной и глубоководной зонах водоема. Сбор и обработка проб фитопланктона проведены по общепринятым гидробиологическим методикам [5]. При определении таксономической принадлежности каждого вида использовали определители пресноводных водорослей [3, 6–9]. Концентрирование количественных проб фитопланктона осуществлялось методом центрифугирования [10].

Всего за период исследования в составе фитопланктона пелагической части водоема было зарегистрировано 9 таксонов, рангом ниже рода из четырех отделов (в 2016 г. – 8 таксонов, в 2017г. – 7 таксонов) (рис. 2). По числу видов в течение всего периода исследований преобладают диатомовые (4 вида или 50 % от общего числа видов) и зеленые (3 вида или 37,5 %) водоросли, на сине-зеленых и эвгленовых приходилось по 1 виду (12,5 %).

Численность фитопланктона в 2016 г. варьировала в литорали водоема от 71 до 307 тыс. кл./л, в пелагиали – от 29 до 1203 тыс. кл./л., в 2017 г. в литорали – от 29 до 334 тыс. кл./л, в пелагиали – от 12 до 72 тыс.

кл./л. По численности на всех станциях преобладали представители рода из отдела сине-зеленые *Microcystis*, в 2017 г. отмечалось сокращение их доли в численности фитопланктона в пелагиали с 71 до 40 % (рис. 3).

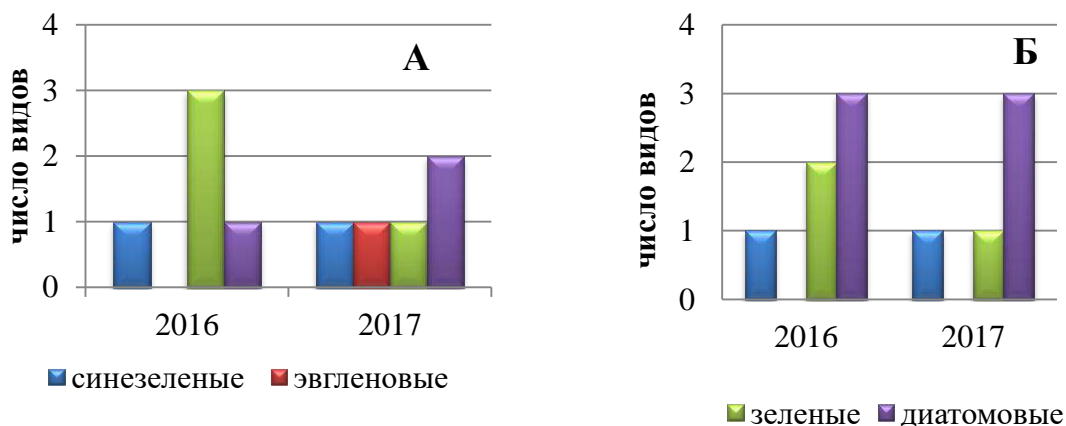


Рис. 2. Количество видов фитопланктона в глубоководной (А) и прибрежной (Б) зонах водоема парковой зоны «Озеро Харовое»

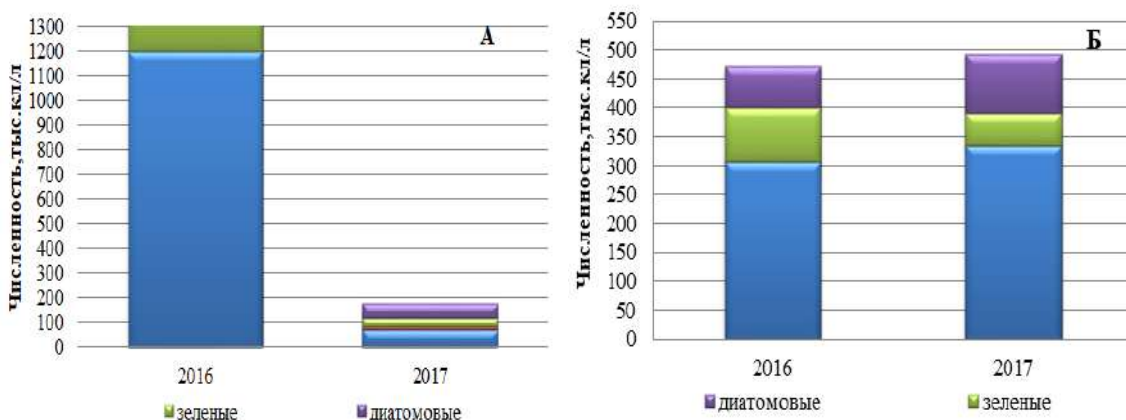


Рис. 3. Численность фитопланктона в глубоководной (А) и прибрежной (Б) зонах водоема парковой зоны «Озеро Харовое»

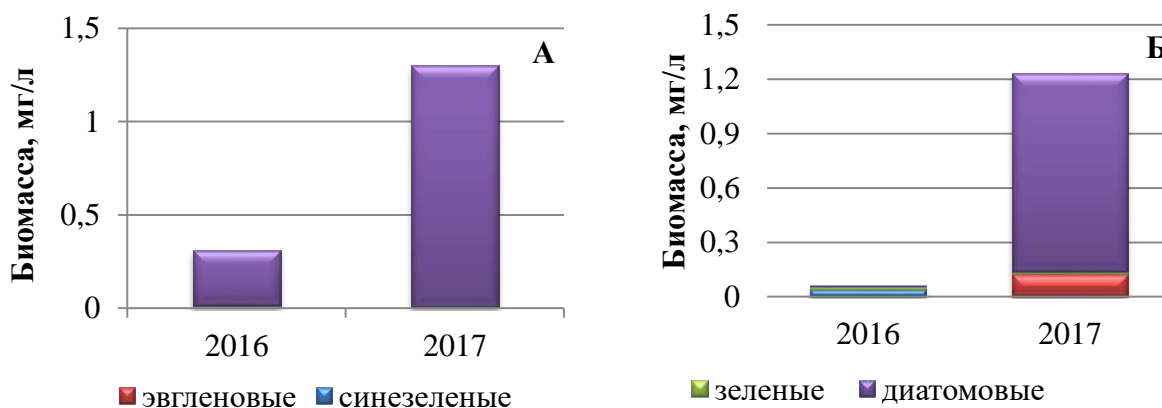


Рис. 4. Биомасса фитопланктона в глубоководной (А) и прибрежной (Б) зонах водоема парковой зоны «Озеро Харовое»

Биомасса фитопланктона в 2016 г. варьировала в пелагиали водоема от 0,002 до 0,3 мг/л, в литорали – от 0,009 до 0,04 мг/л. По биомассе среди видов в 2016 г. преобладал отдел диатомовые: в пелагиали – *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg 1832, формирующий 57 % от общей биомассы, в литорали – *Cyclotella comta* (Ehrb.) Kütz., формирующий 33 %, соответственно (рис. 4).

Биомасса фитопланктона в 2017 г. варьировала в пелагиали водоема от 0,0003 до 1,3 мг/л, в литорали – от 0,0004 до 1,1 мг/л. По биомассе среди видов в 2017 г. преобладал вид из отдела диатомовые – *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg 1832, формирующий в литорали 85 % от общей биомассы, в пелагиали – 77 %, соответственно.

Проведенные исследования показали, что в видовом составе фитопланктона в 2016, 2017 гг. отмечалось сокращение числа видов диатомовых и зеленых водорослей и появление эвгленовых водорослей. Численность фитопланктонного сообщества в 2016 г. была выше, чем в 2017 г. за счет сине-зеленых водорослей. Отмечалось увеличение биомассы фитопланктона в 2017 г. за счет большего количества крупных диатомей.

Источники

1. Генкал С.И. Атлас диатомовых водорослей планктона реки Волги. Спб.: Гидрометеиздат, 1992. 128 с.
2. Калайда М.Л., Галеева М.Э. Эксперименты по альголизации водоемов одноклеточной водорослью *Chlorellavulgaris* // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2011. № 2 (10). С. 42–52.
3. Калайда М.Л., Хамитова М.Ф. Гидробиология: учеб. пособие. СПб.: Проспект Науки, 2013. 130 с.
4. Логинова Е.В., Лопух П.С. Гидроэкология: курс лекций. Минск: БГУ, 2011. 300 с.
5. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975.
6. Определитель пресноводных водорослей СССР: в 14 вып. / Редкол.: профессора М. М. Голлербах засл. деят. науки РСФСР В. П. Савич (отв. ред.). М.: Совет. наука, 1951.
Вып. 4: Диатомовые водоросли / М.М. Забелина [и др.]. М., 1951. 619 с.
7. Определитель пресноводных водорослей СССР: в 14 вып. / Редкол.: профессора М. М. Голлербах засл. деят. науки РСФСР В. П. Савич (отв. ред.). М.: Совет. наука, 1951.

Вып. 2: Голлербах М.М., Коссинская Е.А., Полянки В.И. Синезеленые водоросли. М., 1953. 651 с.

8. Определитель пресноводных водорослей СССР: в 14 вып. / Редкол.: профессора М. М. Голлербах засл. деят. науки РСФСР В. П. Савич (отв. ред.). М.: Совет. наука, 1951.

Вып. 5: Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. Желтозеленые водоросли. М.; Л., 1962. 272 с.

9. Определитель пресноводных водорослей СССР: в 14 вып. / Редкол.: профессора М. М. Голлербах засл. деят. науки РСФСР В. П. Савич (отв. ред.). М.: Совет. наука, 1951.

Вып. 7: Попова Т.Г. Эвгленовые водоросли. М., 1955. 281 с.

10. Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979, 168 с.

11. Экологический паспорт водного объекта «Озеро Харовое по ул. Яруллина Кировского района г. Казани». Казань, 2007. 37 с.

УДК 582.261/.279

ОЦЕНКА РОСТА КУЛЬТУРЫ КЛЕТОК ЦИАНОБАКТЕРИЙ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

М.Э. Гордеева¹, Л.Р. Ахмерова²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
^{1,2}maria.galeeva@gmail.com

Аннотация. Массовое развитие цианобактерий ведет к отрицательным экологическим, биологическим и эстетическим аспектам, что делает исследуемую тему особо актуальной на сегодняшний день. В данной статье показаны условия, при которых рост клеток цианобактерий происходит с максимальной скоростью.

Ключевые слова: цианобактерии, цветение воды, культивирование, органические вещества, свет, концентрация растворенного кислорода, температура.

Во второй половине лета у берегов водоемов можно наблюдать случаи гибели гидробионтов, причиной которых чаще всего являются заморные процессы, вызванные увеличением концентрации цианобактерий в воде водоемов [1]. Клетки цианобактерий выделяют токсины [2], которые при определенной концентрации в воде становятся смертельными для гидробионтов. В связи с этим возникает 2 вопроса:

При каких условиях происходит максимальный рост клеток цианобактерий и увеличение их количества?

Какая концентрация цианобактерий в воде становится токсичной для гидробионтов? В данной статье мы рассмотрим первый вопрос.

По литературным данным для роста культуры цианобактерий в воде требуются типичные для средней полосы России условия в летний период времени [3]: температура воды должна превышать 24 °С; концентрация минерального и органического фосфора, микроэлементов высокая (отношение азота (N) к фосфору (P) – N:P меньше 25); концентрация дафний, способных потреблять цианобактерии, низкая; продолжительность светового дня относительно высокая. Зимующие формы клеток микроорганизмов находятся в донных отложениях и при температуре выше 17 °С они поднимаются на поверхность. Одноклеточные и колониальные цианобактерии обладают высоким потенциалом к размножению. Каждая клетка в течение вегетационного сезона способна дать до 1020 потомков, поэтому даже устранение 80–90 % популяции цианобактерий не исключает возможности новых вспышек «цветения».

На кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» была поставлена серия экспериментов, касающихся механизмов развития клеток цианобактерий. В эксперименте № 1 содержалось 4 емкости объемом 0,5 л:

- 1) контрольный образец;
- 2) емкость № 2 с воздействием света и температуры;
- 3) емкость № 3 с воздействием света, температуры и аэрации;
- 4) емкость № 4 с воздействием света, температуры, органических

веществ.

Вода для каждой из емкостей бралась из аквариума с гидробионтами. В каждую емкость для создания реальных природных условий был добавлен грунт из аквариума в виде камней. Воздействие света осуществлялось с помощью настольной лампы мощностью 60 Вт. В результате воздействия света в непосредственной близости с емкостью с водой температура воды достигала 33 °С. Аэрация осуществлялась с помощью аквариумного аэратора (компрессорного). Органические вещества добавлялись путем внесения кормов рыб. Измерение роста цианобактерий велось ежедневно в 20.00 в течение 7 суток.

Спустя 7 суток от начала эксперимента № 1 рост клеток цианобактерий не был зафиксирован.

В эксперименте № 2 содержалось 4 емкости объемом 0,5 л:

- 1) контрольный образец;
- 2) емкость № 2 с воздействием света и температуры;
- 3) емкость № 3 с воздействием света, температуры и аэрации;
- 4) емкость № 4 с воздействием света, температуры, органических

веществ.

Вода для каждой из емкостей бралась из аквариума с гидробионтами. В каждую емкость для создания реальных природных условий был добавлен грунт из аквариума в виде камней. В каждую из емкостей была добавлена загрузка биофильтра УЗВ, что является первым отличием от эксперимента № 1. Воздействие света осуществлялось с помощью настольной лампы мощностью 60 Вт. В результате воздействия света в непосредственной близости с емкостью с водой температура воды достигала 33 °С. Аэрация осуществлялась с помощью аквариумного аэратора (компрессорного). Органические вещества добавлялись путем внесения 10 мл жидких отходов гидробионтов, отобранных из биофильтра УЗВ – второе отличие от эксперимента № 1. Проведенный анализ собранных отходов показал наличие в них клеток цианобактерий. Измерение роста цианобактерий велось ежедневно в 10.00 в течение 7 суток.

По истечении 3 суток эксперимента рост клеток цианобактерий был зафиксирован в емкости № 4. Результаты количественного и качественного состава цианобактерий представлены в таблице.

Качественный и количественный состав цианобактерий в емкости № 4.

Название вида	<i>n</i>	<i>n</i> колония
<i>Microcystis sp.</i>	646	14
<i>Oscillatoria Limnetica</i> Lemmermann, 1900	22	2
<i>Monoraphidium contortum</i>	4	4

Таким образом, вспышка роста клеток цианобактерий происходит только при условии, что клетки цианобактерий уже имеются в воде (эксперимент № 2). Наилучшими условиями для развития цианобактерий является совокупность факторов: свет, температура и органическое вещество. Без добавления органического вещества роста не наблюдается.

Источники

1. Гусев М. В. Биология сине-зеленых водорослей. М.: Изд-во МГУ, 1968. 102 с.

2. Никитин О.В., Латыпова В.З., Степанова Н.Ю. Мониторинг цианобактериальных токсинов в водных объектах Республики Татарстан (2011–2016 гг.) // Глобальное распространение процессов антропогенного эвтрофирования водных объектов: проблемы и пути решения: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Казань, 2017. С. 51–63.

3. Халиуллина Л.Ю., Мухаметшин Ф.Ф. Проблема «цветения» воды Куйбышевского водохранилища: мониторинг в пределах 1988–2016 гг. //

Глобальное распространение процессов антропогенного эвтрофирования водных объектов: проблемы и пути решения: матер. междунар. науч.-практ. конф. Казань, 2017. С. 168–181.

