



ИНТЕР РАО
ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИЯ



V Всероссийская
научно-практическая конференция
**«Проблемы и перспективы развития
электроэнергетики и электротехники»**,
посвященная 55-летию КГЭУ

11-12 октября 2023 г. Казань

Материалы конференции

В двух томах

Том II

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

V ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
(С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ) КОНФЕРЕНЦИЯ,
ПОСВЯЩЕННАЯ ПРАЗДНОВАНИЮ 55-ЛЕТИЯ КГЭУ
«ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

11–12 октября 2023 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

В двух томах

Том 2

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова

Казань
2023

УДК 621.3
ББК 31.2
П78

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «КГЭУ» *И.В.Ившин*,
доктор технических наук, профессор филиала ФГБОУ ВО «УГНТУ»
в г. Салавате *Р.Г.Вильданов*

Редакционная коллегия:

Э.Ю.Абдуллазянов (гл.редактор), И.Г.Ахметова, Р.Р. Гибадуллин,
В.Р. Иванова

П78 **V Всероссийская научно-практическая (с международным участием) конференция, посвященная празднованию 55-летия КГЭУ: «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники»:** матер. конф. (Казань, 11–12 октября 2023 г.): в 2 т. / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2023. – Т. 2. – 358 с.

ISBN 978-5-89873-643-9 (т. 2)

ISBN 978-5-89873-644-6

В сборнике представлены материалы V Всероссийской научно-практической (с международным участием) конференции, посвященной празднованию 55-летия КГЭУ «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники» по следующим научным направлениям:

1. Проектирование и эксплуатация объектов электроэнергетики.
2. Энерго-и ресурсосбережение промышленных и коммунальных предприятий.
3. Энергосиловое оборудование, электропривод и автоматизация.
4. Малая энергетика, возобновляемые источники энергии, светотехника.
5. Перспективы развития электроэнергетики.

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

Ответственность за содержание материалов докладов возлагается на авторов.

УДК 621.3
ББК 31.2

ISBN 978-5-89873-643-9 (т. 2)
ISBN 978-5-89873-644-6

© Казанский государственный
энергетический университет, 2023

Секция 4. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, СВЕТОТЕХНИКА

УДК 621.311.243

ЗАВИСИМОСТЬ ПЕРИОДА ОКУПАЕМОСТИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ОТ ВЫБОРА РЕГИОНА УСТАНОВКИ

Абреев Кирилл Андреевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
abdreev.kirill@mail.ru

Аннотация: очевидно, что в более жарких регионах, использование солнечных батарей целесообразнее. Однако, не совсем ясно, от каких именно параметров зависит экономическая эффективность использования солнечных батарей в тех или иных регионах. И на сколько сильно будет варьироваться период окупаемости солнечных батарей. Для ответа на эти вопросы и был проведён расчёт солнечных батарей с размещением в трёх разных городах: Москве, Краснодаре и Асуане.

Ключевые слова: солнечные батареи, время окупа, часы солнцестояния, солнечная радиация, период окупаемости, средняя дневная сумма солнечной радиации.

DEPENDENCE OF THE PAYBACK PERIOD OF SOLAR PANELS ON THE CHOICE OF INSTALLATION LOCATION

Kirill Andreevich Abdreev
FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
abdreev.kirill@mail.ru

Abstract: obviously, in hotter regions, the use of solar panels is more appropriate. However, it is not entirely clear on which parameters the economic efficiency of using solar panels in certain regions depends. And how much the payback period of solar panels will vary. To answer these questions, the calculation of solar panels was carried out with placement in three different cities: Moscow, Krasnodar and Aswan.

Keywords: solar panels, payback time, solstice hours, solar radiation, payback period, average daily amount of solar radiation.

Возобновляемая энергетика с каждым годом становится всё более конкурентоспособной с традиционными источниками энергии, это является следствием развития технологий и удешевления систем возобновляемой энергетике. Причиной большого внимания к данному направлению является увеличивающаяся экологическая проблема планеты. Солнечная энергия является одним из видов возобновляемой энергии, однако, как и присуще всем возобновляемым источникам, она не однородна и зависит от ряда параметров. В первую очередь от расположения на поверхности планеты, так как солнце освещает планету неравномерно. Выявление

зависимости расположения солнечных станций от времени окупа и является целью данной работы.

Для расчёта возьмём 3 города. Москва, Краснодар, Асуан. Выберем их, так как Москва имеет обычные для Европы значения солнечного излучения, Краснодар один из самых солнечных городов России, а Асуан один из самых солнечных городов мира. Для простоты расчёта возьмём потребителя, потребление электроэнергии которого гораздо больше производимого электростанцией, то есть энергию не нужно аккумулировать. Площадь поверхности солнечных батарей будет составлять 1 гектар.

Часов солнцестояния в год в Москве 1731. В следствии этого средняя дневная сумма солнечной радиации равна $2,72 \text{ кВт} \times \text{ч}/\text{м}^2$ [1, 2]. В год это будет $993 \text{ кВт} \times \text{ч}/\text{м}^2$. Мощность, которой должна будет обладать батарея будет равна:

$$P_{\text{мин.батареи}} = \frac{P_{\text{солн.рад.в год}}}{n_{\text{дней солнцестояния}}} = \frac{993}{1731} = 0,573657 \text{ кВт}/\text{м}^2$$

Выберем батареи NVL-440/НТ. Их мощность будет составлять 440 Вт, однако это мощность цепи, учитывая КПД 19,62% и линейные размеры 2134x1051 мм, можно определить удельную максимальную мощность этих солнечных батарей. [3]

$$P_{\text{макс.батареи NVL}} = \frac{P_{\text{одной батареи}}}{\eta_{\text{батареи}} \times a \times b} = \frac{440}{0,1962 \times 2,134 \times 1,051} = 998,9 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

То есть мощность наших батарей больше минимальной необходимой. Число батарей будет равно:

$$n_{\text{батареи}} = \frac{S_{\text{всех батарей}}}{S_{\text{одной батареи}}} = \frac{S_{\text{всех батарей}}}{a \times b} = \frac{10000}{2,134 \times 1,051} = 4459 \text{ шт}$$

Общая мощность, получаемая с гектара за год, будет равна:

$$P_{\text{гектара}} = P_{\text{солн.в год}} \times S_{\text{всех батарей}} \times \eta_{\text{батареи}} = 993 \times 10000 \times 0,1962 = 1,95 \text{ ГВт} \times \text{ч}$$

Произведём расчёт для Краснодара. Часов солнцестояния в год в Краснодаре 2139. Вследствие этого средняя дневная сумма солнечной

радиации равна $4 \text{ кВт} \times \text{ч}/\text{м}^2$ [1, 4]. В год это будет $1460 \text{ кВт} \times \text{ч}/\text{м}^2$. Мощность, которой должна будет обладать батарея будет равна:

$$P_{\text{мин.батареи}} = \frac{P_{\text{солн.рад.в год}}}{n_{\text{дней солнестояния}}} = \frac{1460}{2139} = 0,68 \text{ кВт}/\text{м}^2$$

Нам подходят те же батареи, соответственно и их число останется 4459 шт. Тогда общая мощность с гектара:

$$P_{\text{гектара}} = P_{\text{солн.в год}} \times S_{\text{всех батарей}} \times \eta_{\text{батареи}} = 1460 \times 10000 \times 0,1962 = 2,86 \text{ ГВт} \times \text{ч}$$

Произведём расчёт для Асуана, где часов солнцестояния в год 4000. Средняя дневная сумма солнечной радиации $6,34 \text{ кВт} \times \text{ч}/\text{м}^2$, или $2314 \text{ кВт} \times \text{ч}/\text{м}^2$ в год [1, 5]. Тогда:

$$P_{\text{мин.батареи}} = \frac{P_{\text{солн.рад.в год}}}{n_{\text{дней солнестояния}}} = \frac{2314}{4000} = 0,57 \text{ кВт}/\text{м}^2$$

Нам так же подходят те же батареи. Общая мощность с гектара:

$$P_{\text{гектара}} = P_{\text{солн.в год}} \times S_{\text{всех батарей}} \times \eta_{\text{батареи}} = 2314 \times 10000 \times 0,1962 = 4,54 \text{ ГВт} \times \text{ч}$$

Общие затраты на солнечные батареи будут одинаковы во всех 3-х расчётах, так как число и сами аккумуляторы одни и те же (стоимость батареи 25490 рублей):

$$C_{\text{на батареи}} = C_{\text{батареи}} \times n_{\text{батареи}} = 25490 \times 4459 = 113 \text{ млн руб.}$$

Осталось посчитать время окупа:

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{C_{\text{на батареи}}}{P_{\text{гектара}} \times C_{\text{электроэнергии}}}$$

Стоимость электроэнергии возьмём равной 5 рублям. Тогда в Москве такая система окупится за 11.6 лет, в Краснодаре за 7.9 лет, а в Асуане за 5 лет. Эти числа примерные, так как не учитывают инфляцию и остальное оборудование, однако они дают представление о ток,

насколько сильно разнится время окупаемости солнечных батарей в зависимости от места их размещения. Так же становится более понятно насколько не используется полная мощность солнечных батарей даже в условиях Египта. [6, 7]

Список литературы

1. База климатических данных RETScreen – URL: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465> (дата обращения 16.05.2023).

2. Солнечный модуль HVL-440/HJT – URL: <https://www.hevelsolar.com/catalog/solnechnye-moduli/hvl-440hjt/> (дата обращения 16.05.2023).

3. 10 самых солнечных городов России – URL: <https://spasibovsem.ru/ratings/interesnoe/10-samyh-solnechnyh-gorodov-rossii/> (дата обращения 16.05.2023).

4. Station Aswan. Meteo Climat. – URL: <http://meteo-climat-bzh.dyndns.org/index.php?page=stati&id=532> (дата обращения 16.05.2023).