УДК 574.5

КОНЦЕНТРАЦИЯ АЗОТИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ВОДЕ КАК ВАЖНЫЙ МОНИТОРИНГОВЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ В УСТАНОВКАХ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ (УЗВ)

М.Э. Гордеева¹, К.И. Дёмина²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
^{1,2}maria.galeeva@gmail.com

Аннотация. Условия среды в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) при содержании различных видов рыб имеют огромную значимость. Одним из ключевых химических соединений для контроля в воде УЗВ являются азотистые соединения, поскольку они представляют наибольшую опасность для гидробионтов и общего санитарного состояния водоема, так как резко ухудшают газовый и гидрохимический состав воды и приводят к накоплению нитритов и нитратов в воде УЗВ. Отравление рыб аммиачными и нитратными соединениями сильно варьирует в первую очередь в зависимости от концентрации азотистых соединений.

Ключевые слова: азотистые соединения, установка замкнутого водоснабжения, концентрация, качество воды, мониторинг, нитриты, нитраты, аммоний, аммиак.

На сегодняшний день установлено, что установки с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ) являются наиболее эффективным методом при выращивании рыбы. Один из основополагающих факторов применения УЗВ – отсутствие возможности установки проточной системы в связи с высокой стоимостью воды. В данных условиях оптимальным решением для поставленной задачи является применение рециркуляционных систем в области аквакультуры [1]. Согласно литературным данным в 1 м³ воды УЗВ за один год можно вырастить, к примеру, до 100 кг осетра, 200 кг форели, 300 кг карпа, 400 кг африканского сома. Приведенные сведения рыбопродуктивности в сотни раз превышают рыбопродуктивность содержания рыб традиционным способом [2]. Критерии качества воды в бассейнах, как одни из фундаментальных условий, должны соответствовать технологическим нормам выращивания рыб [3]. Главные показатели качества воды в УЗВ – различные формы азота. Для изучения динамики накопления азотистых соединений в воде УЗВ достаточным является проведение экспериментов в бассейнах с более низкой плотностью посадки рыб. На основании

вышеизложенного в качестве экспериментальной базы была выбрана УЗВ, располагающаяся на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ», где в настоящее время в 1 м^3 воды содержится 20 кг стерляди, 15 кг осетра, 10 кг карпа кои, 30 кг клариевого сома.

Биологическая очистка способствует переходу ядовитого для рыб аммиака и аммонийного азота в нитриты и менее ядовитые нитраты с дальнейшей денитрификацией [4]. Несоблюдение технологических регламентов выращивания рыб на основных этапах работы биофильтра, включая перезагрузку системы очистки, является причиной ухудшения показателей воды. Для того чтобы минимизировать риски смертности рыб, необходимо использовать методы регулировки качества воды. К примеру, при значении рН меньше 6,5 снижается эффективность процессов нитрификации и денитрификации, соответственно рН необходимо сохранять в определенном интервале. При низких значениях рН увеличивается негативное влияние нитритов, а при высоких значениях рН растет процент токсичного для рыб свободного аммиака. С целью повышения или понижения значения рН применяют 2–10 %-ные растворы кислоты (чаще соляной) и щелочей (NaOH, KOH), при этом изменения величины рН должны быть не более 0,5 ед./сут.

Нитриты – переходный продукт процесса неполного окисления аммиака. Как правило, высокое их содержание прослеживается в период зарядки биофильтра и его перегрузках. В определенных случаях рыбы способны выдерживать концентрацию нитритов до $1\text{--}2 \text{ мг/дм}^3$, но недолгое время, так как наблюдается снижение темпа роста рыбы. При минимальных значениях рН увеличивается влияние нитритов. Уменьшить их токсическое действие позволяет добавление в систему поваренной соли в комплексе с хлоридом кальция в количестве $0,5\text{--}0,8 \text{ г/м}^3$ на каждые $0,1 \text{ г/м}^3$ нитритного азота. Нитраты обладают способностью к аккумуляции в оборотной воде без блока денитрификации. При высокой концентрации (более 170 мг/дм^3) фиксируется снижение показателя рН до критического значения, способствующему в дальнейшем замедлению процессов нитрификации. Уменьшение числа нитратов представляется возможным путем увеличения подпитки системы свежей водой [5].

В 2009 г. проводился ряд исследований по оценке воздействия различных концентраций аммонийного азота на состояние гидробионтов в УЗВ емкостью 400 л (инновационный центр «Биоаквапарк – НТЦ аквакультуры» при Астраханском государственном техническом университете). В качестве объектов выращивания использовались годовики пестрого толстолобика (*Aristichthys nobilis*) и русского осетра

(*Acipenser güldenstädtii*). Показатели водной среды определялись с помощью тест-анализа реактивов для аквариумов по предлагаемой заводом-изготовителем прописи. В результате проверки выяснилось, что влияние токсического действия аммонийного азота на пестрого толстолобика (карповые рыбы) возникает при его содержании в воде УЗВ, равной 2 мг/дм^3 , в течение 5 суток. Для русского осетра (осетровые рыбы) возможное количество NH^+ в 4 раза ниже ($0,5 \text{ мг/дм}^3$).

В результате проведения исследований в Саратовском государственном аграрном университете имени Н.И. Вавилова сотрудниками была установлена допустимая концентрация аммиака в воде в количестве $0,1 \text{ мг/дм}^3$. Концентрация аммиака, равная $0,3\text{--}0,4 \text{ мг/дм}^3$, приводит к гибели форели. Концентрация нитритов не должна быть выше $0,08 \text{ мг/дм}^3$. Увеличение содержания нитритов до $0,5 \text{ мг/дм}^3$ вызывает гибель рыбы.

Подводя итоги проведенных исследований, можно сделать выводы о существовании видов рыб, толерантных к аммиаку, ионам аммония и выдерживающих значительные их концентрации. Концентрация в воде УЗВ аммонийного азота, равная 2 мг/дм^3 , в течение 5 суток вызывает отравление карповых представителей. Для осетровых видов рыб предельное количество аммонийного азота в 4 раза ниже ($0,5 \text{ мг/дм}^3$). Лососевые виды рыб являются наиболее требовательными к температуре воды, содержанию кислорода и азотистых соединений. Допустимая концентрация аммиака в воде $0,1 \text{ мг/дм}^3$. При концентрации $0,3\text{--}0,4 \text{ мг/дм}^3$ происходит гибель форели. Содержание нитритов не должно превышать $0,08 \text{ мг/дм}^3$. Увеличение концентрации нитритов до $0,5 \text{ мг/дм}^3$ приводит к гибели рыбы.

Источники

1. Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Копенгаген: Eurofish – international organization, 2010. С. 70.

2. Васильев А.А., Кияшко В.В., Маспанова С.А. Резервы повышения рыбопродуктивности // Аграрный научный журнал. 2013. № 2. С. 14–16.

3. Кияшко В.В., Поддубная И.В., Хандожко Г.А. Перспективы развития садкового выращивания ценных видов рыб в условиях Папушинских прудов Татищевского района Саратовской области // Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы. Саратов, 2014. С. 217–219.

4. Лифанова Д.А., Гуркина О.А. Качество воды при разведении форели // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, пищевых и

биотехнологий: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Саратов, 2016. С. 387–392.

5. Фомич Д.П., Иванова Е.Е. Особенности и основные преимущества выращивания рыбы с применением технологии замкнутого водоснабжения (УЗВ) // Актуальные проблемы выращивания и переработки прудовой рыбы: матер. Междунар. науч.-техн. интернет-конф. Краснодар, 2012. С. 69–72.

УДК 639.3

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИМЕТИКОН-СОДЕРЖАЩИХ ЛЕКАРСТВ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ТИМПАНИИ У МОЛОДИ ОСЕТРОВЫХ РЫБ

А.А. Калайда¹, И.К. Абдрахманов², М.Л. Калайда³
^{1,2,3}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
it-sk@bk.ru

Аннотация. Серия экспериментов по применению симетикона для лечения тимпаниии у осетровых рыб демонстрирует возможность повысить выживаемость больных особей с минимальным вмешательством в работу микрофлоры. Рассмотрены разные варианты введения лекарства в организм рыб.

Ключевые слова: высокоинтенсивная аквакультура, молодь стерляди, тимпаниия, симетикон, выживаемость молоди.

Интенсивное рыбоводство – одно из самых быстроразвивающихся и перспективных направлений в сфере производства продуктов питания. Особенно актуально это направление для осетроводства, поскольку естественное воспроизводство этих ценных пород рыб в дикой природе становится все более ограниченным в связи с регулированием крупных рек [4, 5]. Растущий спрос на деликатесную продукцию вкупе с полным запретом промыслового вылова в Каспийском и Азово-Черноморском бассейнах служат дополнительным стимулом к активному развитию осетроводства.

Воспроизводство и выращивание ценных видов рыб, таких как осетровые, в условиях высокоинтенсивного хозяйства на базе установок с замкнутым циклом водообеспечения (УЗВ) порождают ряд проблем, не наблюдающихся в естественной среде. Характер и причины многих из них в настоящий момент являются объектом научных исследований. Появление таких специфических сложностей связано со значительной разницей между естественной средой обитания и условиями, которые создаются в высокоинтенсивных хозяйствах.

Одной из таких проблем является тимпаниия осетровых рыб. Данное заболевание является алиментарным и связано с режимом кормления и

кормами. Проявляется оно в виде дисбактериоза и метеоризма у молоди осетровых. Тимпания возникает при качественном и количественном изменении нормальной микрофлоры кишечника [1, 2]. Возможными причинами данных изменений на данный момент считаются: применение недоброкачественных, несбалансированных кормов или длительное кормление молоди искусственными кормами [6]. Схожая проблема была успешно решена для сельскохозяйственных млекопитающих [3], но примененные методы не могут быть использованы для рыб.

Для выявления возможности эффективного лечения тимпании нами в составе рабочей группы «Стерлядь» на базовой кафедре «Рыбоводно-продукционные исследования в аквакультуре» был проведен ряд экспериментов. В ходе планирования экспериментов была поставлена задача снизить содержание газов в желудочно-кишечном тракте рыб, что должно привести к ликвидации болевого синдрома, нормализации поведения и жизнедеятельности рыб. Одним из условий постановки данных экспериментов являлась минимализация вмешательства в работу микрофлоры кишечника рыб. С этим связан выбор используемого препарата – симетикона. Симетикон физиологически и химически инертен, в организме не всасывается и покидает его в неизменном виде. Его действие заключается в изменении поверхностного натяжения пузырьков кишечного газа, что способствует его высвобождению. Данный метод лечения является симптоматическим, но может способствовать восстановлению нормальной работы желудочно-кишечного тракта. Эксперименты проводились на молоди стерляди возрастом 5,5 месяцев, весом от 8 до 40 г.

В первом опыте были использованы две группы молоди по 20 шт. с признаками тимпании в острой форме. Эксперимент проводился в течение 5 дней. Экспериментальная группа была помещена в емкость с водяным раствором симетикона. Концентрация раствора подбиралась в соответствии с рекомендациями для употребления человеком так, чтобы создать повышенную концентрацию во всем объеме воды. После пятнадцатиминутной экспозиции в растворе с высокой концентрацией молодь вместе с раствором была выпущена в лоток с чистой водой. Вторая группа была использована в качестве контрольной и была помещена в лоток с таким же количеством воды, но без воздействия лекарств.

В течение эксперимента молодь находилась в непроточной воде без кормления. Производилась аэрация и подмена воды.

По результатам эксперимента в контрольной группе отход составил 14 особей, еще 2 находились в тяжелом состоянии. У 4-х оставшихся особей наблюдалось поведение, характерное для здоровой рыбы, признаки заболевания отсутствовали.

В экспериментальной группе отход за время эксперимента составил 6 особей, 2 находились в тяжелом состоянии. 12 оставшихся выглядели и вели себя, как здоровые особи (табл. 1).

Таблица 1

Результаты первого эксперимента

Лоток	Отход (шт. (%))	С признаками заболевания (шт. (%))	Восстановившиеся (шт. (%))
Экспериментальная группа	6 (30 %)	2 (10 %)	12 (60 %)
Контрольная группа	14 (70 %)	2 (10 %)	4 (20 %)

Во втором опыте использовались четыре группы молоди по 20 шт. в каждой. Две группы использовались как контрольные, две группы были подвержены воздействию лекарств. В ходе второго эксперимента метод введения лекарственного препарата был изменен. Вместо экспозиции в растворе с высокой концентрацией симетикон вводился малыми дозами в ротовое отверстие рыб с помощью шприца без иглы.

Объем воды, в который были помещены рыбы, был значительно больше, поскольку условия эксперимента не подразумевали поддержание концентрации лекарственных средств в окружающей среде.

Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты второго эксперимента

Лоток		Отход (шт. (%))	С признаками заболевания (шт. (%))	Восстановившиеся (шт. (%))
Экспериментальная группа	1	6 (30 %)	1 (5 %)	13 (65 %)
	2	7 (35%)	3 (15 %)	10 (50 %)
Контрольная группа	1	10 (50 %)	2 (10 %)	8 (40 %)
	2	9 (45 %)	2 (10 %)	9 (45 %)

Восстановившиеся и оставшиеся в тяжелом положении особи были отдельно высажены в отдельный лоток с циркуляцией воды и находились под надзором при нормальном режиме питания. Через четыре дня выздоровевшие особи были отсажены в лотки со здоровой рыбой. Из восьми особей, имевших признаки заболевания на момент завершения активной стадии эксперимента, к концу наблюдений не выжил никто. За этот же промежуток времени у восстановившихся особей рецидивов или ухудшения состояния не наблюдалось.

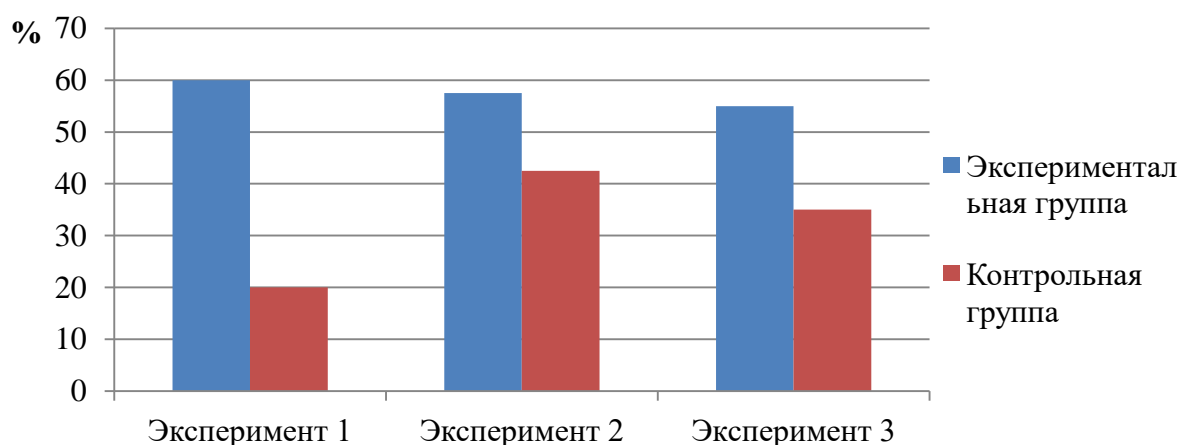
Третий эксперимент проводился аналогично второму, но на двух группах – по 20 особей. Результаты приведены в табл. 3.