5. Агзамов М. Ф. Моделирование системы электроснабжения для анализа условий перспективного развития отдельной территории / Агзамов М. В., Хакимзянов Э. Ф., Гибадуллин Р. Р. // ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022 «ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ» / КГЭУ – Казань, 2022. – С. 167– 169.

6. Шагаев О. Ф. Расчет электроснабжения лебединского гока от полупроводниковых солнечных панелей // Научный вестник московского государственного горного университета – Москва, 2012 - №. 4 - С. 90-95.

УДК 621.311.243

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ЧАСТИЧНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА

Абдреев Кирилл Андреевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
abdreev.kirill@mail.ru

Аннотация: при проектировании солнечных батарей, большую часть стоимости составляют аккумуляторные батареи, которые значительно увеличивают срок окупаемости оборудования. Отказ от них, и использование в дефицитное время энергии единой энергосистемы способно значительно увеличить экономическую целесообразность использования солнечных батарей. Однако, в таком случае возникает проблема сброса лишней энергии, так как не всегда потребляемая энергия расходуется

сразу, например в жилом секторе, большая часть потребления энергии приходится в утреннее и вечернее время. Промышленные заводы потребляют энергию в светлое время суток, во время максимальной эффективности солнечных батарей. Помимо этого, электроэнергия его гораздо дороже, чем у жилого сектора. Этот факт способен ещё сильнее повысить актуальность солнечных систем.

Ключевые слова: солнечные батареи, время окупа, Красноярский алюминиевый завод.

ECONOMIC FEASIBILITY OF USING SOLAR PANELS FOR PARTIAL POWER SUPPLY OF AN ALUMINUM PLANT

Kirill Andreevich Abdreev
FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
abdreev.kirill@mail.ru

Abstract: when designing solar panels, most of the cost is made up of rechargeable batteries, which significantly increase the payback period of the equipment. The rejection of them, and the use of the energy of the unified energy system in a short time can significantly increase the economic feasibility of using solar panels. However, in this case, there is a problem of dumping excess energy, since the energy consumed is not always consumed immediately, for example in the residential sector, most of the energy consumption occurs in the morning and evening. Industrial plants consume energy during daylight hours, during the maximum efficiency of solar panels. In addition, its electricity is much more expensive than that of the residential sector. This fact can further increase the relevance of solar systems.

Keywords: solar panels, payback time, Krasnoyarsk Aluminum Plant.

Потребление электроэнергии растёт с каждым годом, вместе с технологическим развитием. Мощности заводов превышают гигаватты электроэнергии. Что в купе с использованием ископаемых источников энергии усугубляет экологическую ситуацию и истощает запасы ресурсов земли. Огромные площади заводов представляются перспективными для использования на них солнечных батарей. Это могло бы уменьшить потребление ископаемого топлива и, возможно, сократить расходы на электроэнергию. Так же, в отличии от жилого сектора, мощности промышленного используются в основном в светлое время суток. В связи с этим, в статье будет рассмотрена эффективность использования солнечных батарей для электроснабжения алюминиевого завода. [1]

Возьмём для расчёта Красноярский алюминиевый завод. Он способен производить до 1 млн. тонн алюминия в год. На производство 1 кг алюминия в среднем затрачивается 16 кВт × ч электроэнергии, то есть завод потребляет 16×10^{12} Вт × ч энергии в год. Если завод работает круглый год, 9 часов в сутки, тогда он будет потреблять до 4870 МВт × ч энергии. Говорится, что завод питается от Красноярской ГЭС и потребляет до 70% производимой ею энергии. То есть около 4200 МВт × ч энергии, что вполне согласуется с рассчитанными выше данными [2, 3, 4].

Общая площадь завода составляет 449,1 га, участок расположения производственных объектов имеет площадь 257,53 га. Под солнечные батареи можно использовать как крыши зданий так и не используемые участки земли. Из общей территории выберем для размещения солнечных батарей 150 га. Из них около 30% будут находиться в теневой части солнечных батарей, поэтому площадь солнечных батарей составит 100 га. Выберем солнечные батареи HVL-445/НТ. Их линейные размеры будут составлять 2134 на 1051 мм или 2,232834 м² [5]. Число батарей составит:

$$n_{\text{батарей}} = \frac{S_{\text{участка}}}{S_{\text{батареи}}} = \frac{100 \times 10^4}{2,232834} = 445865 \text{ шт}$$

Общая мощность батарей будет равна:

$$P_{\text{всех батарей}} = P_{\text{батареи}} \times n_{\text{батарей}} = 445 \times 445865 = 1,9841 \times 10^8 \text{ Вт}$$

Продолжительность дня в Красноярске длится от 7 до 17 часов, возьмём среднее – 12 часов. Так как наши батареи не восполняют всю необходимую потребность в электроэнергии завода и работают вместе с заводом в солнечное время суток, тогда вся отдаваемая солнечными батареями электроэнергия будет полностью потребляться. Поэтому не будет возникать лишняя электроэнергия, которую необходимо было бы запасать либо сбрасывать. Тогда общая производимая солнечными батареями в год энергия равна:

$$P_{\text{батарей в год}} = P_{\text{всех батарей}} \times k_{\text{в год}} \times k_{\text{в сутки}}$$

$k_{\text{в год}}$ – число дней работы в год, $k_{\text{в сутки}}$ – среднее число часов работы в день. В Красноярске в среднем около 160 солнечных и 96 облачных дней, то есть 256 дней с достаточно высоким солнечным излучением.

$$P_{\text{батарей в год}} = 1,9841 \times 10^8 \times 256 \times 12 = 609,5 \times 10^9 \text{ Вт} \times \text{ч}$$

Стоимость одной батареи HVL-445/НТ составляет 25790 рублей. Общая стоимость батарей составит:

$$C_{\text{всех батарей}} = n_{\text{батарей}} \times C_{\text{батареи}} = 445865 \times 25790 = 11,5 \text{ млрд руб}$$

Если электроэнергию, которую в теории могут создавать солнечные батареи закупать по цене ($c_{\text{электроэнергии}}$) 5,25 рублей за кВт × ч (минимум

для промышленных предприятий Красноярска) [8]. Тогда за год затраты составят:

$$C_{\text{за год}} = P_{\text{в год}} \times C_{\text{электроэнергии}} = 0,6095 \times 10^9 \times 5,45 = 3,2 \text{ млрд рублей.}$$

Тогда время окупа батарей будет составлять:

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{C_{\text{всех батарей}}}{C_{\text{за год}}} = 3,6 \text{ лет.}$$

Такое быстрое время окупа объясняется, во первых, максимально эффективным использованием электроэнергии, то есть потребитель является большим, и любой сколь угодно большой сгенерированный объём электроэнергии идет на его нужды. Что помимо избавления от затрат на аккумуляторы, так же избавляет и от потерь в них. Во вторых, в расчёте не учтены затраты на конверторы, соединительные линии и контроллеры. Однако, даже не смотря на это, время окупа является очень коротким, что говорит не просто о экологичной целесообразности использования солнечных батарей, но и о прибыльности, так как после полного окупа, солнечные батареи будут работать как бесплатный источник энергии.

Список литературы

1. Агзамов М. Ф.. Моделирование систем электроснабжения для улучшения качества электроэнергии отдельной территории / Агзамов М. В., Симонов М. Н., Хакимзянов Э. Ф., Гибадуллин Р. Р., Галиев Р. А. // ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021 «ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ» / КГЭУ – Казань, 2021. – С. 77– 82.

2. Особенности и ведущие факторы производства алюминия – URL: <https://beelead.com/osobennost-proizvodstva-alyuminiya/> (дата обращения 16.05.2023).

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА намечаемой деятельности АО «РУСАЛ Красноярск» «Красноярский алюминиевый завод. Экологическая реконструкция» – URL: http://www.admkrsk.ru/citytoday/ecology/SiteAssets/Pages/inform/Предварительная%20оценка_КРАЗ.pdf (дата обращения 16.05.2023).

4. Хевел, группа компаний, Солнечный модуль HVL-445/HJT – URL: <https://www.hevelsolar.com/catalog/solnechnye-moduli/hvl-445hjt/> (дата обращения 16.05.2023).

5. Тарифы на электроэнергию для средних предприятий – URL: <https://time2save.ru/tarify-na-elektroenergiu-dlya-srednih-predpriyatiy> (дата обращения 16.05.2023).

УДК 620.92

РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Антипов Александр Сергеевич
КГЭУ, г. Казань
al.antipov13@mail.ru

Аннотация: в данной статье исследуется развитие и применение солнечных батарей в малой энергетике. Указываются преимущества солнечных батарей, а также применение солнечных батарей в светотехнике.

Ключевые слова: солнечные батареи, малая энергетика, возобновляемые источники энергии, светотехника, энергоэффективность, устойчивое развитие.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF SOLAR PANELS IN SMALL-SCALE ENERGY

Antipov Alexandr Sergeevich
¹FSBEI HE KSPEU, Kazan
al.antipov13@mail.ru

Abstract: the article explores the development and application of solar panels in small-scale energy systems. It highlights the advantages of solar panels and their use in lighting systems.

Keywords: solar panels, small-scale energy systems, renewable energy sources, lighting technology, energy efficiency, sustainable development.

В современном мире стремление к энергоэффективности и устойчивому развитию становится все более актуальным. Одним из ключевых направлений в этой сфере является использование возобновляемых источников энергии, среди которых особое место занимает солнечная энергия. Солнечные батареи, преобразующие солнечный свет в электрическую энергию, играют важную роль в развитии малой энергетике и светотехники.

1. Преимущества солнечных батарей в малой энергетике:

а) Экологическая чистота и устойчивость: - Отсутствие выбросов вредных веществ и углекислого газа - Сокращение негативного воздействия на окружающую среду

б) Независимость от традиционных энергетических сетей: - Возможность обеспечения электричеством в удаленных и недоступных

районах - Сокращение риска отказа энергосистемы и сбоев в энергопоставках

в) Экономическая выгода и долгосрочная прибыльность: - Снижение энергозатрат и расходов на электричество - Возможность получения прибыли от избытка солнечной энергии через ее продажу или обмен

Технологические инновации в области солнечной энергетики приводят к улучшению эффективности и применению солнечных батарей в малой энергетике. Некоторые из этих инноваций включают:

1) Продвижение эффективности солнечных батарей: Новые материалы и технологии используются для повышения преобразования солнечной энергии в электрическую. Развиваются тонкие пленочные и многокристаллические солнечные батареи с высокой эффективностью.