Результаты третьего эксперимента

Лоток	Отход (шт. (%))	С признаками заболевания (шт. (%))	Восстановившиеся (шт. (%))
Экспериментальная группа	8 (40 %)	3 (15 %)	11 (55 %)
Контрольная группа	11 (55 %)	2 (10 %)	7 (35 %)

Сравнительные результаты экспериментов в виде процента восстановившихся особей от общего числа приведены на рисунке.

Применение симетикона по данным проведенных экспериментов оказывает положительное воздействие на восстановление здоровья молоди стерляди, страдающей тимпанией.



Процент восстановившихся особей по группам в экспериментах 1–3

Наиболее значительный эффект был получен при помещении молоди в среду со значительным содержанием симетикона. Данный метод в то же время требует значительных затрат и не может массово использоваться для лечения больной молоди. Опыты 2 и 3 подтверждают наличие позитивного эффекта воздействия. Используемые методы обеспечивают улучшение выживаемости молоди в экспериментальных группах относительно контрольных на 15–20 %.

Источники

1. Бурлаченко И.В., Малик Е.В. Использование пробиотиков на ранних стадиях развития рыб и их влияние на выживаемость, рост и

микробиоценоз личинок сибирского осетра (*Acipenser baerii*) // Ветеринария. 2007. № 3. С. 47–51.

2. Алиментарный токсикоз осетровых рыб и его последствия / Н.А. Головина [и др.] // Осетровые на рубеже 21 века: матер. Междунар. конф. Астрахань, 2000. С. 299–300.

3. Внутренние незаразные болезни крупного рогатого скота / П.С. Ионов [и др.]; под. ред. П.С. Ионова. М.: Агропромиздат, 1985. 383 с.

4. Калайда М.Л., Абдрахманов И.К., Калайда А.А. Компенсационные выпуски стерляди как мероприятие по направленному формированию ихтиоценоза Куйбышевского водохранилища // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: матер. III Нац. науч.-практ. конф. Саратов, 2018. С. 111–117.

5. Актуальные стратегии в развитии аквакультуры в Республике Татарстан / М.Л. Калайда [и др.] // Водные биоресурсы и аквакультура Юга России: матер. Всерос. науч.-практ. конф., приуроченной к 20-летию открытия в Кубанском гос. ун-те направления подготовки «Водные биоресурсы и аквакультура». Краснодар, 2018. С. 442–448.

6. Марченко А.М. Микозы рыб и причины их возникновения // Вопросы паразитологии и патологии рыб: тр. Зоологического ин-та АН СССР. Л., 1987. Т. 171. С. 82–91.

УДК 639.3.07

УПРАВЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ В СРЕДЕ УСТАНОВОК ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ВОДООБМЕНА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СТЕРЛЯДИ

М.Л. Калайда¹, Р.А. Цыганов²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
^{1,2}romeo7romeo@mail.ru

Аннотация. Гидрохимический режим в установках замкнутого водоснабжения при выращивании стерляди имеет первоочередную значимость. Одними из главных контролируемых показателей гидрохимического режима в бассейнах являются азотсодержащие вещества, такие как нитриты (NO_2^-), нитраты (NO_3^-), ионы аммония (NH_4^+). Проведенное исследование выявило не соответствие нормам ряда гидрохимических показателей и необходимость их корректировки, для улучшения рыбоводных характеристик выращиваемой молоди стерляди.

Ключевые слова: аквакультура, установки замкнутого цикла водообеспечения, стерлядь, рН, нитриты, нитраты, ионы аммония, управление качеством воды.

В современном мире использование установок с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ) в промышленном рыбоводстве является наиболее перспективной мировой тенденцией. Переход от традиционного рыбоводства к УЗВ значительно меняет распорядок дня и навыки, необходимые для управления хозяйством. После такого перехода рыбовод должен осуществлять управление не только процессом выращивания рыбы, но и формированием требуемого качества воды. Задача управления качеством становится такой же важной, как уход за рыбой.

В условиях выращивания рыбы в УЗВ необходим контроль за состоянием рыбы и параметрами среды в течение всех суток [3].

Среди важных контролируемых гидрохимических показателей водной среды, такие как водородный показатель (рН), нитриты (NO_2^-), нитраты (NO_3^-) и ионы аммония (NH_4^+).

Азотсодержащие параметры изменяются в результате жизнедеятельности объекта выращивания при его непрерывном кормлении.

Управление УЗВ требует постоянной регистрации и регулирования параметров для достижения оптимальной среды для объектов выращивания. Для каждого рассматриваемого параметра существуют определенные, биологически приемлемые пределы для УЗВ в целом (табл. 1), для УЗВ осетрового хозяйства (табл. 2).

Таблица 1

Параметры среды в УЗВ

Параметр	Формула	Единица измерения	Норма [4]	Критический уровень [4]
Нитрит	NO_2^-	мг/л	0–0,5	> 0,5
Нитрат	NO_3^-	мг/л	100–200	> 300
Аммоний	NH_4^+	мг/л	< 0,01	> 0,025
рН	рН	ед.	6,5–7,5	< 6,2 и > 8,0

Таблица 2

Параметры среды в УЗВ при выращивании осетровых рыб

Параметр	Формула	Единица измерения	Норма[1]	Критический уровень [1]
Нитрит	NO_2^-	мг/л	0,1–0,2	до 1
Нитрат	NO_3^-	мг/л	60	100
Аммоний ион	NH_4^+	мг/л	до 0,05	до 0,1
рН	рН	ед.	6,8–7,2	6,8–8,5

Исследование проведено в составе работы проектной группы «Стерлядь» на базовой кафедре «Рыбоводно-продукционные исследования в аквакультуре» рыбоводного комплекса ООО «Биосфера – Фиш», в котором выращивалась молодь стерляди (*Acipenser ruthenus* L. 1828) с целью выпуска в водоемы Республики Татарстан для пополнения естественных запасов данного вида. Планируемая мощность рыбопитомника – 5 млн мальков в год среднештучной массой до 10 г. Комплекс расположен в Лаишевском районе Республики Татарстан на территории питомника «Биосфера».

Материалом для работы послужили гидрохимические анализы воды, отобранные из лотков (№ 5, № 9, № 11), расположенных по всей длине водоподающей системы, а также статистика отхода молоди стерляди за период с момента пересадки ее личинок из инкубационного аппарата в бассейны личиночного цеха (33 сут.).

Проведенные анализы химического состава вод показали, что водородный показатель (рН) изменялся в диапазоне 7,5–8,5, нитриты (NO_2^-) – до 0,8 мг/л, нитраты (NO_3^-) – до 50 мг/л, ион аммония (NH_4^+) – 0,8 мг/л, растворенное железо (Fe^{2+}) – до 0,15 мг/л (табл. 3).

Таблица 3

Показатели качества вод в рыбоводных бассейнах ООО «Биосфера-Фиш»

Показатель	№ 1 (5)		№ 2 (9)		№ 3 (11)	
	min – max	среднее	min – max	среднее	min – max	среднее
рН	7,7–8,5	7,9	7,5–8,5	7,83	7,5–8	7,88
NO_2^-	0–0,8	0,40	0,2–0,6	0,43	0,2–1	0,53
NO_3^-	0–50	17,46	10–30	19,00	5–40	20,00
Fe^{2+}	0–0,15	0,07	0–0,1	0,03	0,00	0,00
NH_4^+	0–0,8	0,17	0–0,8	0,52	0,2–0,8	0,54

Сравнение фактических показателей (табл. 3) с нормативными (табл. 2) показывает:

- во всех бассейнах значения рН выше нормативных и соответствуют критическому уровню;
- нитраты во всех бассейнах находились в норме;
- нитриты превышали норму в среднем в два раза, но находились в пределах критического уровня;
- концентрация ионов аммония значительно превышает рекомендованные нормы.

Характеристики водной среды связаны с плотностью посадки рыб. Начальная плотность посадки мальков составила от 5,8 до 9,5 тыс. шт./м². Выживаемость молоди стерляди в изученных лотках составила более 62,65 %. Хотя смертность молоди стерляди соответствует нормативным значениям, однако можно сделать вывод, что при улучшении гидрохимических характеристик среды до технологических норм выживаемость молоди может быть повышена.

Таким образом, для улучшения рыбоводных показателей стоит задача управления скоростью нитрификации при работе сооружения биологической очистки вод.

Необходимо регулировать рН для эффективной биофильтрации и удерживать этот показатель на уровне выше 7. В процессе нитрификации образуется кислота, понижающая уровень рН. Стабилизация рН требует добавления какого-либо основания. С этой целью к воде в условиях УЗВ добавляется известь.

Нитриты (NO_2^-) образуются в промежуточном этапе процесса нитрификации и токсичны для осетровых рыб при уровнях, превышающих 1 мг/л. Внешним проявлением высокой концентрации нитритов в УЗВ является изменение поведения рыб при высоких концентрациях кислорода: стерляди хватают воздух с поверхности, поскольку при высоких концентрациях нитриты попадают через жабры в кровь рыб, где препятствуют поглощению кислорода. Если добавить в воду поваренную соль в концентрации 0,3 %, то поступление нитритов в кровь рыб блокируется. Таким образом, контроль за соленостью вод связан с воздействием химических особенностей воды в условиях высоких плотностей посадки при выращивании осетровых рыб.

Нитраты (NO_3^-) является конечным продуктом процесса нитрификации, и хотя считаются относительно безвредными, но их концентрации выше 100 мг/л отрицательно сказываются на росте и эффективности кормления. Если подпитка свежей водой в системе УЗВ минимальна, то нитраты накапливаются и могут достигать критических уровней. Для снижения концентрации нитратов в воде УЗВ проводится увеличение проточности с увеличением величины подпитки системы свежей водой.

Источники

1. Основы осетроводства в условиях замкнутого водообеспечения для фермерских хозяйств: монография / Г.Г. Матишев [и др.]. Р. н/Д.: Южный научный центр РАН, 2008. 112 с.

2. Атлас пресноводных рыб России: в 2 т. / под ред. Ю.С. Решетникова. М.: Наука, 2003. Т. 1. 379 с.

3. Калашников В. Основные принципы эксплуатации промышленных рыбководных систем на основе установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) [Электронный ресурс]. URL: http://soyanews.info/news/osnovnye_printsipy_ekspluatatsii_industrialnykh_rybovodnykh_sistem_na_osnove_ustanovok_zamknutogo_vodosnabzheniya.html (дата обращения: 09.11.2018).

4. Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Копенгаген: Eurofish – international organization, 2010. 70 с.

УДК 612.215+092.19.001.6+639.3.043.13

ВЛИЯНИЕ ЭНТЕРОСОРБЕНТОВ НА ОКИСЛЕНИЕ ВИТАМИНА С

А.А. Калайда
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
it-sk@bk.ru
Науч. рук. канд. хим. наук А.А. Лапин

Аннотация. Нами впервые обнаружено, что активированный природный цеолит усиливает процесс окисления аскорбиновой кислоты в зависимости от его концентрации в водной суспензии в 5–8 раз. Он защелачивает воду, так как исходная вода имеет $\text{pH} = 6,865$, ОВП = 33,8 мВ, а 2%-ная суспензия цеолита имеет $\text{pH} = 7,595$, ОВП = 77,4 мВ. Водная суспензия 1г цеолита с 0,21 г АСК на 100 см³ воды имеет $\text{pH} = 7,367$, ОВП = 65,0, а раствор 2,5 г АСК в 100 см³ воды имеет $\text{pH} = 2,509$, ОВП = 235,5. При перемешивании суспензии нанокремнезема с водным раствором аскорбиновой кислоты суммарная антиоксидантная активность сначала убывает от времени по линейному уравнению $y = -0,2548x + 17,027$, $R^2 = 0,977$, затем возрастает до исходного значения по уравнению $y = 0,93x + 8,83$, $R^2 = 1,00$. Исследованная суспензия содержала 3.24 г АСК, НК – 1г/100 мл и имела кислую реакцию – $\text{pH} = 2,350$, ОВП = 220,0.

Ключевые слова: энтеросорбенты, цеолиты, нанокремнезем, антиоксиданты, аскорбиновая кислота, окисление в водных растворах, кулонометрический анализ.

Актуальность проблемы применения антиоксидантных веществ в кормопроизводстве заключается в том, что для приготовления хорошего корма необходимо использовать качественные компоненты, соблюдать технологию их хранения и смешивания. На складах сырье подвергается неблагоприятному воздействию окружающей среды, что в итоге может плохо сказаться на свойствах конечного продукта. Влияние тепла, кислорода, ионов металлов, света ведет к окислению жиров и образованию токсичных соединений, что уменьшает сроки хранения компонентов и готовых кормов. Цепные реакции окислации имеют характерные

особенности ускоряться при наличии следовых количеств веществ, способных образовывать свободные радикалы при повышении температуры, воздействии света, ультрафиолетового излучения, увеличении давления. Окисление может проходить и под действием ферментов – липаз и липоксигеназ (например, при хранении масличных семян). Липаза гидролизует триглицериды, липоксигеназа катализирует образование гидропероксидов ненасыщенных жирных кислот (линолевой и линоленовой). Скорость окисления может быть резко снижена при добавлении небольших количеств антиоксидантов (АО), природных (витаминов, флавоноидов, фосфатидов, аминокислот, гормонов) и синтетических (бутилокситолуола, бутилоксианизола, дилудина, фенозана, этилендиаминтетраацетата кальция-натрия, пропигаллата и др.) веществ. Эти препараты обычно добавляют в кормосмеси в количестве до 0,02 % [9].

Синергисты антиоксидантов – лимонная, яблочная, винная и аскорбиновая кислоты, некоторые аминокислоты, полифосфаты. Процесс окисления – само ускоряющийся, при этом, чем раньше добавлен АО, тем большего эффекта можно от него ожидать. Если скорость окисления уже достигла своего порогового значения, вводить его бесполезно [24].

Энтеросорбенты (ЭС) – лекарственные средства различной структуры, осуществляющие связывание экзо- и эндогенных веществ в желудочно-кишечном тракте путём адсорбции. При этом ЭС не вступает с сорбируемым веществом в химическую реакцию и не вызывает биохимических изменений крови. Используется процесс физиологической фильтрации и реабсорбции жидкости из сосудистого русла в просвет кишечника его ворсинками. Продукты, которые вышли вместе с жидкой частью крови, контактируют с энтеросорбентом, принятым накануне внутрь, фиксируются на нём и вместе с ним выводятся из организма. Учитывая то, что кишечные ворсинки способны пропускать все ингредиенты, молекулярная масса которых ниже массы альбумина, а токсичные субстанции в своей основе именно среднемолекулярной массы, то становится понятной эффективность энтеросорбции в ликвидации эндотоксикозов [11].

Долгое время многие медики и биологи считали минералы, в том числе и цеолиты, инертными, не участвующими в метаболизме живых систем, но в связи с накоплением научно доказанных фактов, показывающих не только участие минералов в регуляции метаболических процессов в организмах, но даже включение минералов непосредственно в их метаболические пути. Бактерии и губки с помощью специальных ферментов (силикатеинов и силикатов) извлекают необходимый им кремний из силикатов и алюмосиликатов [10, 8].

ЭС являются важных добавками для кормления рыб и других гидробионтов. Их использование является весьма актуальным, так как оно обеспечивает эффективную детоксикацию организма рыб, повышают усвояемость и переваримость веществ корма, в том числе жира, белков, клетчатки и других жизненно важных веществ, они намного улучшают конверсию корма и снижают его затраты [22].

ЭС широко применяются при кормлении различных видов рыб. В минеральные ЭС входят цеолиты, бентониты, углекислый кальций и водорастворимые соединения кремния, которые поглощают или снижают уровень экзо- и эндотоксинов в кишечнике. Так, цеолит эффективно связывает низкомолекулярные афлотоксины, образуемые плесневыми грибами рода *Аспергиллюс*, а бентонит – высокомолекулярные, продуцируемые грибами рода *Фузариум*, причем углекислый кальций приводит к распаду крупных частиц бентонита и цеолита на более мелкие и, тем самым, увеличивает их общие адсорбционные свойства. Легкоусвояемые водорастворимые соединения всасываются и способствуют повышению естественной резистентности и регенерации тканей. Известно также, что цеолит является сильнейшим адсорбентом аммиачного азота, тяжелых металлов и радионуклидов, связывает низкомолекулярные токсичные вещества, снижает воспалительные процессы, обеспечивает препаратам эластичность и структурирование суспензии. Растворимый кремний улучшает работу кровеносной системы. Особенностью минеральной добавки является то, что присутствующий в ней карбонат кальция, несмотря на свою активность, имеет замедленное растворение из-за обволакивания его частиц монтмориллонитом и аморфным кремнеземом [9].

«Карбосил» – экологически чистый энтеросорбент, в котором токсические элементы практически отсутствуют, он не оказывает местнораздражающего и аллергического действия [9].

«Пробисил» – это кормовая добавка, состоящая из эффективного пробиотика нового поколения и уникального минерального энтеросорбента. Он предназначен для профилактики и лечения желудочно-кишечных заболеваний бактериальной, вирусной и грибковой этиологии у разных видов и пород рыб, а также при острых кишечных инфекциях, кормовых токсикоинфекциях, аллергиях, интоксикациях, включая острые отравления сильнодействующими и ядовитыми веществами [9].

В последние годы нарастающими темпами восстанавливаются утраченные позиции по освоению в сельскохозяйственном производстве прогрессивных нетрадиционных технологий и кормовых цеолитсодержащих добавок в животноводстве, птицеводстве и рыбоводстве. Отдельные

специалисты, не отличающиеся высоким уровнем знаний, пытаются принизить значение использования цеолитов у нас в России, тогда как их мировое производство достигает 20–22 млн т в год, в том числе в Китае – 2,5 млн т [23].

Есть утверждения о том, что белковые минерально-витаминные добавки зарубежного и отечественного производства полностью решают все проблемы полноценного биологического и физиологического удовлетворения потребностей животных, птицы и рыб в элементах питания и витаминах, но они не всегда являются объективными. Белковые минерально-витаминные добавки не могут полностью удовлетворять потребности организма животных по всем физиологическим параметрам, это связано с тем, что они не обладают целым рядом свойств, которые несут цеолиты. Цеолиты же обеспечивают целый комплекс биохимических процессов, так как обладают уникальными свойствами благодаря специфической структуре и являются алюмосиликатами. В частности, они обладают пролонгирующими, селективными, ионообменными, каталитическими, сорбционными и целым рядом других свойств, что, в свою очередь, обеспечивает значительное усиление большинства жизненно важных функций организма животных, птицы и рыб, а также способствует значительному повышению продуктивности, толерантности и сохранности молодняка. Они намного улучшают конверсию корма и снижают его затраты на производство единицы продукции, так как обладают питательной ценностью, повышенной усвояемостью и перевариваемостью органического вещества корма, жира, белков, клетчатки и других полезных веществ. При выборе кормовых добавок и премиксов на основе цеолитов особое внимание следует обращать на тип и их основные свойства. В природе существует около 50-ти типов цеолитсодержащих пород, но они не все одинаково полезны для применения в кормлении (при кормлении) животных и рыб [23].

Сорбционные, пролонгирующие, ионообменные свойства цеолитов ярко проявляются при приготовлении и использовании премиксов на их основе. Более того, их физические свойства обеспечивают равномерное перемешивание, исключение расслоения ингредиентов при транспортировке, затаривании и раздаче, стабилизации состава комбикормов с высокой сохранностью витаминов и микроэлементов, даже такие как селен, который отличается высокой летучестью и быстрой его потерей в стандартных премиксах [23].

Впервые применение цеолитов в составе комбикормов для рыб было описано в работах В.А. Таратухина [10]. Цеолиты применяли в виде добавок к кормам при выращивании радужной форели [5]. В условиях

развития товарного форелеводства, комбикорма должны обеспечивать интенсивный рост и развитие рыб, иметь оптимальный баланс основных питательных веществ в зависимости от возраста – протеина и жира, а также минеральные и биологически активные вещества, витамины и другие компоненты, влияющие на обмен веществ и продуктивность [7].

Разработан и внедрен комплекс лечебно-профилактических мероприятий для рыбоводства, включающих ветеринарно-санитарные требования при выращивании рыбы в условиях загрязнений, рекомендации по диагностике, лечению и профилактике отравлений рыбы. Также авторами были изучены закономерности накопления нитритов и нитратов в воде и рыбной продукции, и предложены пути снижения их токсичности, используя цеолиты и препараты на их основе [4, 12].

Проводились эксперименты по сорбции цеолитами тяжелых металлов и аммония [8, 14], свободных радикалов [2, 14], продуктов распада и токсинов [15], радиоактивных элементов [1]. Было показано, что они тем самым моделируют функции антитоксической системы организма, прежде всего печени [14].

Цеолитоносные районы на территории России обнаружены в Сибири, на Кавказе, на Сахалине и Урале [7].

В 1990 году сотрудниками ВНИИгеолнеруд А.Н.Тюриным и А.И. Буровым в Дрожжановском районе Республики Татарстан были выявлены крупные залежи цеолитосодержащих пород – нового для республики вида нерудных полезных ископаемых. Это открытие вызвало живой интерес у татарстанских геологов и практиков [2].

Татарско-Шатрашанское месторождение цеолитсодержащих мергелей является одним из крупнейших месторождений цеолитсодержащих пород в европейской части России. Оно расположено в Дрожжановском муниципальном районе Республики Татарстан в 230 км к юго-западу от г. Казань. Месторождение связано с дорожной сетью асфальтовой дорогой, проходящей вдоль восточного контура подсчета запасов. Расстояние до райцентра Старое Дрожжаное составляет 23 км, до ближайшей железнодорожной станции Бурундуки – 78 км [2].

Цеолитсодержащие породы представляют собой уникальную смесь трех природных сорбентов. Наряду с цеолитами здесь присутствуют опал-кристобалит-тридимитовая фаза и монтмориллонит, которые существенно дополняют и расширяют спектр физико-химических показателей. Породы Татарско-Шатрашанского месторождения с содержанием цеолитов 20 % сопоставимы по технологическим показателям с породами, содержащими 60–70% цеолитов. Это позволяет эффективно применять их в таких сферах, как сельское хозяйство, стройиндустрия, промышленность и экология [2].

Минеральная цеолитсодержащая кормовая добавка производится на основе природных цеолитов и представляет собой уникальную многокомпонентную смесь высокоактивных минералов [2].

Добавление в корм цеолитов приводит к ускорению роста, экономии корма, улучшению физиологического состояния животных. Первые работы по изучению цеолитов в составе комбикорма для форели были осуществлены в период 1985–1992 гг. Изучена зависимость влияния цеолита на рост форели в зависимости от дозы, продолжительности срока проведения эксперимента и условий содержания рыбы [7].

В результате исследований было выявлено, что в качестве стимулятора роста форели может применяться в виде кормовой добавки природный минерал цеолит-клиноптилолит. Эффективность применения цеолита в составе комбикорма для форели зависит от ряда факторов – дозы и времени применения, условий выращивания рыбы. Оптимальная доза цеолита в составе комбикорма для форели различных возрастных групп составляет 3 %, которая позволяет получить максимальное ускорение темпа роста и снижение кормовых затрат. Присутствие цеолита в комбикорме в количестве 1, 5, 8 % не оказывает отрицательного действия на рыбу, но и не особо повышает темп роста рыбы. Также установлено, что добавление цеолита в комбикорм для молоди форели массой до 1 г не дает положительного действия на темп роста [5].

Одной из причин снижения кормовых затрат является стимуляция цеолитом активности пищеварительной системы – усиление переваривающей и всасывающей функции желудочно-кишечного тракта [5].

Введение в корм цеолита не оказывает негативного влияния на физиологическое состояние форели и биохимический состав тела. Выживаемость рыбы, выращенной на комбикорме с цеолитом, высокая, что говорит о том, что цеолит не оказывает отрицательного действия на жизнеспособность рыбы [5].

Применение ЭС оказывает мощный нормализующий эффект на показатели энергетического обмена, улучшает функциональность печени, стабилизирует углеводный обмен, снижает уровень продуктов перекисного окисления липидов, стабилизирует биомембраны. Установлена эффективность применения сорбентов при эндогенной интоксикации, которая сопровождается накоплением в кишечнике таких токсических веществ, как аммиак, индол, скатол, фенолы, жирные кислоты, бактериальные токсины [21].

Для увеличения активности цеолитов нужно усиливать степень их измельчения. Раньше цеолиты измельчали только механически, а в последние годы появились работы по их трибомеханическому и ультразвуковому измельчению [3, 17].

Изучены действия биологически активных добавок с трибомеханически активированным цеолитом (ТМАЦ) на систему клеточного иммунитета у пациентов, получавших лечение иммунодефицитных состояний (Ivkovic, 2004). Было показано, что применение ТМАЦ приводит к повышению онкологических пациентов антиоксидантов в плазме крови и уменьшению количества свободных радикалов [6,18].

Перспективным направлением для рыбоводства является разработка и применение нанокompозитов (НК) с оптимальными размерами частиц для максимального усвоения макро- и микроэлементов. Изменения основных характеристик веществ и элементов обусловлены не только малостью размеров, но и проявлением квантово-механических эффектов при доминирующей роли поверхностей раздела. Эти эффекты наступают при таком критическом размере, который соизмерим с, так называемым, корреляционным радиусом того или иного физического явления (например, с длиной свободного пробега электронов). Важной особенностью НК, которая играет ключевую роль при их использовании в кормах для рыб, является их низкая токсичность. К настоящему времени применительно к большой группе НК на основе металлов Ag, Cu, Co, Mn, Mg, Zn, Mo, Fe разработаны технические условия (ТУ У 24.6-35291116-001:2007), и налажено их производство отечественными производителями [13, 19].

Таким образом, данные научной литературы показывают, что энтеросорбенты применяют в лечебно-профилактических мероприятиях при выращивании рыб в условиях различных загрязнений и для снижения токсичности кормов.

Для исследования использовались образцы аскорбиновой кислоты импортной АО «ВЕКТОН» Санкт-Петербург; активированный природный цеолит (Zeol); гидротермальный нанокремнезем в форме сухого порошка. Исследования суммарной антиоксидантной активности (САОА) водных растворов образцов проведены с помощью метода кулонометрического титрования в гальваностатическом режиме по сертифицированной методике МВИ-01-00669068-13 в пересчете на стандартный образец аскорбиновой кислоты (АСК) [19] через модальное значение из 10 определений. Относительная ошибка определения САОА (Е отн.) находилась в пределах 0,10–2,10 % отн. САОА определяли в г АСК на 1 дм³ раствора в дистиллированной воде. Образцы нанокремнезема (НК) стабильных форм АСК с цеолитом были изготовлены в лаборатории кафедры химии и химической технологии Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова методом механо-химической интеркаляции в специальной ступке механической большой модернизированной (СМБМ), аналогично опубликованной работе [19].

При исследовании влияние АПЦ на процесс окисления водного раствора АСК было найдено по графикам, приведенным на рис. 1, что вид кривой представляет собой линейную зависимость САОА от времени проведения испытаний, и он не зависит от соотношения реагентов, взятых для изготовления НК из АПЦ и АСК. Для приготовления образца 1 соотношение АСК к АПЦ составляло 1:80, период полураспада АСК по уравнению составляет 3 суток, а образца 2 – (соотношение АСК к АПЦ 1:8) 2 суток, концентрация АСК в водных суспензиях составляла 1,36 и 0,51 г на 1 дм³, соответственно.

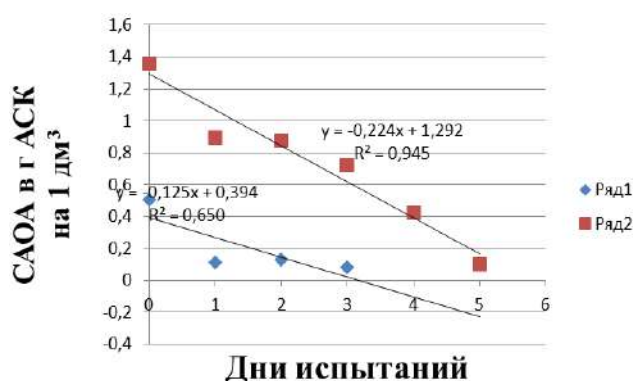


Рис. 1. Изменение суммарной антиоксидантной активности (САОА) суспензии нанопрепаратов из активированного природного цеолита и аскорбиновой кислоты во времени, образец 1 – ряд 1, образец 2 – ряд 2

Для сравнения на рис. 2 показано изменение САОА водного раствора исходной АСК во времени при начальной ее концентрации 2,82 г на 1 дм³, коэффициент аппроксимации линейного графика близок к 1, период полураспада 15 суток.

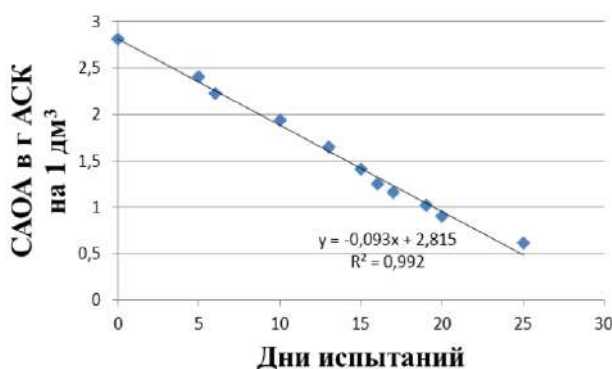


Рис. 2. Изменение суммарной антиоксидантной активности (САОА) водного раствора исходной аскорбиновой кислоты во времени при начальной ее концентрации 2,82 г на 1 дм³

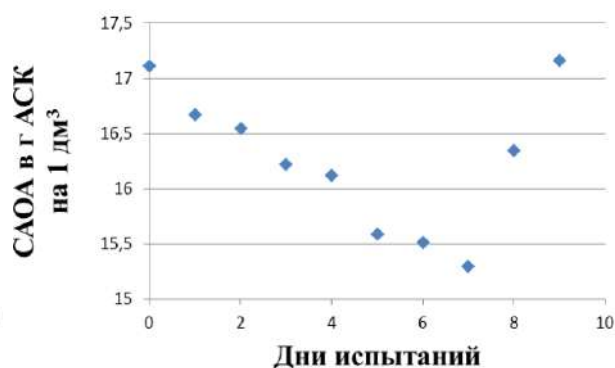


Рис. 3. Изменение суммарной антиоксидантной активности (САОА) суспензии из нанокремнезема и аскорбиновой кислоты во времени

На всех графиках прослеживается сложный процесс окисления АСК в начальный период, который затем переходит в линейную зависимость убывания САОА во времени. Исследуемый нами АПЦ защелачивает воду, так исходная вода имеет $\text{pH} = 6,865$, $\text{ОВП} = 33,8 \text{ мВ}$, а 2 %-ная суспензия АПЦ имеет $\text{pH} = 7,595$, $\text{ОВП} = 77,4 \text{ мВ}$. Водная суспензия 1 г АПЦ с 0,21 г АСК на 100 см^3 воды имеет $\text{pH} = 7,367$, $\text{ОВП} = 65,0$, а раствор 2,5 г АСК в 100 см^3 воды имеет $\text{pH} = 2,509$, $\text{ОВП} = 235,5$.