2) Развитие хранения энергии: Применение аккумуляторных систем позволяет хранить избыточную солнечную энергию и использовать ее в периоды недостатка солнечного света. Ведутся исследования по разработке более эффективных и долговечных систем хранения энергии.

3) Улучшение интеграции с другими источниками энергии: развиваются гибридные системы, которые объединяют солнечные батареи с другими возобновляемыми источниками энергии, такими как ветряные турбины или гидроэнергетика. Также происходит интеграция сетевых технологий для эффективного использования и управления различными источниками энергии.

Применение солнечных батарей в светотехнике также имеет большое значение:

1) Освещение уличных и общественных пространств: Солнечные батареи могут обеспечивать энергоснабжение уличных фонарей, световых указателей и рекламных конструкций. Это снижает затраты на энергию и обеспечивает более безопасную и эффективную систему освещения.

2) Солнечные системы освещения в жилых и коммерческих зданиях: Внедрение солнечных батарей в системы внутреннего и наружного освещения зданий позволяет уменьшить потребление электричества и сократить зависимость от традиционных сетей электропитания.

3) Развитие и применение солнечных батарей в малой энергетике открывает новые возможности: Расширение доступа к электричеству: Солнечные батареи позволяют обеспечить электричеством удаленные и недоступные районы, где проведение традиционных электрических линий нецелесообразно или дорого. Это особенно важно для развивающихся стран и отдаленных сельских районов.

4) Устойчивое энергоснабжение: Солнечные батареи обеспечивают независимость от традиционных энергетических сетей, что снижает риск

отказа энергосистемы и сбоев в энергопоставках. В случае непредвиденных ситуаций или аварий, солнечные батареи могут быть важным источником резервного электропитания.

5) Экономическая выгода: Внедрение солнечных батарей позволяет сократить энергозатраты и расходы на электричество в долгосрочной перспективе. Владельцы солнечных систем могут получать прибыль от избытка солнечной энергии через ее продажу или обмен, благодаря системам поддержки для вознаграждения за производство возобновляемой энергии.

6) Экологическая чистота: Использование солнечных батарей не приводит к выбросу вредных веществ или углекислого газа в окружающую среду. Это содействует снижению негативного воздействия на климат и улучшению качества воздуха.

7) Социальные выгоды: Внедрение солнечных батарей в малой энергетике способствует улучшению качества жизни людей, предоставляя им доступ к электричеству для освещения, образования, здравоохранения и коммуникации. Это также способствует развитию местного предпринимательства и созданию новых рабочих мест в сфере возобновляемой энергетики.

В заключение, развитие и применение солнечных батарей в малой энергетике имеет значительный потенциал для снижения зависимости от ископаемых топлив и перехода к устойчивым источникам энергии. Они обладают множеством преимуществ, таких как экологическая чистота и независимость от традиционных энергетических сетей. Однако, следует учитывать и некоторые недостатки солнечных батарей в малой энергетике. Их зависимость от солнечной активности ограничивает их способность непрерывно обеспечивать энергией в течение 24 часов. Высокие изначальные затраты на установку могут быть препятствием для их широкого распространения. Ограниченная мощность хранения также ограничивает их способность обеспечить энергией на длительный период.

Необходимо учитывать эти недостатки при разработке и внедрении солнечных батарей в малой энергетике. Технологические инновации и улучшение эффективности батарей могут помочь преодолеть эти ограничения. Более широкое использование солнечных батарей в малой энергетике потребует дальнейших исследований, инвестиций и поддержки со стороны правительств и промышленности.

В целом, солнечные батареи представляют собой обнадеживающую и экологически чистую альтернативу в малой энергетике. С их помощью

можно снизить зависимость от ископаемых топлив, уменьшить выбросы парниковых газов и обеспечить устойчивое энергетическое будущее. Несмотря на некоторые ограничения, солнечные батареи остаются важным элементом энергетической трансформации и стимулируют инновации в этой области.

Списки литературы

1. Kawamura T, et al. Analysis of MPPT characteristics in photovoltaic power systems. Solar Energy Materials and Solar Cells, Proceedings of the 1996 9th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, PVSEC-9 1997; 47(14): 155–165.
2. Кашкаров А.П. Аккумуляторы: Справочное пособие. – М.: ИП РадиоСофт, 2014. – 192 с.: ил.
3. Правила устройства электроустановок / 7-е изд. М.: Издательство Моркнига, 2016. 576 с.
4. Enslin JHR, Wolf M, Swiegers W. Integrated photovoltaic maximum power point tracking converter // IEEE Transactions on Industrial Electronics 1997; 44(6): 769–773.
5. Хрусталева Д.А. Аккумуляторы. – М.: Изумруд, 2003. – 224 с.: ил.

УДК 620.9.504

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

¹Аптрашитов Данис Сагитуллович, ²Рудаков Александр Иванович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан,
rud-38@mail.ru , badanovkostya@gmail.com

Аннотация: в данной статье рассматриваются перспективные направления развития гидроэнергетики в условиях изменения климата. Актуальность темы обусловлена необходимостью перехода на возобновляемые источники энергии для снижения выбросов парниковых газов и уменьшения негативного влияния на окружающую среду. В работе проанализированы технологические и экономические аспекты гидроэнергетики, учитывая последствия изменения климата и возможности использования новых материалов и технологий. Описаны опыт и перспективы развития гидроэнергетики в различных регионах мира. Результаты исследования могут быть использованы для разработки стратегий развития гидроэнергетики, способствующих экологической устойчивости и энергетической безопасности.

Ключевые слова: гидроэнергетика, изменение климата, возобновляемые источники энергии, технологические аспекты, энергетическая безопасность.

ANALYSIS OF PROMISING AREAS OF HYDROPOWER DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

¹Aprashitov Danis Sagitulloevich, ²Rudakov Alexander Ivanovich
FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan,
rud-38@mail.ru , badanovkostya@gmail.com

Abstract: this article discusses promising areas for the development of hydropower in the context of climate change. The relevance of the topic is due to the need to switch to renewable energy sources to reduce greenhouse gas emissions and reduce the negative impact on the environment. The paper analyzes the technological and economic aspects of hydropower, taking into account the effects of climate change and the possibility of using new materials and technologies. The experience and prospects of hydropower development in various regions of the world are described. The results of the study can be used to develop strategies for the development of hydropower, contributing to environmental sustainability and energy security.

Keywords: hydropower, climate change, renewable energy sources, technological aspects, energy security.

В условиях изменения климата развитие гидроэнергетики становится все более актуальной темой. Гидроэнергетика является одним из основных источников возобновляемой энергии, которая позволяет снизить уровень выбросов парниковых газов и сократить зависимость от традиционных источников энергии. В данной статье будет проанализирован текущий статус гидроэнергетики и перспективные направления ее развития в условиях изменения климата. Основной акцент будет сделан на технологических инновациях, мероприятиях по экологической безопасности и управлению рисками в гидроэнергетике.

[1] Перспективы развития гидроэнергетики в условиях изменения климата обусловлены необходимостью диверсификации источников энергии и снижения воздействия на окружающую среду. Однако, изменение климата может оказать существенное влияние на гидроэнергетический сектор, в том числе на гидрологический режим рек, приводя к нестабильности объемов водных ресурсов и изменению топографии рек.

Одной из перспективных направлений развития гидроэнергетики в условиях изменения климата является увеличение использования гидроэнергии в малых и мини гидроэлектростанциях (МГЭС). [2] Это позволяет снизить риски, связанные с изменением климата и улучшить устойчивость системы электроснабжения.

Кроме того, современные технологии в области гидроэнергетики, такие как технологии электрического накопления энергии, создание

гибридных систем, могут дополнительно увеличить эффективность и надежность гидроэнергетических установок [3].

В условиях изменения климата одним из перспективных направлений развития гидроэнергетики является повышение эффективности существующих гидроэлектростанций и строительство новых с применением современных технологий и материалов. В этом контексте актуальным становится исследование применения различных видов турбин, в том числе турбин с переменной геометрией лопаток и гидроаккумуляторных электростанций.

Турбины с переменной геометрией лопаток позволяют регулировать режим работы гидроэлектростанции в зависимости от изменения потока воды. Они способны обеспечить более высокую эффективность при различных режимах работы и обладают большей устойчивостью к перегрузкам. [4] Гидроаккумуляторные электростанции, в свою очередь, представляют собой системы, позволяющие сохранять энергию воды на периоды пикового спроса на электроэнергию и использовать ее в более спокойные периоды. Такой подход позволяет не только повысить эффективность работы гидроэлектростанций, но и снизить нагрузку на сеть в периоды пикового спроса.

Еще одним направлением развития гидроэнергетики в условиях изменения климата является использование возобновляемых источников энергии в сочетании с гидроэнергетикой. Например, гибридные системы, включающие в себя гидроэлектростанции и солнечные или ветровые электростанции, позволяют обеспечивать постоянное производство электроэнергии, даже при изменении погодных условий.

Важным аспектом при разработке перспективных направлений развития гидроэнергетики является учет экологических последствий. Существует необходимость снижения негативного воздействия гидроэлектростанций на окружающую среду, в том числе на водные и земные экосистемы. В этом контексте актуальным становится исследование технологий, позволяющих уменьшить влияние гидроэлектростанций на биологическое разнообразие и восстановить экологическую устойчивость водных экосистем. Одним из перспективных направлений является развитие гидроэнергетических систем с использованием малой и микро-мощности, что позволит уменьшить потребность в создании крупных гидроэлектростанций с большими водохранилищами. Кроме того, важным аспектом является использование технологий, позволяющих использовать энергию воды более эффективно, например, установка гидротурбин с переменной геометрией лопаток или использование технологии плавного пуска и остановки гидротурбин [5].