На рис. 3 представлен график изменения САОА водной суспензии раствора АСК с НК при перемешивании ее магнитной мешалкой, который состоит из двух частей, первая представляет линейную зависимость убывания САОА во времени по уравнению $y = -0,2548x + 17,027$, $R^2 = 0,977$ (от точки 0 до точки 7). Вторая часть графика показывает линейную зависимость возрастания САОА во времени по уравнению $y = 0,93x + 8,83$, $R^2 = 1,00$ (от точки 7 до точки 9). Суспензия содержала 3,24 г АСК, НК = 1г/100 мл, $\text{pH} = 2,350$, $\text{ОВП} = 220,0$.

Нами обнаружено, что активированный природный цеолит (Кормовая добавка Zeol) усиливает процесс окисления аскорбиновой кислоты в зависимости от его концентрации в водной суспензии в 5–8 раз. Он защелачивает воду, так как исходная вода имеет $\text{pH} = 6,865$, $\text{ОВП} = 33,8 \text{ мВ}$, а 2 %-ная суспензия цеолита имеет $\text{pH} = 7,595$, $\text{ОВП} = 77,4 \text{ мВ}$. Водная суспензия 1 г цеолита с 0,21 г АСК на 100 см^3 воды имеет $\text{pH} = 7,367$, $\text{ОВП} = 65,0$, а раствор 2,5 г АСК в 100 см^3 воды имеет $\text{pH} = 2,509$, $\text{ОВП} = 235,5$.

Найдено, что при перемешивании суспензии нанокремнезема с водным раствором аскорбиновой кислоты суммарная антиоксидантная активность сначала убывает от времени по линейному уравнению $y = -0,2548x + 17,027$, $R^2 = 0,977$, затем возрастает до исходного значения по уравнению $y = 0,93x + 8,83$, $R^2 = 1,00$. Исследованная суспензия содержала 3,24 г АСК, НК = 1г/100 мл и имела кислую реакцию – $\text{pH} = 2,350$, $\text{ОВП} = 220,0$.

Источники

1. Модулирующее действие природного цеолита на структуру пейеровых бляшек в условиях накопления цезия / Н.П. Бгатова [и др.] // Тихоокеанский медицинский журнал. 2009. № 3. С. 74–77.

2. Буров А.И., Тюрин А.Н., Якимов А.В. Цеолитовые породы Татарстана и их применение. Казань: ФЭН, 2001. 172 с.

3. Анти-оксидантные и иммуномодулирующие свойства природных цеолитов / К.С. Голохваст [и др.] // Тихоокеанский медицинский журнал. 2009. № 3. С. 68–70.
4. Дашибалова Л.Т. Интенсификация биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод с использованием биосорбционного фильтрования на природных цеолитах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2000. 25 с.
5. Канидъев А.Н., Лабутин В.Г. Эффективность добавления в комбикорм радужной форели природного цеолита – клиноптилолита. Вопросы интенсификации прудового рыбоводства. М.: ВНИИПРХ, 1985. Вып. 45. С. 178–184.
6. Нанотехнологии в сельском хозяйстве / В.Г. Каплуненко [и др.] // Зерно. 2008. № 4. С. 47–55.
7. Кузнецов А.А. Рыбоводно-биологическая эффективность применения природного цеолита клиноптилолита в составе комбикормов для радужной форели и сибирского осетра: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М., 2002. 22 с.
8. Папуниди Э.К. Ветеринарно-санитарная оценка мяса животных при сочетанной интоксикации тяжелыми металлами и применения цеолитов // Ветеринарный врач. 2008. № 3. С. 8–9.
9. Пономарев С.В., Пономарева Е.Н. Технологические основы разведения и кормления лососевых рыб в промышленных условиях. Астрахань: Астрах. гос. техн. ун-т, Информ.-издат. центр АГТУ, 2003. 186 с.
10. Таратухин В.А., Шимкульская Л.К. Корм для карпа с добавкой цеолитового туфа // Рыбное хозяйство. 1984. № 9. С. 35–36.
11. Томчук В.А. Энтеросорбенты, их свойства и применение // Биология тварин. 2014. Т. 16, № 1. С. 148–159.
12. Шахмурзов М.М., Дацерхоев В.М., Тлупов Т.Х. Оптимизация химического режима воды для получения экологически чистой рыбной продукции // Вестник ветеринарии. 1998. № 8 (2). С. 15–18.
13. Штыров И.Н., Лапин А.А. Изучение возможности использования наноэнтеросорбента в кормовых добавках для рыб // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2017. № 2 (134). С. 44–49.
14. Cincotti A., Lai N., Orrù R., Cao G. Sardinian natural clinoptilolites for heavy metals and ammonium removal: experimental and modeling // Chemical Engineering Journal. 2001. Vol. 84. Pp. 275–282.
15. Fumonisin B1 adsorption on modified clinoptilolite rich zeolitic tuff / A. Daković [et al.] // Book of abstracts 7th International Conference on the Occurrence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites «Zeolite '06» Socorro, New Mexico, USA, 2006. Pp. 90–92.

16. Histochemical and electron microscopic analysis of spiculogenesis in the demosponge *Suberites domuncula* / Eckert C. [et al.] // *J. of Histochemistry and Cytochemistry*. 2006. Vol. 54, Is. 9. Pp. 1031–1040.

17. Fine milling and micronization of organic and inorganic materials under dynamic conditions / Z. Herceg [et al.] // *Powder technology*. 2004. Vol. 139, Is. 2. Pp. 111–117.

18. TMAZ nanoparticles as potential drugs influencing the cellular signal transduction pathways / S. Ivkovic [et al.] // *Nanotech*. 2005. Vol. 1, Ch. 2. Pp. 85–88.

19. The influence of hydrothermal nanosilica powder aquasuspensions on the vital capacity of *Daphnia magna* Straus crustaceans / A.A. Lapin [et al.] // *Int. J. Nanotechnol*. 2018. Vol. 15, Is. 4/5. Pp. 422–430.

20. Schröder Siliceous spicules in marine demosponges (example *Suberites domuncula*) / W.E.G. Müller [et al.] // *Micron*. 2006. Vol. 37. Pp. 107–120.

21. Smisek M., Yerny S. Active carbon. Amsterdam; London; New York, 1970. Vol. 12. 479 p.

22. Anticancer and antioxidative effects of micronized zeolite clinoptilolite / N. Zarkovic [et al.] // *AnticancerRes*. 2003. Vol. 23 (2B). Pp. 1589–1595.

23. Биологически активные вещества (БАВ). Антиоксиданты. [Электронный ресурс]. URL: <http://belfidagro.by/novosti/498.html> (дата обращения: 20.04.2018).

24. Романов Г.А., Павленко Ю.В. Цеолиты – что это? Перспективы их применения в кормлении [Электронный ресурс]. URL: <http://www.myaso-portal.ru/news/articles-and-interviews/tseolity-cto-eto-perspektivy-ikh-primeneniya-v-kormlenii/> (дата обращения: 12.10.2018).

УДК 574.54

ИСТОЧНИКИ И ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД

Л.М. Костина¹, Х.В. Гибадуллина²
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. канд. хим. наук Х.В. Гибадуллина

Аннотация: в статье рассмотрены основные источники загрязнения природных вод и последствия попадания поллютантов в поверхностные воды.

Ключевые слова: вода, химический состав природных вод, поллютанты, водопотребители, миграция химических веществ.

В системе водного хозяйства России промышленность выступает как один из крупнейших потребителей воды, предъявляющий серьезные требования к ее качеству и количеству. Поскольку вода является одним из элементов производственного процесса, выполняющим разнообразные функции, а также сырьем, наличие водного объекта вблизи предприятий является одним из главных факторов, определяющим выбор территории размещения промышленного производства [1-3].

И как следствие этого, главные водопотребители и водопользователи являются источниками загрязнения природных вод. Промышленность, сельское хозяйство, коммунально-бытовое хозяйство населенных пунктов, транспорт, а также зоны отдыха населения, расположенные в непосредственной близости к водным объектам, влияют на состояние водоемов. Гомогенизация химических веществ в воде оказывает воздействие на все живые организмы.

В водных стоках промышленных предприятий и стоках коммунальных хозяйств населенных пунктов зафиксировано громадное количество загрязняющих веществ. Только контролируемые параметры химического загрязнения городских и промышленных стоков оцениваются в сотни наименований. А если учесть, что ежегодно в производство вовлекается десятки и сотни новых химических соединений, то можно утверждать, что все они рано или поздно оказываются в водных системах.

Естественный химический состав природных вод контролируется в основном тремя факторами: химией элементов, режимами выветривания из литосферы и биологическими процессами. Однако антропогенное воздействие на гидросферу вносит свои коррективы в природные процессы [2].

В континентальных водах преобладают четыре гидратированных катиона: Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} . В районах больших промышленных центров, а также на территориях с интенсивным земледелием содержание одних и тех ионов значительно отличается. Например, средняя концентрация ионов жесткости в воде реки Волга в районе города Балахна (население 49364 чел.) составляет для кальция – 28 мг/л, для магния – 8,15 мг/л, а в водах реки протекающей по территории Республики Татарстан (РТ) концентрация катионов достигает значений 72 и 14,5 мг/л, соответственно [4].

Главной причиной увеличения концентрации ионов кальция в Волжской воде является вымывание их из известняковых пород и залежей гипса, которыми богата прибрежная территория РТ. Другой причиной может служить активная разработка месторождений минерального сырья с целью использования в производстве строительных материалов и известкования земель сельскохозяйственного назначения. Известкование создает благоприятные условия для активизации полезных

микробиологических процессов и способствует увеличению доступных форм питательных элементов для растений. Ежегодно в РТ известкованию подвергается в среднем 350 тыс. га пахотных земель [5]. Баланс кальция и магния в пахотных почвах РТ в 2001-2007 годах составлял: приход 256 кг/га, расход 286 кг/га. Разница между приходом и расходом равна 30 кг/га, именно это количество растворимых форм соединений кальция и магния попадает в водные объекты.

Загрязнения вод промышленными и бытовыми стоками приводит к старению водоемов. В результате избытка питательных веществ, а именно соединений углерода, азота и фосфора, калия, кальция усиливается рост сине-зеленых водорослей. Растворенного в воде кислорода или полученного в результате обмена с атмосферой оказывается недостаточно для аэробного разложения поллютантов. В водоеме создаются анаэробные условия, приводящие лишь к частичному разложению биологического материала (образуется гниющий ил). В результате вода теряет потребительские качества, водоемы постепенно заболачиваются и исчезают. Значительное ускорение этого процесса происходит при повышении температуры воды, связанном с работой тепловых электростанций [2].

Основными факторами химического загрязнения водоемов и водотоков являются следующие [3]:

- сброс сточных вод промышленности и коммунально-бытового хозяйства;
- вымывание из почвы, применяемых в сельском и лесном хозяйстве удобрений и ядохимикатов – гербицидов, инсектицидов, фунгицидов, зооцидов;
- разработка месторождений нефти и газа на шельфе Мирового океана;
- захоронение вредных отходов в водоемах;
- поступления загрязняющих веществ из атмосферы в виде осадков.

Наиболее интенсивно загрязняют поверхностные воды такие отрасли промышленности, как металлургия, химическая, нефтеперерабатывающая, целлюлозно-бумажная и тепловые электрические станции.

Доля энергетики в общем объеме водопользования промышленностью России составляет около 70 %, из которых 90 % возвращается в источники. 96 % стоков нормативно-чистые, 4 % загрязнены [6, 7]. Для того чтобы нейтрализовать даже хорошо очищенную сточную воду, необходимо иметь в водных объектах чистую воду, обеспечивающую разбавление стоков как минимум в 10–12 раз. Только в этом случае естественный процесс самоочищения может справиться с доочисткой [6].

Один из видов загрязнений водоемов – тепловое. Этот вид загрязнения связан со сбором в водоемы нагретых вод, используемых в промышленности и на ТЭЦ.

Из отраслей сельского хозяйства интенсивно загрязняет водоемы растениеводство, благодаря применению удобрений и пестицидов. Около 25 % азотных удобрений, 30 % калийных и 4 % фосфорных удобрений попадает в водоемы. На экологическое состояние водоемов огромное влияние оказывают такие отрасли, как птицеводство и животноводство. Например, свиноводческий комплекс на 100 тысяч голов может загрязнять реку так же, как город с полумиллионным населением [3]. В сточных водах могут содержаться антибиотики, токсины.

При разведке и эксплуатации морских месторождений нефти, при ее транспортировке по воде в Мировой океан ежегодно попадает от 0,92 до $2,62 \cdot 10^6$ тонн нефтепродуктов, что составляет более 0,05 % их мировой добычи [2].

Однако нефтяники загрязняют море не одной лишь нефтью. При морской добыче углеводородов в воду попадают буровые растворы, пластовые воды, шламы. Пластовые воды – очень соленые, имеют сложный химический состав, содержат остатки сырой нефти, органические кислоты и соединения тяжелых металлов.

Последствия загрязнения гидросферы разнообразны, происходят изменения [3]:

- физических свойств воды (прозрачности и окраски, появление запахов и привкусов);

- химических свойств (накопление загрязняющих веществ; образование плавающих загрязнений на поверхности водоемов, взвешенных в толще водоемов и отложения на дне);

- газового состава (уменьшение количества растворенного кислорода, увеличение количества метана и углекислого газа);

- изменение состояния живых организмов водоемов: накопление в них химических токсикантов и, как следствие, мутагенное изменение; снижение биологической продуктивности водоемов; нарушение структуры пищевых цепей.

Миграция химических веществ в водной системе может происходить по механизму диффузии, переноса речными течениями, осаждения труднорастворимых соединений, соосаждения, сорбции – десорбции растворенных веществ на твердых частицах песка или ила. Процессы миграции не приводят к полному самоочищению окружающей среды от поллютантов, так как снижение общего их содержания не происходит.

Происходит лишь перераспределение веществ между компонентами экосистем или между отдельными средами [2, 3]. Полное самоочищение окружающей среды может происходить лишь в результате химических и биохимических превращений, приводящих к разложению поллютантов до нетоксичных веществ.

Кислотно-основные свойства поверхностных вод обусловлены совокупным действием всех кислотообразующих компонентов, а именно присутствием органических гуминовых кислот, солей металлов, подверженных гидролизу и растворенными газами.

Растворение CO_2 в воде сопровождается химическим взаимодействием. Содержание карбонатных компонентов может быть выражено в виде суммы:

$$\sum \text{CO}_2 = [\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}].$$

Равновесие, устанавливающееся между H_2CO_3 и бикарбонат-ионом, определяет буферную емкость природных вод, что очень важно для поддержания постоянства в них pH. Водные организмы чувствительны к pH среды обитания. Океаническая вода имеет pH ~ 8, а pH прибрежных вод ≈ 9 . При pH < 7,0 морские организмы не в состоянии образовывать карбонатные скелеты.

Буферность вод противостоит резким суточным и сезонным колебаниям pH за счет биохимических процессов, причем тем в большей степени, чем выше содержание карбонатных форм [2].

Важная роль в процессе самоочищения природных вод от соединений тяжелых металлов принадлежит гидролизу. Поскольку ионы тяжелых металлов обладают значительным поляризующим действием, они вызывают обратимое разложение молекул воды с образованием гидроксокомплексов.

При изменении pH гидроксокомплексы переходят в основные соли и труднорастворимые гидроксиды, которые легко осаждаются при достижении произведения растворимости этих соединений. Такой механизм самоочищения реализуется для железа, алюминия, марганца, меди. Ионы никеля, кобальта, свинца, цинка, ртути, олова соосаждаются с гидроксидами железа (II), железа (III), алюминия и марганца (II), марганца (IV).

Образование труднорастворимых гидроксидов и гидроксо солей понижает концентрацию растворимых форм металлов-токсикантов, что приводит к самоочищению водоемов и препятствует миграции поллютантов.

Однако в результате осаждения токсических элементов происходит их концентрирование в донных отложениях.

Источники

1. Астафьева Л.С. Экологическая химия. М.: Академия, 2006. 224 с.
2. Зиятдинов Р.Н., Алимов А.М., Гибадуллина Х.В. Экологическая химия. Казань: ФГБОУ ВПО КГАВМ, 2012. 110 с.
3. Логинова Е.В., Лопух П.С. Гидроэкология: курс лекций. Минск: БГУ, 2011. 300 с.
4. Николаева Л.А., Котляр М.Н. Водно-химические режимы теплоэнергетических объектов: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2011. 167 с.
5. Миннулин Р.М. Известкование почв местными карбонатными породами в Республике Татарстан // Агрехимический вестник. 2008. № 4. С. 21–22.
6. Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Вафин Т.Ф. Электромембранные технологии в энергетике: монография. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2012. 260 с.
7. Носков А.С., Савинкина М.А., Анищенко Л.Я. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба: аналит. обзор. Новосибирск: ГПНТБ, 1990. 177 с.

УДК 589.45

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ОСЕТРОВЫХ В УСТАНОВКЕ С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ ВОДООБОРОТА

Е.Ю. Матылицкая¹, Л.К. Говоркова²

^{1,2} ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

^{1,2} e.matylitskaya@mail.ru

Науч. рук. канд. биол. наук Л.К. Говоркова

Аннотация. За последние десятилетия индустриальное рыбоводство развивается наиболее высокими темпами. Самым контролируемым процессом выращивания рыб в индустриальном рыбоводстве является разведение их в установках с замкнутым циклом водооборота (УЗВ). Особое место в производстве мировой рыбной продукции занимают осетровые, в связи с особенностями биологии, сложным жизненным циклом и высокой пищевой ценностью. Качество водной среды при выращивании рыбы состоит в полном контроле всех показателей работы УЗВ, таких как температура, кислород, фильтрация, качество кормов, микрофлора и др.

Ключевые слова: индустриальная аквакультура, осетровые рыбы, качество водной среды, физико-химические показатели, микрофлора.

Аквакультура – на данный момент является высокопродуктивной, современной отраслью народного хозяйства. Она обеспечивает поступление морепродуктов и рыбы на внешние и внутренние рынки. Потребностью населения в полноценном белке, сокращением уловов в естественных водоемах, возрастанием спроса на диетическую продукцию является обуславливающим фактором увеличение доли по отношению к морскому промыслу данной продукции [4]. Индустриальное товарное рыбоводство вносит существенный вклад в общую рыбопродукцию. Сохранность рыбы и повышение выхода товарной продукции обеспечивают содержание на незначительных площадях при высоких плотностях посадки рыбы, а также короткий цикл ее выращивания. Решение проблемы экономичного использования вторичного сырья достигается установкой с замкнутым циклом водообеспечения (УЗВ). Потенциал таких установок довольно велик, потому как в них сокращено потребление чистой воды, а также обеспечивается регулирование режимов кондиционирования отработанных вод, очистки и управление жизненным циклом выращиваемых гидробионтов [5].

Осетровые рыбы занимают особое место в аквакультуре. Естественное воспроизводство осетровых рыб находится на грани полного исчезновения, происходит деградация ихтиофауны. В сложившейся ситуации компенсировать убыль естественных популяций осетровых, и пополнить их запасы призвано искусственное выращивание, роль которого в настоящее время значительно возрастает, и развитие фермерского осетроводства может стать решением в обеспечении населения дефицитным белком осетровых рыб. Строгие экологические ограничения, направленные на минимизацию загрязнений от рыбоводных заводов и аквакультурных хозяйств в различных странах мира послужили стимулом к быстрому технологическому развитию установок замкнутого водоснабжения (УЗВ). Кроме того, рециркуляция воды обеспечивает более высокое и стабильное производство продукции аквакультуры с меньшим риском возникновения болезней, а также лучшие возможности для контроля параметров, влияющих на рост, в инкубационных цехах. Установка замкнутого водоснабжения (УЗВ) представляет собой систему, которая состоит из нескольких бассейнов. Они дополнительно оснащены фильтрами и приспособлениями для постоянного обновления воды. Данное оборудование можно применять для разведения рыбы даже в условиях сурового климата. Из-за особенностей такой системы очень легко достигнуть оптимальных параметров (количества кислорода, температурного режима и т. д.), которые необходимы для выращивания рыбы [4].

Также к преимуществам УЗВ для выращивания рыбы необходимо отнести такой критерий как, применение интенсивных технологий выращивания (табл. 1). Осетровые рыбы, например русский осетр, достигают половой зрелости в природных условиях минимум на восьмом году жизни. Создавая имитацию сезонных колебаний температуры в природе, процесс полового созревания можно ускорить минимум вдвое. Получение половых продуктов осетровых без умерщвления позволяет создать маточное стадо, постоянно производящее посадочный материал для товарного выращивания. Инициация нереста при помощи гипофизарных инъекций обеспечивает планирование получения полового продукта по мере необходимости. Насыщение воды кислородом в УЗВ позволяет добиться высокой плотности посадки по сравнению с другими технологиями рыбоводства: без насыщения воздухом 20 кг/м^3 ; насыщение воздухом – 40 кг/м^3 ; насыщение кислородом – $60\text{--}80 \text{ кг/м}^3$; насыщение кислородом более $25 \text{ мг O}_2/\text{л}$ – свыше 80 кг/м^3 [3].

Таблица 1

Выращивание русского осетра в открытых водоемах и в УЗВ

Показатели	Открытый водоем	УЗВ
Возраст наступления половозрелости, лет:		
Самцы	6–8	3–5
Самки	10–12	4–5
Среднегодовой прирост, кг	0,3–0,5	2,5
Среднее количество икринок у самки, тыс. шт.	170	до 450
Выживаемость, %	0,3	не менее 25
Период повторного созревания, лет	3–4	1
Урожайность	0,1–0,5 т/га	max $1,1 \text{ т/м}^3$

При выращивании рыбы протекают естественные процессы накопления продуктов биологической очистки, которые в известных пределах не оказывают негативного влияния на рост и развитие выращиваемых объектов. Эти пределы определяют технологическую норму качества воды. Качество воды в установках с замкнутым водоиспользованием определяется качеством исходной воды, технологией выращивания рыбы и эффективностью работы блока очистки (табл. 2) [2].

При выращивании рыбы в УЗВ необходим постоянный контроль за такими параметрами, как концентрация кислорода, рН, содержание в оборотной воде аммония и нитритов. Значения рН следует поддерживать в оптимальном интервале, так как при рН менее 6,5 снижается эффективность процессов нитрификации и денитрификации. Хотя рыба

выдерживает колебания рН от 6,0 до 9,5 без видимого угнетения, при низких рН усиливается отрицательное воздействие нитритов, а при высоких рН возрастает процент токсичного для рыб свободного аммиака. Для увеличения или уменьшения рН используют 2–10%-ные растворы кислоты (чаще соляной) и щелочей (NaOH, KOH), при этом изменения величины рН должны быть не более 0,5 ед. в сутки.

Таблица 2

Нормы качества воды при выращивании рыбы в УЗВ

Показатели	ОСТ 15.372-87 поступающая вода	Технологические нормы	Кратковременно-допустимые значения
1	2	3	4
Взвешенные вещества, мг/л	до 10	До 30	–
рН	7,0–8,0	6,8–7,2	6,5–8,5
Нитриты, мг/л	до 0,02	до 0,1–0,2	до 1
Нитраты, мг/л	2–3	60	100
Аммонийный азот, мг/л	1	2–4	до 10
Аммиак свободный, мг/л	до 0,05	до 0,05	до 0,1
Окисляемость бихроматная, мг O ₂ /л			
Окисляемость перманганатная, мг O ₂ /л	до 30	20–60	70–100
Кислород на выходе из рыбоводных бассейнов, мг O ₂ /л	–	5–12	2–3
Кислород на выходе из биофильтра, мг O ₂ /л	–	4–8	не менее 2
Углекислота, мг/л	10	25	30
Сероводород, мг/л	–	–	–
Фосфаты, мг/л	0,3	0,2–0,5	2,0
Железо общее, мг/л	0,5	0,5	0,2
Железо закисное, мг/л	0,1	0,1	0,5
Щелочность, мг-экв/л	–	1,8–2,0	200
Жесткость общая, Н ⁰	–	5–8	20–25
Хлориды, мг/л	–	10,0	15,0
Сульфаты, мг/л	–	10,0	15,0

При выращивании рыб в бассейнах с высокой плотностью посадки (50–150 кг/м³) в воде в значительных количествах накапливаются продукты обмена рыб. Окисление продуктов обмена рыб и остатков кормов приводит к накоплению в воде значительного количества нитратов и фосфатов. Их концентрация зависит от плотности посадки рыб, норм

кормления и возможности удаления отходов при помощи различных отстойников и фильтров. Поэтому не менее важен контроль за содержанием в оборотной воде азотных соединений – аммонийного азота, свободного аммиака, нитритов и нитратов. В водной среде ионы аммония и аммиака находятся в подвижном равновесии, зависящем от рН и температуры среды. Ионы аммония в концентрациях до 10 мг/л не оказывают заметного влияния на рыбу. Токсичным является свободный аммиак. Желательно, чтобы его концентрация не превышала 0,05 мг/л. Регулируя величину рН, можно уменьшать содержание свободного аммиака и тем самым избегать токсикозов. Рыбы иногда выдерживают концентрацию нитритов до 1–2 мг/л, но непродолжительное время, при этом темп роста рыбы резко снижается. При низких значениях рН действие нитритов усиливается. Снизить их токсическое действие можно внесением в систему поваренной соли в сочетании с хлоридом кальция в количестве 0,5–0,8 г/м³ на каждые 0,1 г/м³ нитритного азота. Нитраты – конечный продукт биологической очистки, могут накапливаться в оборотной воде при отсутствии блока денитрификации. Заметного отрицательного влияния на рыб они не оказывают, но при высокой концентрации (более 170 мг/л) могут быть причиной нежелательного уменьшения рН, вследствие чего будут тормозиться процессы нитрификации. Уменьшить количество нитратов можно путем увеличения подпитки системы свежей водой [3].

Развитие индустриального рыбоводства с использованием установок с замкнутым циклом водообеспечения должно базироваться не только на знаниях биологии разводимого объекта, технологии его выращивания, основ очистки воды, сбалансированности и качества кормов, но и учитывать закономерности формирования микробных сообществ и их функционирование в замкнутых системах. В связи с этим? изучение структуры микробиоценозов посадочного материала и выращиваемой рыбы, водной среды и кормов является весьма актуальным исследованием. Полученная информация поможет решить проблему предупреждения инфекционных заболеваний рыб в индустриальных хозяйствах и, таким образом, снизить отход рыбы от болезней бактериальной природы.

Микробная популяция замкнутых систем состоит из двух взаимосвязанных групп. Это микрофлора окружающей организм среды и аутофлора самого макроорганизма. Главная особенность микрофлоры замкнутой системы – изменение ее видового состава. Это происходит из-за ограниченного числа индивидуумов, составляющих популяцию замкнутой системы. Наблюдается и большая вариабельность аутофлоры отдельных индивидуумов, поэтому в небольшой популяции суммарный набор видов микроорганизмов будет редуцирован по сравнению с микрофлорой больших

сообществ. Нормальная микрофлора гидробионтов – саморегулирующаяся система, выполняющая в организме ряд полезных для него функций, и она зависит от состояния организма. Но при различных изменениях внешних факторов в одну или другую сторону нормальная микрофлора может стать патогенной и вызывать заболевания. В связи с этим необходим постоянный контроль за обсемененностью микроорганизмами водной среды, самих рыб в целом и ее органов в частности [1].

Для исследования микрофлоры водной среды при выращивании осетровых рыб были взяты пробы воды в бассейнах установки замкнутого водообеспечения кафедры «Водные биологические ресурсы и аквакультура».

Видовой состав микрофлоры водной среды в УЗВ был представлен бактериями родов *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Acinobacter*, энтеробактериями. В составе микрофлоры выделена специфическая условно-патогенная группа бактерий: *Aeromonas*, *Pseudomonas*, энтеробактерии, которые потенциально опасны с точки зрения возникновения инфекционного заболевания при различных изменениях норм содержания рыбы в бассейнах. Обсемененность водной среды составила 56000 КОЕ/мл, что соответствовало категории умеренно-загрязненных вод.

Источники

1. Антипчук А.Ф. Микробиология рыбоводных прудов М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1983. 143 с.

2. Бондарев А.А. Очистка сточных вод от азота путем нитрификации и денитрификации в свободном объеме // Научные исследования в области механической и биологической очистки промышленных сточных вод. 1979. С. 117–125.

3. Гуркина О.А. Выращивание рыбы в установках замкнутого водоснабжения: метод. указания по лаб. занятиям для магистров 2-го курса. Саратов, 2016. 34 с.

4. Козлов В.И., Никифоров А.Л., Бородин А.Л. Аквакультура. М.: КолосС, 2006. 423 с.

5. Пономарев С.В. Индустриальная аквакультура: учебник для вузов. Астрахань.: ГУП ИПК Волга, 2006. 312с.

**ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО
АФРИКАНСКОГО КЛАРИЕВОГО СОМА НА БАЗЕ
КАФЕДРЫ «ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ И АКВАКУЛЬТУРА»**

Е.С. Пиганов¹, М.Ф. Хамитова², М.Л. Калайда³
^{1,2,3}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
^{1,2,3} vip.piganov@mail.ru

Аннотация. Актуальность работы обусловлена отработкой биотехнологии по искусственному воспроизводству африканского клариевого сома на базе установки замкнутого водоснабжения кафедры. Научная новизна проекта заключается в том, что отрабатываются биотехнологические приемы и нормативы по воспроизводству, получению и выращиванию личинок клариевого сома в условиях замкнутого водообеспечения.