Несмотря на перспективность развития гидроэнергетики в условиях изменения климата, следует учитывать ряд вызовов и ограничений, таких как сложность оценки изменений гидрологического режима рек, экономические затраты на строительство гидроэнергетических установок, а также негативное влияние на окружающую среду.

Однако, эти ограничения могут быть преодолены с помощью современных инновационных решений и комплексных подходов к управлению гидроэнергетическими системами.

В заключение, анализ перспективных направлений развития гидроэнергетики в условиях изменения климата подтверждает возможность использования этого источника энергии в будущем. Тем не менее, необходимо учитывать изменения климата и сопутствующие экологические последствия при выборе места строительства гидроэлектростанций. Развитие экологически безопасных технологий и оптимизация процесса взаимодействия гидроэлектростанций с окружающей средой могут значительно снизить негативное воздействие на экосистемы и увеличить эффективность использования гидроэнергии. Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что перспективы развития гидроэнергетики в условиях изменения климата связаны с необходимостью использования инновационных технологий и учетом экологических аспектов.

Список литературы

1. Ильина Е.В. Энергетический потенциал гидроэнергетики России в условиях изменения климата. // Экология и промышленность России. - 2018. - № 9. - С. 48-53.

2. Шевелев А.И. Перспективные технологии гидроэнергетики. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2021. - Т. 68, № 2. - С. 33-39.

3. Леонтьев А.А., Кондратенко А.А., Горелов В.А. и др. Развитие гидроэнергетики в России: проблемы и перспективы. // Энергетика. - 2019. - № 6. - С. 3-10.

4. Бабенко А.Г., Бабенко В.А., Матвеева Л.Ю. и др. Инновационные технологии в гидроэнергетике. // Энергетика. - 2017. - № 11. - С. 24-30.

5. Лукьянчикова М.А. Энергетическая стратегия России и гидроэнергетика: анализ и перспективы развития. // Энергетические технологии и ресурсы XXI века. - 2020. - Т. 2, № 4. - С. 47-55.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТОДИОДОВ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ: ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Атласов Дмитрий Петрович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
mimimi1234543@mail.ru

Аннотация: статья о преимуществах использования светодиодов в энергосбережении. Они потребляют меньше энергии, долговечны и можно регулировать яркость и цвет свечения. Однако, из-за сложной технологии и высокой стоимости производства, цена на светодиоды выше, чем на традиционные источники света.

Ключевые слова: энергосбережение, светодиоды, долговечность, яркость, снижение затрат, источник света, экономичность.

THE UTILIZATION OF LEDS IN ENERGY SAVINGS: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Atlasov Dmitriy Petrovich
KSPEU, Kazan, Russia
mimimi1234543@mail.ru

Abstract: article about the advantages of using LED lights for energy efficiency. They consume less energy, are long-lasting, and the brightness and color of the light can be adjusted. However, due to the complex technology and high production cost, the price of LED lights is higher than traditional light sources.

Keywords: energy efficiency, LEDs, durability, brightness, cost reduction, light source, affordability.

В последнее время научно-технический прогресс шагнул далеко вперед и в области энергосбережения были созданы новые технологии, которые позволяют значительно снизить потребление энергии. Одной из таких технологий стало использование светодиодов.

Светодиоды, или светоизлучающие диоды, являются полупроводниковыми приборами, которые преобразуют электрическую энергию в световую. Их основным достоинством является низкий расход энергии при высокой яркости свечения. То есть они, в отличие от ламп накаливания, которые требуют нескольких сотен вольт, для работы светодиодов достаточно всего нескольких вольт. Это позволяет существенно сократить затраты на электроэнергию. Главная причина, почему светодиоды могут работать при низких напряжениях, заключается в их структуре. Структура светодиода включает в себя слои полупроводникового материала с различной электропроводностью (N-типа

и Р-типа). При прохождении тока через светодиод, электроны перемещаются из области N-типа в область Р-типа и испускают свет. Важно отметить, что для запуска этого процесса достаточно всего нескольких вольт. Ещё один фактор, который позволяет светодиодам работать при низких напряжениях, является их эффективность. Светодиоды генерируют свет более эффективно, чем обычные люминесцентные или галогенные лампы. Это означает, что меньше энергии тратится на нагревание и связанные с этим потери, что позволяет светодиодам работать при более низких напряжениях.

Одним из преимуществ использования светодиодов является их долговечность. Они способны работать несколько лет без замены, что существенно уменьшает затраты на обслуживание. Кроме того, светодиоды не содержат вредных материалов, таких как ртуть, которая присутствует в традиционных лампах накаливания и люминесцентных лампах. Также, у светодиодов низкий уровень тепловыделения: они не выделяют столько тепла, как традиционные источники света, что значительно снижает потребление электроэнергии при охлаждении помещения.

Следующим достоинством светодиодов является их возможность регулирования яркости и цвета свечения. Это позволяет создавать различные световые эффекты и адаптировать световой поток под различные задачи.

Еще одним важным преимуществом светодиодов является их экологичность. Они не выделяют ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, что делает их безопасными для здоровья человека и окружающей среды. Кроме того, светодиоды могут работать от альтернативных источников энергии, таких как солнечные панели, что позволяет сократить зависимость от традиционных источников электроэнергии и снизить вредное воздействие на окружающую среду.

Однако, несмотря на все вышеперечисленные достоинства, у светодиодов есть и некоторые недостатки. Так, из-за сложности технологии и высокой стоимости производства, цена на светодиоды выше, чем на традиционные источники света. Это может стать препятствием для их широкого использования в обычных бытовых условиях. Но это не самый большой минус, так как производители активно работают над снижением стоимости производства и совершенствованием в технологиях сборки. В итоге, в ближайшие годы мы, вероятно, увидим резкое снижение стоимости светодиодов и лампочек, что скажется на их распространенности во всем мире.

Также, несмотря на высокую яркость светодиодов, они могут иметь ограниченный угол освещения. Это может потребовать установки большего количества светодиодных ламп для достижения нужной освещенности.

В заключение можно сказать, что светодиоды - это инновационные технологии, которые с каждым годом становятся все более доступными и популярными. Их преимущества включают в себя экономию энергии, долговечность, экологичность, а также широкие возможности в использовании для дизайна и сценических эффектов. Свет будущего - это светодиодное освещение, которое способно не только экономить электроэнергию, но и создать уникальные световые композиции и повысить качество жизни людей.

Список литературы

1. Бугров В. Е., Виноградов К. А., Оптоэлектроника светодиодов. Санкт Петербург «Национальный исследовательский университет», 2013. С. 18-25
2. Шуберт Ф. Е., Светодиоды // Пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича - 2-е изд. – М.: ФИЗМАТ, 2008. С. 28-34
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1982. С. 264-280
4. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю.К., Козлов В.К., Гиниатуллин Р.А., Старостина Т.Ю. Определение характеристик трансформаторного масла спектральным методом // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т.13. № 1 (49). С. 37-41.
5. Основные преимущества перехода на светодиодные источники света. [Электронный ресурс]: информационная статья. – Режим доступа: <http://gbdou65.ru/svetodiodi/energospabjenie.html> (дата обращения: 18.05.2023).

УДК 62.681.5

РАСКРЫТИЕ ПОТЕНЦИАЛА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ГОРОДЕ КАЗАНЬ: ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

¹Баданов Константин Андреевич, ²Рудаков Александр Иванович
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан,
²rud-38@mail.ru , ¹badanovkostya@gmail.com

Аннотация: в последние десятилетия вопросы энергетической безопасности, изменения климата и устойчивого развития становятся все более актуальными. В этом

контексте возобновляемые источники энергии занимают центральное место в поиске альтернативных и экологически чистых источников энергии. В городе Казань, одном из ведущих региональных центров России, потенциал возобновляемых источников энергии имеет особую важность. В данной статье мы рассмотрим оценку этого потенциала и его перспективы для устойчивого развития города Казани.

Ключевые слова: возобновляемые источники, солнечная энергия, ветровая энергия, энергия биомассы, потенциал.

UNLEASHING THE POTENTIAL OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE CITY OF KAZAN: PERSPECTIVES FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

¹Badanov Konstantin Andreevich, ²Rudakov Alecksandr Ivanovich

^{1,2}Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan,

²rud-38@mail.ru , ¹badanovkostya@gmail.com

Abstract: in recent decades, the issues of energy security, climate change and sustainable development have become increasingly relevant. In this context, renewable energy is central to the search for alternative and clean energy sources. In the city of Kazan, one of the leading regional centers of Russia, the potential of renewable energy sources is of particular importance. In this article, we will consider the assessment of this potential and its prospects for the sustainable development of the city of Kazan.

Keywords: renewable sources, solar energy, wind energy, biomass energy, potential.

1. Потенциал солнечной энергии: Город Казань расположен в зоне с высокой солнечной активностью, что создает благоприятные условия для развития солнечной энергетики. Установка солнечных панелей на крышах зданий и использование солнечных батарей в городской инфраструктуре может значительно снизить зависимость от традиционных источников энергии и сократить выбросы парниковых газов [1].

2. Потенциал ветровой энергии: Казань также обладает значительным потенциалом ветровой энергии. Высокие скорости ветра в определенных районах города делают возможным установку ветрогенераторов для генерации электроэнергии. Ветропарки в сочетании с другими источниками энергии могут стать важным элементом энергетической инфраструктуры Казани [1].

3. Потенциал гидроэнергии: Потоки рек и водохранилища вокруг Казани предоставляют возможности для использования гидроэнергии. Малые гидроэлектростанции могут быть построены на реках и каналах, чтобы получать энергию из потока воды и обеспечивать электроснабжение в городе [2].