Ключевые слова: африканский клариевый сом, размножение, гормональное стимулирование, сурфагон, оплодотворение, сухой метод, аппарат Вейса, выращивание.

Повысить эффективность рыбоводства можно путем интенсификации производства – введения в культуру новых объектов аквакультуры с быстрым ростом. Это позволит получать товарную продукцию в сокращенные сроки при меньших затратах труда и материальных средств. Таким перспективным объектом выращивания является африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*), для которого характерен высокий темп роста и способность к высокому выживанию в условиях индустриальных хозяйств при высоких плотностях посадки (в отдельных случаях до 500 кг/м³) за счет наличия специального органа дыхания. Кларии обладают высокой скоростью массонакопления: от личинки до товарной массы 1,2 кг время составляет шесть месяцев в условиях УЗВ, отличаются устойчивостью к заболеваниям [1, 7].

В России работы по рыбохозяйственному освоению клариевого сома, который был завезен из Голландии, были начаты в 1996 году В.А. Власовым (2007). Были проведены эксперименты по содержанию сомов в различных условиях, они включали в себя получение полноценных половых продуктов, инкубацию икры, выращивание молоди, получение товарной продукции, формирование стад производителей [1].

По данным Власова В.А. (2009) именно в установках с замкнутым циклом водообеспечения (УЗВ) при выращивании клариевого сома могут быть достигнуты наиболее высокие показатели по выживаемости, скорости роста и плодовитости. Среди основных полученных им результатов:

- выживаемость при выращивании клариевого сома на разных этапах жизненного цикла варьирует от 50 до 70 %;
- относительная плодовитости особей варьировала от 60 до 100 тыс. шт./кг;
- товарная масса (1200 г) получается за 170 дней [2].

Поскольку при отработке биотехнологических приемов воспроизводства и выращивания применяются различные технологии, то важны эксперименты по отработке новых более эффективных биотехнологических приемов [3, 4].

Власов В.А. (2009) в размножении сома применял инъекции препаратом гипофиза (карповых рыб) в дозах: предварительная 0,3–0,5 мг/кг и разрешающая 3–4 мг/кг живой массы тела [2]. Поскольку применение гипофиза сопряжено со значительными сложностями его получения, то перспективны технологии с применением заменителей гипофиза. Одновременно развиваются технологии применения гипофизов клариевого сома, которые сопряжены со сложностями его доставания из черепной коробки [6, 8].

В наших исследованиях по искусственному воспроизводству клариевого сома были использованы производители клариевого сома: две самки и два самца (см. таблицу).

Характеристики производителей африканского клариевого сома

№ особи	Масса особи, г	Кол-во икры, г	плодовитость, шт./кг	Масса семенника, г	Кол-во семенного материала, г
самки	2222	3,3	891,0		
	1640	127	46463,4		
самцы	1452			30,3	23,028
	1560			12,77	9,7052

Как видно из приведенных в таблице данных, плодовитость самок значительно варьировала – от 1 тыс. до 46 тыс. шт./кг. Обращает внимание снижение плодовитости у крупноразмерных рыб. Возможно, это связано со старением самок.

У самцов масса семенников варьировала от 0,82 до 2,09 % от массы тела.

Стимуляция производителей проводилась суспензией сурфагона (синтетический аналог ганадотропин-рилизинг гормона (ГнРГ) – люлиберина). После инъектирования отбирались половые продукты, количество которых отражено в таблице.

При преднерестовом содержании сомы содержались в бассейнах

объемом 0,4 м³ при плотности посадки до 30 кг/м³ и температуре воды 27 °С. За два дня до стимуляции рыба не кормилась.

Самок и самцов инъецировали суспензией сурфагона. После инъецирования клариевые сомы были помещены в бассейны для дозревания икры и молок. Созревание сомов наступало через 10–20 часов в зависимости от индивидуальных особенностей. Через 10 часов самки проверялись на текучесть икры через каждый час. Созревание первой самки наступило через 12 часов после инъекции, последней – через 16 часов.

Самок, хорошо отдающих икру, отсаживали в отдельную емкость и начинали подготовку к получению молок. При отборе икра сцеживалась в сухую продезинфицированную емкость. Из-за биологических особенностей половой системы самцов семенники получали методом их забоя. После получения икры от самок, семенной материал сцеживался из семенников для оплодотворения икры сухим способом. Затем проводилось оплодотворение икры в течение 2–3 минут, и обесклеивание оплодотворенной икры Танином в течение 40 с. Икра размещалась в аппаратах Вейса при температуре воды 27 °С. Инкубация икры в аппарате Вейса длилась 18 часов [5].

Источники

1. Власов В.А., Фатталахи М., Касумян А.О. Выращивание африканского сома в промышленных условиях // Современное состояние и перспективы развития аквакультуры в России. 2007. С. 41–50.
2. Власов В.А. Результаты выращивания африканского сома при различных условиях кормления и содержания // Известия ТСХА. 2009. Вып. 3. С. 136–146.
3. Калайда М.Л. Биологические основы рыбоводства. Краткая теория и практикум: учеб. пособие. СПб.: Проспект Науки, 2014. 224 с.
4. Калайда М.Л., Говоркова Л.К. Методы рыбохозяйственных исследований. СПб.: Проспект Науки, 2013. 288 с.
5. Калайда М.Л., Хамитова М.Ф. Гидробиология. СПб.: Проспект Науки, 2013. 193 с.
6. Подушка С.Б. Заготовка и использование в рыбоводстве гипофизов клариевого сома // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2016. № 3 (123). С. 22–29.
7. Томеди Э.М., Тихомиров А.М. Клариевый сом – перспективный объект аквакультуры II // Рыбоводство и рыболовство. 2000. Вып. 4. С. 14.
8. Заготовка гипофиза. Клариевый сом. [Электронный ресурс]. URL: https://youtu.be/W4_HILX7N7k/ (дата обращения: 29.01.2019).

ОСОБЕННОСТИ РОСТА МОЛОДИ АВСТРАЛИЙСКИХ КРАСНОКЛЕШНЕВЫХ РАКОВ

Л.Н. Садыкова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
sln1407@mail.ru
Науч. рук. д-р биол. наук М.Л. Калайда

Аннотация. Австралийский красноклешневый рак *Cherax quadricarinatus* является перспективным объектом выращивания. Его культивированием занимаются в таких странах, как Китай, Бразилия, Эквадор, США и др. Рост австралийского красноклешневого рака носит скачкообразный характер, так как ростовые показатели изменяются во время линьки. При совместном выращивании раков одного возраста, полученных от одной самки, наблюдается их неравномерный рост. При проведении своевременной сортировки и рассадки молоди раков мелкие особи могут догнать по размеру более крупных особей. Благодаря сортировке формируются размерные группы, снижается элиминация в результате каннибализма, повышается выживаемость раков при культивировании.

Ключевые слова: водные биоресурсы, австралийский красноклешневый рак, культивирование, молодь, линейный и весовой рост, сортировка, выживаемость.

Австралийский красноклешневый рак *Cheraxquadricarinatus* является перспективным объектом выращивания. Его культивированием занимаются в таких странах, как Китай, Бразилия, Эквадор, США и др. [3, 6]. По данным ФАО объемы ежегодного производства австралийских красноклешневых раков в Австралии составляет до 400 т, в Китае – до 100 т, в Мексике – около 50 т, в США до 10 т [11].

В естественной среде обитания – стоячих, хорошо прогреваемых, с высокой мутностью водоемах – длина красноклешневого австралийского рака может достигать 20–25 см, масса – до 500 г у самцов и до 400 г у самок [5, 8, 9].

При содержании в аквариуме раки редко достигают размеров выросших в естественной среде особей [4], они обычно меньше.

Одним из главных преимуществ *Cherax quadricarinatus* перед речными раками, обитающими в нашей полосе (узкопалый и широкопалый раки), является высокая скорость роста: если к концу 1 года речные раки достигают в среднем массы 5 г [2], то красноклешневый рак – 70 г, варьируя от 50 до 100 г.

При оптимальных условиях культивирования средние показатели роста особей могут составлять [1]:

– молодь в земляных прудах за 3–4 месяца культивирования достигает массы 5–15 г;

- за 6 месяцев особи достигают половой зрелости при массе 45–50 г;
- коммерческого размера (около 65 г) раки достигают после 9 месяцев выращивания;
- после 12 месяцев культивирования самцы могут достигать средней массы 100 г, а самки – 70 г.

При выращивании в УЗВ мексиканскими исследователями [10] показано, что при температуре воды 29 °С и световом режиме 12:12 выживаемость двух групп молоди массой 0,3 и 6,9 г колебалась от 65 до 70 %. При этом через 5 месяцев особи в каждой группе достигли средней массы 5,0 и 29,0 г, соответственно. Скорость роста раков составила 0,15 г/сут.

Аналогичные результаты по выживаемости (до 60 %) при несколько большей скорости роста (0,2 г/сут.) получены в Израиле при совместном бассейновом выращивании австралийского рака (10 шт./м²) в поликультуре с нильской тилляпией (33 шт./м³) [7].

Рост австралийского красноклешневого рака, как и у всех ракообразных носит скачкообразный характер, так как происходит во время линьки. Линька – критический период в жизни особи, в момент которого в организме животного протекают сложные гормональные и биохимические изменения, связанные с повышенными энергетическими затратами [1].



Рис. 1. Молодь австралийских красноклешневых раков одного возраста, полученная от одной самки

На скорость роста оказывают влияние следующие факторы: температура воды, качество кормов и режим кормления, плотность посадки, интенсивность размножения, индивидуальные особенности особи.

Австралийские красноклешневые раки выращивались экспериментально на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» в условиях бассейнового содержания в УЗВ. Выращиваемые особи раков одного возраста, полученные от одной самки, представлены на рис. 1. Как видно, молодь имеет разные размеры. Линейные размеры раков в возрасте 1 мес. варьировали от 1,2 до 2 см, а их масса составила от 0,09 до 0,6 г.

Молодь австралийских красноклешневых раков возрастом 1 месяц полученных от одной самки была отсортирована по размеру (массе) и разделена на 2 группы: условно названные «крупные» и «мелкие» раки.

Начальная масса «крупных» раков включала раков с массой от 0,4 до 0,6 г. Начальная масса «мелких» раков варьировалась от 0,09 до 0,39 г.

Обе группы выращивались в бассейнах с большим количеством укрытий, при температуре 28–30 °С и норме кормления 5 % от массы тела. Раки содержались при плотности посадки: «крупные» – 0,17 шт./м² (28 г/м²), «мелкие» – 0,13 шт./м² (24 г/м²).

Контрольное взвешивание, проведенное через месяц, показало, что масса «крупных» раков составила от 1,41 до 3,29 г, «мелких» – от 0,39 до 2,44 г.

Выживаемость раков в группе «крупных» и группе «мелких» составила соответственно 94 и 92 %. На рис. 2 и 3 представлен весовой рост раков после их сортировки выращивании в течение месяца.

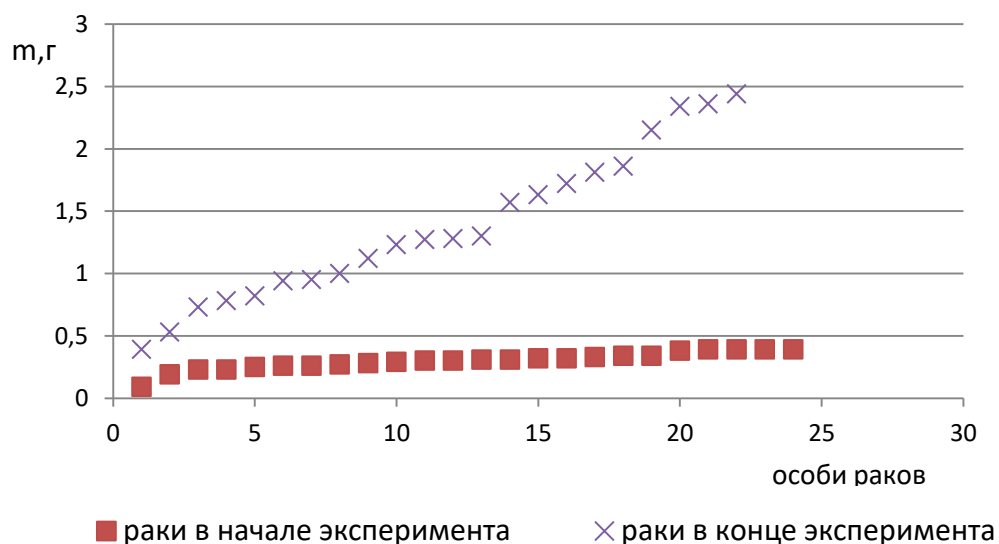


Рис. 2. Изменения индивидуальной массы (m,г) австралийских красноклешневых раков в группе «мелкие» в начале и конце эксперимента (1 мес.)

Среднесуточный весовой прирост раков в группе «мелкие» составил за 30 суток выращивания 0,04 г/сут. Среднесуточный весовой прирост раков в группе «крупные» составил за 30 суток выращивания 0,07 г/сут.

Учитывая, что товарная масса раков достигается за 9 мес., среднесуточный прирост раков составляет 0,24 г/сут. Таким образом, в начале первого месяца жизни отмечаются значительно меньшие абсолютные приросты, а относительные – максимальные 44,4 % от массы тела рачков, в то время как к моменту достижения товарной массы относительные приросты снижаются до 0,4 %.

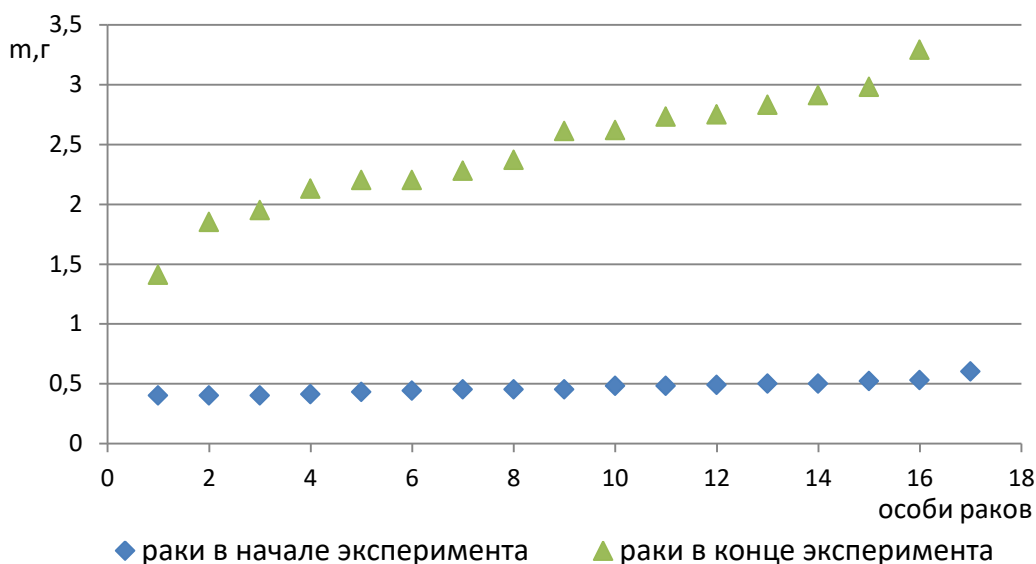


Рис. 3. Изменения индивидуальной массы (m , г) австралийских красноклешневых раков в группе «крупные» в начале и конце эксперимента (1 мес.)