4. Потенциал биомассы: Биомасса, такая как отходы промышленности, сельского хозяйства и древесные отходы, представляет собой

ценный источник возобновляемой энергии в Казани. Организация специализированных заводов по производству биогаза или биотоплива может обеспечить не только энергетическую независимость, но и утилизацию отходов, что снизит негативное воздействие на окружающую среду и приведет к сокращению выбросов парниковых газов.

5. Перспективы для устойчивого развития: использование возобновляемых источников энергии в городе Казань не только позволит сократить выбросы углеродных газов и негативное воздействие на окружающую среду, но и создаст новые рабочие места и способствует экономическому развитию региона. Переход к зеленой энергетике также может привлечь инвестиции и содействовать развитию инновационных технологий. Однако, для полного раскрытия потенциала возобновляемых источников энергии в Казани необходимо преодолеть некоторые преграды. Важными факторами являются разработка и реализация подходящих правовых и финансовых механизмов, обучение специалистов, создание инфраструктуры и информационной базы, а также привлечение заинтересованных сторон, включая государственные органы, частный сектор и население.

Однако, для успешной реализации необходимо также учитывать следующие факторы:

1. Участие местного сообщества: Вовлечение и поддержка местного населения являются ключевыми факторами успеха. Необходимо организовать информационные кампании, общественные слушания и диалоги, чтобы обеспечить прозрачность и учет мнения жителей Казани. Это поможет создать широкую поддержку и понимание важности перехода к возобновляемым источникам энергии.

2. Экономическая эффективность: Развитие возобновляемой энергетики должно быть экономически обоснованным. Необходимо провести тщательный анализ стоимости проектов, оценить экономическую выгоду и рентабельность в долгосрочной перспективе. Привлечение инвестиций и создание благоприятного инвестиционного климата будут способствовать развитию проектов возобновляемой энергетики [5].

3. Сотрудничество с промышленными предприятиями: Крупные промышленные компании также играют важную роль в переходе к возобновляемой энергетике. Необходимо установить партнерство с промышленными предприятиями, поощрять их участие в проектах возобновляемой энергетики и стимулировать использование возобновляемых источников энергии в их производственных процессах [3].

4. Инновации и исследования: Поддержка и стимулирование научно-исследовательских работ и инноваций в области возобновляемой

энергетики являются важными факторами для развития этой отрасли. Необходимо создать условия для проведения исследований, разработки новых технологий и научных проектов, что поможет улучшить эффективность и экономическую конкурентоспособность возобновляемой энергетики в Казани [4].

Казань уже сделала определенные шаги в направлении развития возобновляемой энергетики. Например, в городе были установлены солнечные панели на крышах некоторых зданий и осуществляются экспериментальные проекты по использованию ветровой энергии. Однако для полного раскрытия потенциала возобновляемых источников энергии в Казани необходимо продолжить и усилить усилия.

Важным шагом в этом направлении является создание правовой и регуляторной базы, которая будет способствовать развитию возобновляемой энергетики и ускорить процесс ее внедрения. Государственные программы, субсидии и налоговые льготы для инвесторов в области возобновляемой энергетики могут стать сильными стимулами для развития этой отрасли [6].

В заключение, развитие возобновляемых источников энергии в городе Казань представляет огромный потенциал для достижения устойчивого и экологически чистого развития. Переход к возобновляемой энергетике способствует сокращению выбросов парниковых газов, охране природных ресурсов и улучшению качества окружающей среды.

Развитие возобновляемых источников энергии в Казани не только снизит зависимость от ископаемых топлив, но и создаст новые рабочие места, привлечет инвестиции и способствует экономическому росту региона. При этом важно учесть мнение и поддержку местного населения, а также обеспечить экономическую эффективность и инновационное развитие. Переход к возобновляемой энергетике - это долгосрочный процесс, который требует постоянных усилий и сотрудничества различных сторон. Однако его успешная реализация принесет множество выгод, включая экологическую, экономическую и социальную. Казань имеет все возможности стать ведущим городом в области возобновляемой энергетики и стать примером для других регионов.

Список литературы

1. А. Ю. Лаврик, Ю. Л. Жуковский, А. Ю. Лаврик, А. Д. Булдыско Особенности выбора оптимального состава ветро - солнечной электростанции с дизельными генераторами, 2020. Том 22 № 1. С.11-12

2. Кирпичникова И.М. Малюгина А.А. Оценка энергетической эффективности возобновляемой энергетики // Альтернативная энергетика и экология, 2015. Том 7-8. С.19-24.

3. Павлов, Д. В. Перспективы и проблемы водородной энергетики / Д. В. Павлов, А. Е. Сидоров // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : Материалы VII Национальной научно-практической конференции, Казань, 09–10 декабря 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 576-578.

4. F. Capitanescu and L. Wehenkel, “Experiments with the interior-point method for solving large scale Optimal Power Flow problems”, Electric Power Systems Research, vol. 95. С.24-27.

5. S. Al-Mimar, Integration of Solar and Wind Power at Lillgrundwind farm Wind Turbine Shadow Effect on Solar Farm at Lillgrund Wind Farm, Halmstad University, Halmstad, Sweden. С.10-13.

6. V. Khare 2016 "Solar–wind hybrid renewable energy system: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, vol. 58. С.23-33.

УДК 628.971

ОПТИМИЗАЦИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ОПОРАМИ ОСВЕЩЕНИЯ НА АВТОМАГИСТРАЛИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

¹Бережной Ярослав Анатольевич, ²Бадертдинова Дина Ранисовна
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹berezhnoy96@list.ru

Аннотация: обеспечение необходимого уровня освещенности дорожного полотна является условием безопасности всех участников транспортного движения. В статье обсуждается влияние различных факторов на освещенность автомобильных дорог и магистралей. В их число входят высота расположения осветительных приборов и интервал между опорами. Рассмотрены преимущества, которые дает использование светильников разного типа. Выяснено, что замена дуговых ртутных ламп на светодиодные позволит снизить затраты на освещение дорог благодаря возможности их более высокого расположения на опорах, увеличения расстояния между опорами, а также повышения освещенности.

Ключевые слова: светотехника, LED-светильники, дорожное освещение, автомагистраль, осветительные приборы, столбы освещения, горизонтальная освещенность.

OPTIMIZATION OF THE DISTANCE BETWEEN THE LIGHTING POLES ON THE HIGHWAY BY USING DIFFERENT LAMPS

¹Berezhnoy Yaroslav Anatolyevich, ²Badertdinova Dina Ranisovna
^{1,2}FSBEI HE "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan
¹berezhnoy96@list.ru

Abstract: ensuring the necessary level of illumination of the roadway is a condition for the safety of all participants in traffic. The article discusses the influence of various factors on the illumination of highways and motorways. These include the height of the lighting fixtures and the interval between the lighting poles. The advantages that the use of lamps of different types gives are considered. It was found out that replacing arc mercury lamps with LED lamps will reduce the cost of lighting roads due to the possibility of their higher location on supports, increasing the distance between supports, as well as increasing illumination.

Keywords: lighting engineering, LED lamps, road lighting, highways, lighting fixtures, lighting poles, horizontal illumination.

Согласно статистическим данным, количество жертв дорожно-транспортных происшествий в темное время суток увеличивается практически вдвое, при этом аварийность вне населенных пунктов составляет порядка 25 % [5]. На это оказывает влияние не только состояние водителей, обусловленное возможным наркотическим, алкогольным эффектом, усталостью, но и ухудшение условий видимости, изменяющее восприятие движущихся объектов, их габариты и дальность. Роль дорожного освещения, расположенного вдоль автомагистралей, также довольно значима, что обусловлено более высоким скоростным режимом транспорта, как следствие, сокращением необходимого времени реакции водителя и увеличением травмоопасности. В связи с этим актуальным является обсуждение условий освещенности на автомагистралях.

На качество освещенности влияет ряд факторов, среди которых: климатические условия, высота расположения источника света, расстояние между фонарными столбами, мощность используемых приборов [4].

В настоящее время требования к освещенности автомобильных дорог, расстоянию между опорами, а также методы расчета параметров яркости и освещенности отражены в методических рекомендациях, СНиП и ГОСТах.

Согласно ГОСТ Р 54305-2011 [2] средняя горизонтальная освещенность автомагистралей и скоростных дорог должна составлять не менее 20 лк, максимальная освещенность – не менее 30 лк. Критерии освещенности включают в себя также учет загруженности трассы и тип

автодороги. Автомагистраль представляет собой дорогу категории А, т.е. объект с наибольшей транспортной загруженностью и интенсивностью движения, а потому требования к качеству освещения магистральных автодорог наивысшие в сравнении с остальными дорожными объектами. При установке осветительных приборов важно не только обеспечить достижение определенного уровня освещенности, но и нивелировать слепящий эффект от фонарей.

Интенсивность освещения зависит от высоты опор осветительных приборов, расстояния (шага) между ними, а также от мощности источников света. Расстояние между опорами составляет в среднем 35-45м, в некоторых случаях этот показатель достигает 65 м. На расчет интервала между осветительными столбами влияет необходимое значение уровня освещенности, ширина дороги, высота расположения источника света, тип светильника, угол наклона, количество ламп на одной опоре: необходимо, чтобы световые конусы от расположенных рядом приборов освещения пересекались. При контроле соответствия нормативным значениям эти участки измеряются как наименее освещенные. Максимальное соотношение шага и высоты источников света должно составлять: 5 к 1 при одностороннем освещении, 7 к 1 – при шахматном.

Для расчета расстояния между опорами используется формула [7]:

$$F = \frac{L * K * \pi}{N},$$

где F – расстояние между источниками света, м; L – яркость дорожного покрытия (рассчитывается по ГОСТ 58107.1-2018 [3]), кд/м²; K – коэффициент накаливания лампы; N – коэффициент светового потока.

Однако в настоящее время все проектировочные мероприятия эффективнее проводить посредством программного обеспечения типа NanoCAD, DUALux, Lighd-in-Night Road и др. Это сокращает время на расчеты, минимизирует вероятные ошибки и позволяет учесть большее количество факторов.

Известно, что чем выше высота расположения светильников, тем шире раскрывается создаваемый ими световой пучок, но слабее освещенность [6]. Расположение же светильников на более низкой высоте сокращает покрываемую площадь и усиливает слепящий эффект. Благодаря появлению новых типов ламп, отличающихся улучшенными показателями мощности, экономичности, а также не оказывающих негативного влияния на зрение человека, можно:

1. улучшить показатели яркости и освещенности дорожного полотна;

2. располагать светильники на сравнительно высоком уровне и на дальнем расстоянии друг от друга, покрывая, таким образом, большую площадь дороги;

3. достичь экономического эффекта от снижения расходов на обеспечение автомагистрали сразу по трем параметрам: уменьшение количества необходимых лампочек, длительный срок службы, снижение затрат на оплату труда рабочих и эксплуатации техники по замене оборудования.

Таким образом, использование более мощных ламп позволяет увеличить расстояние между источниками света без потерь в нормируемой освещенности.

В рамках данной работы было проведено изучение влияния конструкции светильников на расстояние между осветительными опорами на автомобильной магистрали посредством компьютерного моделирования. В результате оценки светового потока светильников было выяснено, что конструкция светильников и расстояние между осветительными опорами существенным образом изменяют освещённость автомобильной магистрали, что подтверждает ранее выдвинутое предположение.

В настоящее время наиболее распространенными являются дуговые ртутные лампы (ДРЛ), светоотдача которых составляет 45-55 Лм/Вт, а срок службы варьируется в районе 10-15 тыс. часов. К их ключевым недостаткам следует отнести хрупкость и наличие токсичных веществ в составе. Альтернативным вариантом видится использование светодиодных ламп (LED), превосходящих ДРЛ по всем характеристикам: срок службы – до 80тыс. часов, светоотдача – до 150 Лм/Вт, прочность, устойчивость к широкому интервалу температур, отсутствие вредных компонентов. Некоторые авторы отмечают, что светодиодные светильники являются новым этапом в развитии светотехники, что обуславливается их экономичностью, экологичностью и безопасностью [1].

Резюмируя, следует сказать, что подбор оптимального расположения осветительных приборов на дороге не только обеспечивает экономическую выгоду и качество освещения, но и способствует снижению аварийности, что, несомненно, является более важным фактором в вопросах строительства и светотехники.

Список литературы

1. Востриков, А.Г. Современные взгляды на освещение автомобильных дорог / А.Г. Востриков, В.П. Подольский // Научные

исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники: сборник статей Международной научно-практической конференции (27 сентября 2019 г., г.Уфа). – Уфа: Аэтерна, 2019. – С.19-21. – EDN BZRFD0.

2. ГОСТ Р 54305-2011. Дороги автомобильные общего пользования. Горизонтальная освещенность от искусственного освещения. Технические требования. – Введ. 2011-09-01. – М.: Стандартиформ, 2019. – 5 с.

3. ГОСТ Р 58107.1-2018. Освещение автомобильных дорог общего пользования. Нормы и методы расчета. – Введ. 2019-03-01. – М.: Стандартиформ, 2018. – 10 с.

4. Денисова, А. Р. Исследование влияния нелинейных элементов на показатели качества электроэнергии / А. Р. Денисова, О. В. Исаева, О. Д. Семенова // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 17–18 марта 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2021. – С. 158-162.

5. Недосекина, В.В. Анализ влияния уличного освещения на ДТП / В.В. Недосекина, Д.Н. Айыдов // Символ науки. – 2018. – №7. – С.38-40.

6. Денисова, А. Р. Перспектива модернизации системы освещения в промышленных отраслях с применением светодиодных источников света / А. Р. Денисова, А. Е. Сидоров, З. Р. Закирова // Фёдоровские чтения — 2020: I Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы, Москва, 17–20 ноября 2020 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2020. – С. 151-156.

7. Необходимые знания для расчета уличного освещения [Электронный ресурс] // URL: <https://ziverd.com/articles/neobhodimie-znaniya-dlya-rascheta-ulichnogo-osvesheniya> (дата обращения: 26.04.2023).

УДК 621.548

О ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАЛЫХ ВЕТРЯНЫХ ТУРБИН

Брызгалов Данил Айдарович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
danilbryzgalov64@gmail.com

Аннотация: в статье представлены результаты исследования характеристик малых ветряных турбин для выработки возобновляемой энергии. В статье будут рассмотрены различные факторы, влияющие на производительность малых ветряных турбин, такие как скорость ветра, конструкция турбины и условия эксплуатации.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветряные турбины, производительность, конструкция ветряных турбин, малые ветряные турбины, ветроэнергетические установки, малые ветроэнергетические установки.

PERFORMANCE EVALUATION OF SMALL WIND TURBINES

Bryzgalov Danil Aidarovich
FSBEI HE "KSPEU", Kazan, Russia
danilbryzgalov64@gmail.com

Abstract: the article explores the characteristics of small wind turbines for renewable energy generation. The article will look at various factors that affect the performance of small wind turbines, such as wind speed, turbine design, and operating conditions.

Keywords: renewable energy, wind turbines, performance, wind turbine design, small wind turbines.

С каждым днем вопрос выработки возобновляемой энергии становится все более актуальным. Это связано с проблемами роста загрязнения окружающего нас мира, ростом спроса на энергию и сокращением запасов ископаемых источников энергии [1, 5]. Данные проблемы побуждают ученых разрабатывать новые решения в сфере энергетики. Одним из эффективных решений является создание ветряных турбин. В данной работе рассматриваются факторы, которые оказывают влияние на эффективность работы и производительность малых ветряных турбин.

Целью данного исследования является оценка причин и факторов, влияющих на эффективность выработки электрической энергии малыми ветровыми турбинами.

Ветрогенератор – это устройство для генерации электрической энергии из ветра. Обычно он состоит из вертикальной или горизонтальной оси с лопастями, которые вращаются благодаря силе ветра, передают кинетическую энергию в генератор, который преобразует ее в электрический ток.

Принято выделять следующие типы ветряных турбин (рис. 1):

- с вертикальной осью вращения (VAWT);
- с горизонтальной осью круглого вращения (крыльчатые);
- барабанные и роторные ветряные турбины (HAWT).

Горизонтальные ветрогенераторы типа HAWT (Horizontal-Axis Wind Turbine) – это наиболее распространенный тип ветрогенераторов. Самым распространенным типом ветрогенераторов являются горизонтально – осевые ветрогенераторы типа HAWT. Они состоят из горизонтально расположенной вращающейся лопастной машины (ротора) и подствольной башни, на которую он устанавливается. Такие турбины применяют на крупных предприятиях, в местах, где достаточно ветра. Свое название турбина получила благодаря тому, что ось вращения лопастей такой турбины расположена параллельно поверхности земли.

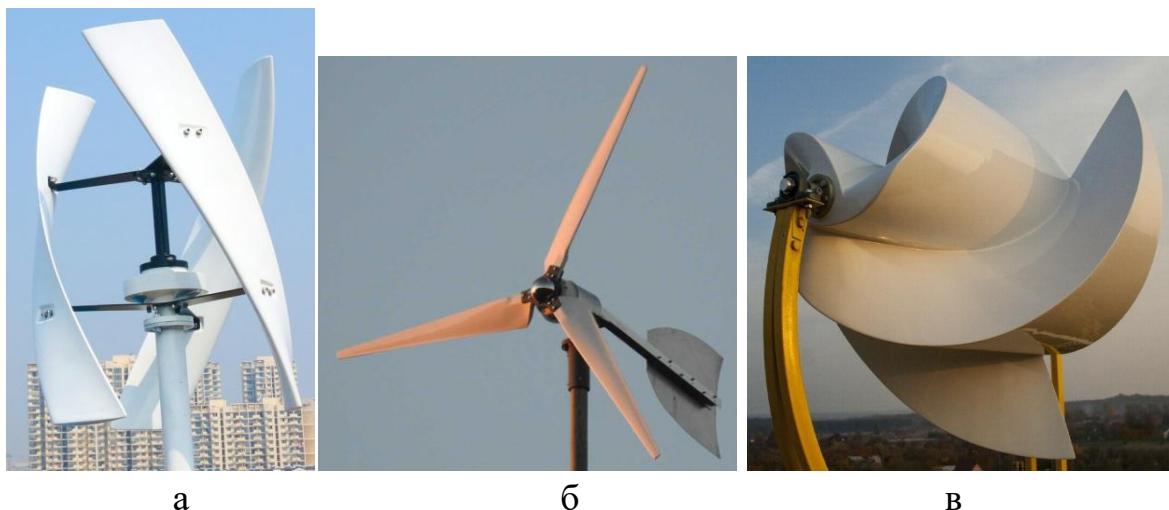


Рис. 1. Ветрогенераторы: а – вертикальный, б – горизонтальный, в – роторный

КПД турбины с горизонтальным расположением оси вращения лопастей составляет обычно 35–50 %. На данный момент такие турбины имеют самый высокий КПД [2].

Наиболее распространенная конструкция горизонтальной ветряной турбины - трехлопастная. Это делается для достижения компромисса между скоростью вращения и величиной крутящего момента. Турбины обычно окрашивают в белый цвет для заметности с самолетов.

Ветровые турбины с вертикальной осью вращения лопастей (VAWT) применяются значительно реже, чем турбины с горизонтальной осью. Главной конструкционной особенностью таких турбин является то, что ось вращения лопастей перпендикулярна поверхности Земли. Как уже говорилось ранее, КПД зависит от площади лопаток турбины, подверженной воздействию ветра.

Безлопастная ветряная турбина – это устройство для генерации энергии из ветра, которое отличается от классических ветряных турбин отсутствием лопастей. Вместо этого она использует принцип Конца Бетце. Эффективность безлопастной ветряной турбины намного ниже, чем у любой другой ветряной турбины. Однако безлопастные ветряные турбины имеют ряд преимуществ перед классическими турбинами, таких как более низкие затраты на производство, более высокая скорость ветра, при которой они начинают работать, и более высокая эффективность в использовании ветровой энергии [3].