В литературе отмечается, что неравномерный рост раков ограничивает интенсификацию их культивирования, так как при высокой плотности посадки снижается скорость их роста, и лишь единичные особи достигают крупных размеров. Это связано с элиминацией в результате каннибализма, которая особенно ярко выражена у молоди раков [1].

К причинам неравномерного роста особей относят [1]: конкуренция за пищу (доминирующие особи съедают больше пищи, чем более слабые особи); агрессивное взаимодействие раков (повреждение конечностей во время «стычек»); химические вещества, выделяемые более крупными особями, которые подавляют рост более мелких раков. При содержании мелких раков в индивидуальных ячейках в окружении крупных наблюдается снижение скорости роста первых.

Для минимизации неравномерного роста раков рекомендуется [1]: поддержание оптимальной плотности посадки; раздельное содержание взрослых раков и молоди; проведение регулярных сортировок и формирование одноразмерных групп особей.

Таким образом, при проведении своевременной сортировки и рассадки молоди раков мелкие особи не только начинают расти быстрее,

но также могут догнать по размеру более крупных особей. Благодаря чему, рост молоди становится более равномерным, а значит, уменьшается количество повреждений особей в результате «стычек», снижается элиминации в результате каннибализма и повышается выживаемость молоди при культивировании.

Источники

1. Биология и культивирование австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) = Biology and cultivation of australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) / Р.Р. Борисов [и др.]. М.: Изд-во ВНИРО, 2013. 48 с.

2. Лебедев Н.А. Длиннопалый рак – хозяйственно ценный объект промысла и аквакультуры: практикум для студентов специальности «Биология» с дополнительными специальностями. Мозырь: УО «МГПУ им. И.П. Шамякина», 2008. 50 с.

3. Федорова З.В. Культивирование речных раков за рубежом // Рыбное хозяйство. 1991. № 1. С. 1–16. (Аквакультура (ВНИЭРХ)).

4. Креветки и раки в аквариуме: происхождение и поведение, кормление, уход и разведение, совместимость / К.В. Хофштэттер; [пер. с нем. В. В. Домановской]. М.: Аквариум, 2008. 118 с.

5. Curtis M.C., Jones C.M. Observations on monosex culture of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* von Martens (Decapoda: Parastacidae) in earthen ponds // J. World Aquacult. Soc. 1995. Vol. 26, Is. 2. Pp. 154–159.

6. Holthuis L.B. The freshwater crayfish of New Guinea // Freshwater Crayfish. 1986. Vol. 6. Pp. 48–58.

7. Culture of the australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in israel IV. Crayfish incorporation into intensive tilapia production units / I. Karplus [et al.] // Isr. J. Aquacult. Bamidgeh. 2001. Vol. 53, Is. 1. Pp. 23–33.

8. Lawrence C., Jones C. *Cherax* // Biology of Freshwater Crayfish /. D.M. Holdich (Ed.). UK, Oxford: Blackwell Science, 2002. Pp. 635–670.

9. Intensification of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* culture II. Growout in a separate cell system / R. Manor [et al.] // Aquacultural Engineering. 2002. Vol. 26. Pp. 263–276.

10. Rodrigues-Canto, Arredondo-Figueroa, Ponce-Palafox, Rouse. Growth Characteristics of the Australian Redclaw Crayfish, *Cherax quadricarinatus*, Cultured in an Indoor Recirculating System // J. of Applied Aquaculture. 2002. Vol. 12, Is. 3. Pp. 59–64.

11. FAO. *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) [Электронный ресурс]. URL: //www.fao.org (дата обращения: 23.01.2019).

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ: ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Секция 4. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Абзалова Л.А., Гиниятуллина Э.И., Миннуллин Б.И. Энергообеспечение сельскохозяйственных предприятий на основе биогазовой установки.	3
Аленина Е.М., Грибкова А.М. Исследование влияния утепления фасада на фактическое теплотребление здания.	6
Аляутдинов А.Р. Перспективы использования атмосферной сублимационной сушки.	10
Арсланова Г.Р. Энергоэффективная установка для экстракции древесного сырья.	14
Ахмеров Р.Р. Анализ показателей работы источников теплоты.	18
Ахметшин Р.И., Зарипов Е.Д. Разработка перспективного конвертированного газотурбинного привода мощностью 25МВт и коэффициентом полезного действия не менее 36 % для привода газоперекачивающих агрегатов.	21
Белоглазова А.Е. Энергосберегающие мероприятия в крестьянско-фермерском хозяйстве «Архангельское» Новошешминского района РТ.	28
Березина Т.С., Курбатова Ю.Ю. Исследование параметров воздушной среды в теплообменных процессах при хранении зерна в металлических силосах.	32
Биккинеев Н.М. Особенности применения обогрева труб.	38
Босов Н.С. Эффективное использование противоаварийных турбин на тепловых электростанциях в условиях снижения производственной нагрузки.	43
Бу Нгок Зан, Нгуен Зуи Хынг Проблема диагностики маслonaполненного электрооборудования инструментальными методами.	47
Габдуллина А.Р. Эксплуатационные характеристики изоляционных материалов трубопроводов при прохождении циклов намокание-сушка.	51
Гайнутдинов Р.Р., Морозов Д.А. Солнечные установки для определения оптимального угла эффективного поглощения солнечной энергии.	57

Гайфуллин Б.Н., Свешников В.В. Применение газотурбинного двигателя с промежуточным подогревом для привода компрессоров газоперекачивающих станций.	62
Гарифуллина Р.Р. Постоянное магнитное поле в восходящей колоночной жидкостной хроматографии фурановых производных. .	66
Гиззатуллина Г.Р. Мониторинг агрессивности воды критерий опасности коррозии теплоэнергетического оборудования.	69
Гиниятова Л.М. К выбору конструкции тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей.	73
Гиниятуллина Э.И., Абзалова Л.А., Миннуллин Б.И. Обоснование комбинированного энергообеспечения сельскохозяйственного предприятия с использованием нетрадиционной энергии.	77
Григорьева М.О., Лаптева Е.А. Индивидуальный тепловой пункт как инструмент стабильного и экономного теплоснабжения зданий.	80
Зарипов Е.Д., Ахметшин Р.И. Состояние и перспективы электроэнергетической отрасли России.	83
Зиннатов Р.Р. Проблема утилизации и переработки сточных вод от предприятий животноводства.	92
Ибатуллин С.Р. Использование абсорбционных холодильных машин в схеме тепловой электростанции.	95
Касимова Л.И., Нигматуллин Р.Р. Разработка энергосберегающего котла для использования возобновляемых древесных источников энергии.	100
Кныжова Н.С. Оценка ресурсной ценности объектов хранения нефтесодержащих отходов на основе анализа их компонентного состава.	105
Липагина А.Д. Влияние пульсаций на скорость очистки теплообменного аппарата.	113
Маранцева Е.А. Энергоэффективное тепло для «города будущего»	119
Местников Н.П. Обоснование системы автономного гибридного электроснабжения труднодоступных фермерских хозяйств Севера и Дальнего Востока Российской Федерации.	123
Мингалимова Н.Р. Применение вакуумного испарителя в процессе производства химической продукции.	128
Миннуллин Б.И., Абзалова Л.А., Гиниятуллина Э.И. Энергообеспечение сельскохозяйственного предприятия на основе ветроэнергетической установки.	131

Михеева В.В. Сорбционные свойства природных пористых материалов в условиях восходящей колоночной жидкостной хроматографии.	135
Нгуен Зуи Хынг, Ву Нгок Зан Проблема старения трансформаторного масла.	141
Нуруллин Н.Ж., Хворысткина А.М. Численное моделирование работы пластинчатого противоточного рекуператора.	144
Патрушев Г.А. Способ динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи.	149
Сагатдинов И.М. Анализ эффективности работы промышленных градирен.	154
Соколов П.С., Козлова М.В. Исследование влияния температуры воды в зоне барботажа на эффективность опреснительных установок паровоздушного типа.	161
Соколов П.С., Козлова М.В. Экспериментальная установка автономного опреснителя паровоздушного типа.	164
Тюряева С.А., Ялалов И.Ф. Использование теплового насоса в системе кондиционирования воздуха.	168
Хакимова А.М., Хайруллин А.Р. Исследование теплопроводности волокнистых материалов при их увлажнении.	172
Хасанова Ю.А. Обеспечение энергоэффективности работы газотурбинного двигателя.	176

Секция 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Акбердин Н.Г., Сафин И.Э. Разработка прототипа системы автоматического мониторинга нахождения материальных средств в помещении.	180
Габдулиманова А.М., Халилов А.З. Разработка алгоритмов и программ многоконтурного цифрового регулирования автоматизированных систем управления технологическим процессом.	183
Герасимов Е.И., Магадеев Р.А. Автоматизированная система управления технологическим процессом установок замкнутого водоснабжения для выращивания рыб.	187
Гимазетдинов И.Р. Анализ перспективы развития автоматизации технологических процессов в нефтехимической отрасли.	190
Григорьева А.И. Интегрированные автоматизированные системы безопасности промышленного предприятия.	195

Давлатшоев С.К. Автоматизированная система мониторинга основания плотины на растворимых породах.	200
Давлатшоев С.К. Гидрогеохимический мониторинг в основании плотины на водорастворимых породах.	203
Миндияров В.Р., Садыков В.О. Разработка системы дистанционного контроля и управления дизель-генератором.	207
Миргалеева А.Р. Проектирование системы управления пароводяного тракта котла-утилизатора.	210
Мохнатов Д.В. Автоматизация интеллектуального уличного освещения.	217
Муртазин А.З. Автоматизированный учет ресурсов в многоквартирных домах.	222
Нгуен Тиен Тепловая компьютерная модель силового трансформатора ТМ-160/10.	226
Никифоров А.А. Оптимизация оценки фактических значений статизма и мертвой полосы первичного регулирования частоты.	234
Халлыев И.А., Павлыгина В.А. Расчет необходимой мощности солнечного коллектора для использования в теплонасосной системе отопления.	241
Хаматханов Д.И. Автоматизированная система управления и контроля в системах транспортировки рабочих сред.	245
Шакиров Р.А., Гайнуллин Р.Н. Нейросетевое моделирование характеристик дискретно-шероховатых поверхностей теплообмена в виде лунок.	251
Шакирова К.Н. Автоматизация процесса по созданию микроклимата для выращивания клубники в зимний период времени.	258
Шамсияров А.Н., Каюмов А.А. Разработка инфракрасной паяльной станции.	262

Секция 6. ТЕПЛОФИЗИКА

Батищева К.А. Исследование свойств смачивания гелеобразного топлива.	267
Вашурина А.В. Процесс теплообмена в камере сгорания при сжигании природного газа.	270
Гиззатов И.И., Хакимов И.И., Зинуров В.Э. Улавливание полидисперсных частиц в процессах пневмотранспортирования.	272
Данг С.В., Ибадов А.А. Исследование процесса удаления влаги из загрязненного трансформаторного масла в прямоугольных сепараторах.	275

Дмитриев В.А., Юсупов А.Б. Отвод низкопотенциального тепла от оборотной воды в струйно-барботажных контактных элементах.	277
Зинуров В.Э., Семенова Ю.О., Файзрахманов И.Д. Повышение эффективности процесса газоочистки в технологических процессах города Казани.	280
Зинуров В.Э., Хайрутдинова А.И. Интенсификация отвода низкопотенциального тепла от оборотной воды в вентиляторных градирнях.	283
Имамиева З.Р., Бадретдинова Г.Р., Галиев А.А., Григорьева М.О. Повышение эффективности разделения водонефтяной эмульсии в сепараторе.	287
Медведева П.В., Хайрутдинов М.А. Математическая модель термически возбуждаемых пульсационных колебаний газа в цилиндрической трубе.	289
Медведева П.В., Хайрутдинова А.И. Модели горения.	292
Мирсалихов Р.С., Зинуров В.Э., Григорьева М.О. Рассмотрение нестационарной задачи при полимеризации и прогреве материала.	296
Нагуманов А.Р. Двигатель для перспективного сверхзвукового пассажирского авиалайнера.	299
Нгуен Ву Л., Григорьева М.О. Исследование процесса очистки газового потока прямоугольным сепаратором при различных толщинах двутавровых элементов.	307
Тишаков А.А. Численно-аналитический тепловой расчёт химического реактора.	310
Хафизова А.И. Теплообмен в струйно-пленочных контактных устройствах.	318
Хусаинов Р.Р., Яфизов Р.Р. Исследование гидродинамики в пористых средах различной геометрии.	321
Чугунов А.А., Хайрутдинова А.И. Разработка камеры сгорания с газогорелочным устройством фирмы POLIDORO PREMIX.	324

Секция 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

Арефьев И.И., Калайда М.Л., Абдрахманов И.К. Особенности выращивания молоди стерляди в условиях бассейнового содержания.	327
Ашрафзянова А. А., Калайда М. Л. Оценка качества сточных вод на АО «ЗВКС».	331
Бабикина В.В., Хамитова М.Ф. Особенности фитопланктонного сообщества водоема парковой зоны «Озеро Харовое».	338

Гордеева М.Э., Ахмерова Л.Р. Оценка роста культуры клеток цианобактерий при разных способах культивирования.	342
Гордеева М.Э., Дёмина К.И. Концентрация азотистых соединений в воде как важный мониторинговый показатель при оценке качества воды в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ).	345
Калайда А.А., Абдрахманов И.К., Калайда М.Л. Опыт применения симетикон-содержащих лекарств при лечении тимпани у молоди осетровых рыб.	348
Калайда М.Л., Цыганов Р.А. Управление концентрацией азотсодержащих веществ в среде установок замкнутого цикла водообмена при выращивании стерляди.	352
Калайда А.А. Влияние энтеросорбентов на окисление витамина С.	356
Костина Л.М., Гибадуллина Х.В. Источники и последствия загрязнения природных вод.	366
Матылицкая Е.Ю., Говоркова Л.К. Контроль качества водной среды при выращивании осетровых в установке с замкнутым циклом водооборота.	371
Пиганов Е.С., Хамитова М.Ф., Калайда М.Л. Искусственное воспроизводство африканского клариевого сома на базе кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура».	377
Садыкова Л.Н. Особенности роста молоди австралийских красноклешневых раков.	380

Научное издание

XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ»

23–26 апреля 2019 г.

Материалы конференции

В трех томах

Том 2

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Часть 2

*Под общей редакцией ректора КГЭУ
Э. Ю. Абдуллазянова*

Корректор О.В. Соловьева
Компьютерная верстка и дизайн обложки Ю.Ф. Мухаметшина

Подписано в печать 18.10.2019
Формат 60×84/16. Бумага ВХИ. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 22,72. Уч.-изд. л. 17,48. Тираж 500 экз. Заказ № 5171

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО «КГЭУ»
420066, Казань, Красносельская, 51