Помимо факторов, вытекающих из конструкционных особенностей ветровых турбин, существует ряд условий, также оказывающих влияние на эффективность выработки электрической энергии. К ним можно отнести: скорость ветра, качество турбины, размер и высота турбины, тип зоны установки, место установки [4, 5].

Чем выше скорость ветра, тем больше энергии может произвести турбина.

Оптимальная конструкция турбины и качественные материалы повышают ее эффективность.

Более высокая турбина и ее больший размер могут увеличить производительность.

Наличие или отсутствие преград, таких как здания или деревья, может сильно влиять на скорость ветра в зоне установки.

Более открытые и высокие места обеспечивают более постоянные ветры и лучшую производительность.

Таким образом, можно сделать вывод, что на эффективность выработки электрической энергии и производительность малых ветряных турбин влияет множество факторов. К ним можно отнести условия в районе размещения турбины (погодные условия, скорость ветра, плотность воздуха и т.д.). Наибольшее же значение имеет конструкционное выполнение турбины. Так, правильно подобранная конструкция может оказать существенное влияние на эффективность производства электрической энергии.

Список литературы

1. Веселовский К.К., Никишин, А.Ю. Анализ технических характеристик ВЭУ малой мощности для работы в составе микрогрид коттеджного типа / К. К. Веселовский, А. Ю. Никишин // Вестник молодежной науки. 2020. № 1. С. 1-8.

2. Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике / О. В. Афанасьева, И. Г. Ахметова, А. М. Ба Бораик [и др.]. Том 1. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2018. 423 с. ISBN 978-5-89873-533-3. EDN GAMUCQ.

3. Чепенко В.Л. Промышленные ветроэнергетические станции: современное состояние и перспективы использования / В. Л. Черпенко // Энергобезопасность и энергосбережение. 2020. №6. С. 17-22.

4. Шаманин С.Ю., Блинов В.Л., Савченко В.В., Бродов Ю.М. Исследование ветряной турбины малой мощности горизонтального типа // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2023. Т. 25. № 1. С. 45-57.

5. Шириев Р.Р. Ветряная электростанция как альтернативный источник электроснабжения предприятия // Сборник научных статей по материалам VIII международной научно-практической конференции «Перспективные научные исследования: опыт, проблемы и перспективы развития». Уфа, 2022. С. 69-73.

СБОР ЭНЕРГИИ ИЗ ВНЕШНИХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ МАЛЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Брызгалов Данил Айдарович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,
danilbryzgalov64@gmail.com

Аннотация: в статье представлены результаты исследования потенциала сбора энергии из внешних источников, таких как вибрация, тепло и свет, для малых энергетических систем. В статье обсуждаются принципы сбора энергии, новые технологии и возможные применения в малых энергетических системах.

Ключевые слова: энергетические системы, сбор энергии, малые энергетические системы, внешние источники, технологии сбора энергии.

HARVESTING ENERGY FROM EXTERNAL SOURCES FOR SMALL ENERGY SYSTEMS

Bryzgalov Danil Aidarovich
FSBEI HE "KSPEU", Kazan
danilbryzgalov64@gmail.com

Abstract: the article explores the potential for harvesting energy from external sources such as vibration, heat, and light for small power systems. The article discusses the principles of energy harvesting, new technologies and possible applications in small energy systems.

Keywords: energy systems, energy collection, small energy systems, external sources, energy collection technologies.

С каждым днем вопрос выработки возобновляемой энергии становится все более актуальным. Это вызвано активным загрязнением окружающего мира и сокращением запасов ископаемых источников энергии. В связи с этим тема сбора энергии из внешних источников становится все более востребованной и побуждает ученых разрабатывать новые решения с применением современных технологий [1, 2].

Целью данной исследования является оценка потенциала сбора энергии для малых энергетических систем из внешних источников.

Сбор энергии из внешних источников для малых энергетических систем является важной технологией в области экологически чистой энергетики и может быть использован в самых разных сферах, таких как мобильные устройства, автономные системы, дистанционное зондирование, а также в системах контроля окружающей среды и др.

Существует множество источников энергии в окружающей среде, которые можно использовать для сбора энергии. Например, для генерации

электрической энергии могут быть использованы солнечная, ветровая, тепловая и гидродинамическая энергия.

Существует множество различных устройств, которые могут быть использованы для сбора энергии из внешних источников. Выбор оптимального устройства для каждой конкретной ситуации зависит от множества факторов. Некоторые из них перечислены ниже: солнечные батареи, ветрогенераторы, термоэлектрические генераторы, гидродинамические генераторы, электромагнитные генераторы, гидротурбины, электрические генераторы [2, 3].

Солнечные батареи используются для сбора энергии солнечного света. Солнечные батареи преобразуют энергию солнечного света в электрическую энергию.

Ветрогенераторы применяются для сбора энергии ветра. Ветрогенераторы преобразуют энергию ветра в электрическую энергию.

Термоэлектрические генераторы используются для сбора энергии, возникающей при разности температур. Термоэлектрические генераторы используют термоэлектрический (Пельтье) эффект для преобразования энергии тепла в электрическую энергию.

Гидродинамические генераторы используются для сбора энергии потока воды. Гидродинамические генераторы преобразуют кинетическую энергию потока воды в электрическую энергию.

Электромагнитные генераторы используются для сбора энергии из электромагнитных волн, таких как радиоволны, микроволны и другие. Электромагнитные генераторы преобразуют энергию электромагнитного поля в электрическую энергию.

Гидротурбины: используются для сбора энергии потока воды у рек и на гидроэлектростанциях. Гидротурбины преобразуют кинетическую энергию потока воды в механическую энергию, которая далее может быть использована для производства электрической энергии.

Электрические генераторы, использующие биомассу: используются для сбора энергии из биологических отходов, таких как дерево, отходы сельского хозяйства и т.д.

Важным аспектом сбора энергии из внешних источников является эффективность и экономичность таких систем. Технологии для сбора энергии из внешних источников постоянно улучшаются и совершенствуются, что позволяет повысить их эффективность и экономичность [4].

Потенциал сбора энергии из внешних источников зависит от ряда факторов: интенсивность внешних источников, местоположение, время года, технические характеристики устройств, стоимость и экономическая целесообразность.

Интенсивность солнечного света, скорость ветра или поток воды могут существенно влиять на сбор энергии из таких источников. Так, при отсутствии солнечной активности или отсутствии ветра, можно рассчитывать на очень низкую производительность соответствующих устройств.

Местоположение устройства для сбора энергии может также оказывать существенное влияние на его эффективность. Например, солнечные батареи установленные на южной стороне здания или сооружения будут работать эффективнее, чем те, что расположены на северной стороне.

Погодные условия и время года также могут оказывать существенное влияние на производительность устройств для сбора энергии из внешних источников [5].

Выбор оптимальных параметров и технологий используемых в производстве устройств для сбора энергии также может существенно влиять на их эффективность.

Стоимость таких устройств и экономическая целесообразность их установки и использования могут также стать фактором, влияющим на использование технологий для сбора энергии.

Таким образом, потенциал сбора энергии из внешних источников для малых энергетических систем зависит от конкретных условий среды. Однако технологии для сбора энергии из внешних источников постоянно улучшаются, что позволяет повысить эффективность и расширить круг применения таких систем.

Итак, по результатам исследования можно сделать вывод, что сбор энергии из внешних источников является важной технологией в области экологически чистой энергетики и может иметь широкое применение в различных сферах. Потенциал сбора энергии из внешних источников для малых энергетических систем зависит от множества факторов и условий внешней среды. Однако стоит отметить, что в данный момент ведется активное развитие систем и технологий, позволяющих получать энергию из внешних источников.

Список литературы

1. Егорова М. С. Развитие возобновляемых источников энергии - мировой опыт и российская практика / М. С. Егорова // Вестник науки Сибири. 2013. № 3 (9). С. 146–150.

2. Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике / О. В. Афанасьева, И. Г. Ахметова, А. М. Ба Бораик [и др.]. Том 1. Казань:

Казанский государственный энергетический университет, 2018. 423 с. ISBN 978-5-89873-533-3. EDN GAMUCQ.

3. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии в регионах Российской Федерации: проблемы и перспективы / О. С. Попель // Энергосвет. 2018. №5. С. 22-27.

4. Распоряжение Правительства от 8 января 2009 г. №1-р «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года». URL: <http://www.energsovet.ru/npb1165.html> (дата обращения: 29.04.2023)

5. Шкрадюк И.Э. Тенденции развития возобновляемых источников энергии в России и мире / И. Э.Шкрадюк. М. : WWF России, 2020. С. 88.

УДК 620.9

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И УЛУЧШЕНИЕ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Валиева Эльвира Рамилевна
КГЭУ, г. Казань
elvira19102002@gmail.com

Аннотация: в данной статье рассматривается эффективность возобновляемых источников энергии, проблемы, связанные с их производительностью, а также возможности для улучшения этой производительности. Также обсуждается значимость развития этих источников в будущем.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, эффективность, производительность, солнечная энергия, ветровая энергия.

RENEWABLE ENERGY EFFICIENCY AND PERFORMANCE IMPROVEMENT

Valieva Elvira Ramilevna
FSBEI HE "KSPEU", г. Kazan
elvira19102002@gmail.com

Abstract: this article examines the efficiency of renewable energy sources, the problems associated with their performance, and the opportunities for improving this performance. The importance of developing these sources in the future is also discussed.

Keywords: renewable energy sources, efficiency, productivity, solar energy, wind energy.

В наше время все больше людей осознают необходимость перехода на возобновляемые источники энергии, такие как солнечная, ветровая

и гидроэнергия. Это связано с растущим осознанием проблемы изменения климата и необходимостью снижения выбросов углекислого газа в атмосферу.

Возобновляемые источники энергии – это источники энергии, которые возобновляются в природе и не исчерпываются при использовании. К ним относятся солнечная, ветровая, гидроэнергия, геотермальная энергия и биомасса. Они являются более экологически чистыми, чем традиционные источники. Однако, производительность возобновляемых источников энергии может быть ограничена различными факторами, такими как погода и доступность ресурсов.

Возобновляемые источники энергии имеют большой потенциал для удовлетворения потребностей в энергии, но их производительность может быть ограничена различными факторами. Например, солнечная энергия зависит от погодных условий и времени суток, ветровая энергия - от скорости ветра, а гидроэнергия - от доступности водных ресурсов [5].

Кроме того, производство энергии из возобновляемых источников требует значительных инвестиций в инфраструктуру и технологии, что может повлиять на их экономическую эффективность.

Сравнивая различные типы возобновляемых источников энергии, можно отметить, что солнечная энергия является наиболее доступной и распространенной, но ее производительность может быть низкой в некоторых регионах [4]. Ветровая энергия также имеет большой потенциал, но ее производительность может быть нестабильной в зависимости от погодных условий. Гидроэнергия обладает высокой производительностью, но требует доступности водных ресурсов и строительства гидроэлектростанций. Геотермальная энергия также имеет высокий потенциал, но ее использование ограничено географическими условиями.

В целом, эффективность возобновляемых источников энергии зависит от многих факторов, и их использование должно быть осуществлено с учетом конкретных условий и потребностей региона.

Улучшение производительности возобновляемых источников энергии можно добиться с помощью:

- 1) Использование новых технологий и материалов

Одним из способов улучшения производительности возобновляемых источников энергии является использование новых технологий и материалов. Например, для солнечных батарей можно использовать более эффективные материалы, которые будут лучше преобразовывать солнечную энергию в электрическую[1]. Также можно использовать

технологии, которые позволяют увеличить количество солнечной энергии, которую можно получить с одной батареей.

Аналогично, для ветряных турбин можно использовать более легкие и прочные материалы, которые позволят увеличить их эффективность и снизить затраты на производство. Также можно использовать технологии, которые позволяют увеличить скорость вращения лопастей, что повысит количество энергии, которую можно получить [3].

2) Оптимизация процесса производства

Еще одним способом улучшения производительности возобновляемых источников энергии является оптимизация процесса производства. Например, можно использовать более эффективные методы сборки солнечных батарей или ветряных турбин, что снизит затраты на их производство и повысит качество готовой продукции.

Также можно улучшить процесс утилизации отходов после производства возобновляемых источников энергии. Например, можно использовать технологии переработки отходов, которые позволят получать дополнительную энергию.

3) Развитие инфраструктуры для хранения и передачи энергии

Является важным аспектом улучшения производительности возобновляемых источников энергии. Необходимо развивать системы хранения энергии, которые позволят сохранять произведенную энергию на долгое время и использовать ее в периоды пикового потребления. Существуют различные методы хранения энергии, такие как батареи, гидроаккумуляторы, теплоаккумуляторы и другие.

Также необходимо улучшать систему передачи энергии от места производства к месту потребления. Это позволит снизить потери энергии в процессе передачи и повысить ее эффективность. Для этого можно использовать более современные методы передачи энергии по линиям электропередачи, такие как суперсети, которые позволяют передавать энергию на большие расстояния с минимальными потерями [2].

В заключение, можно отметить, что существует множество возможностей для улучшения производительности возобновляемых источников энергии. Развитие технологий и новых методов производства позволят увеличить эффективность использования энергии из солнца, воды и ветра.

Кроме того, значимость развития возобновляемых источников энергии в будущем неоспорима. Они помогут сократить зависимость от ископаемых топлив, снизить уровень выбросов вредных веществ и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Поэтому, важно продолжать инвестировать в развитие возобновляемых источников энергии и создавать более эффективные и доступные технологии для их использования. Это позволит нам обеспечить устойчивое развитие экономики и сохранить нашу планету для будущих поколений.

Список литературы

1. Антонова Е. А., Горячев С. В. Повышение эффективности солнечных батарей нового поколения за счёт использования новых материалов и их гибридизации // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2019. – №. 1. – С. 7-11.

2. Драбкина Е. В., Никулин В. Д., Юдаев Р. В. ПРОБЛЕМА ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ //Высокие технологии и инновации в науке. – 2020. – С. 121-128.

3. Острина Е. М. ВЕТРОУСТАНОВКИ. СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ С ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ДРОНОВ ДЛЯ ОСМОТРА ВЭУ // Инновационная наука. – 2021. – №. 7. – С. 54-59.

4. Фрид С. Е., Тарасенко А. Б. Использование фотобатарей для горячего водоснабжения-опыт и перспективы //Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология»(ISJAEE). – 2018. – №. 16-18. – С. 23-38.

5. Черныш Н. Д., Сидякина А. Ю. О потенциале использования альтернативных источников энергии в формировании энергоэффективности зданий // Вектор ГеоНаук. – 2019. – Т. 2. – №. 2. – С. 38-44.

УДК 620.92

РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РОССИИ

Валиева Эльвира Рамилевна
КГЭУ, г. Казань
elvira19102002@gmail.com

Аннотация: в данной статье рассматривается развитие возобновляемых источников энергии в России, их недостатки и преимущества в отличие от традиционных источников.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, развитие, Россия, преимущества и недостатки.

DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN RUSSIA

Valieva Elvira Ramilevna
FSBEI HE "KSPEU", г. Kazan
elvira19102002@gmail.com

Abstract: this article discusses the development of renewable energy sources in Russia, their disadvantages and advantages in contrast to traditional sources.

Keywords: renewable energy sources, development, Russia, advantages and disadvantages.

Виды ВИЭ по разным регионам России сильно варьируются, из-за географического положения, особенностей местности и климата.

В России развитие возобновляемых источников энергии началось в начале 2000-х годов. На первом этапе акцент делался на использовании гидроэнергетики. Крупные гидроэлектростанции строились на реках Обь, Янцзы и Амуре.

На втором этапе начали активно развиваться ветроэнергетика и солнечная энергетика. В начале 2010-х годов в России были построены первые ветропарки и солнечные электростанции.

В последние годы правительство России уделяет большое внимание развитию возобновляемых источников энергии. В стране созданы благоприятные условия для инвестирования в область альтернативной энергетики. Количество занятого населения в отрасли ВИЭ увеличилось на 9% за последние 5 лет [1, с. 97].

В настоящее время Россия является одним из крупнейших производителей возобновляемой электроэнергии в мире. За последние годы общая мощность объектов генерации энергии на базе ВИЭ в России растет: так, в 2015 г. их совокупная мощность была менее 60 МВт, в 2016 г. уже более 70 МВт, в 2017 г. Порядка 125 МВт объектов ВИЭ, а в 2019 г. – 568,5 МВт [4, с. 195].

Преимущества возобновляемых источников энергии в России:

1. Они являются более экологичными и безопасными по сравнению с традиционными источниками энергии (в том числе с углем, нефтью и газом), так как не выбрасывают вредные вещества в атмосферу.

2. Использование возобновляемых источников энергии способствует разнообразию энергетического сектора и уменьшению зависимости от импортированной энергии.

3. Применение возобновляемых источников энергии может улучшить экономическую ситуацию в регионах, где расположены эти источники, путем создания новых рабочих мест и улучшения инфраструктуры.

Недостатки возобновляемых источников энергии в России:

1. На данный момент стоимость генерации энергии на базе ВИЭ выше. Однако сторонники ВИЭ утверждают, что с течением времени стоимость электроэнергии от возобновляемых источников будет приближаться к стоимости электроэнергии, производимой на традиционных генерирующих объектах, и в конечном итоге станет более конкурентоспособной [2, с. 88].

2. Не все регионы России могут эффективно использовать возобновляемые источники энергии из-за локальных климатических условий и географических особенностей.

3. Использование возобновляемых источников энергии все еще требует поддержки со стороны правительства в виде налоговых льгот, субсидий и других мер поддержки.

Развитие возобновляемой энергетики российскими исследователями рассматривается как конкурентоспособный, экономически выгодный ресурс, особенно в зоне автономного энергоснабжения, где находится более 70 % территории РФ (труднодоступные регионы Крайнего Севера, Дальнего Востока и Сибири) [3, С. 97-104].

В России выгодно использовать возобновляемые источники энергии в регионах, где есть наличие гидроэнергии, солнечной и ветровой энергии. Это, например, Сибирь и Дальний Восток, Южный Урал, Кавказский регион и Крым. Однако использование возобновляемых источников энергии в некоторых регионах России в настоящее время может быть невыгодным из-за высоких затрат на их установку и обслуживание.

Затраты на установку и обслуживание возобновляемых источников энергии в России варьируются в зависимости от типа источника и местоположения. Например, стоимость установки и обслуживания солнечных панелей может быть дороже, чем установка ветряных или водяных турбин. Также необходимо учитывать затраты на хранение произведенной энергии в батареях или других системах.

По сравнению с традиционными источниками энергии, возобновляемые источники не требуют затрат на добычу и транспортировку сырья [6, С.576-578]. Кроме того, возобновляемые источники могут быть расположены ближе к местам потребления энергии, что может уменьшить затраты на транспортировку.

Однако, как уже упоминалось, возобновляемые источники энергии могут быть дороже в производстве и обслуживании, а также требуют высокотехнологичного оборудования. Кроме того, их использование все еще требует масштабной инфраструктуры, такой как места хранения

и передачи произведенной энергии. Также, возобновляемые источники энергии могут быть менее надежными, так как они зависят от погодных и климатических условий.

В целом, возобновляемые источники энергии отличаются тем, что они являются экологически чистыми и во многих случаях источником бесплатной энергии, но требуют повышенных затрат на их установку, обслуживание и инфраструктуру. Традиционные источники энергии, такие как уголь, нефть и газ, могут быть более надежными, но в то же время они являются загрязняющими источниками и требуют затрат на добычу, транспортировку и очистку.

Возобновляемые источники энергии в России пока еще находятся на начальном этапе развития. Несмотря на огромный потенциал, Россия до сих пор не успела полностью задействовать все возможности возобновляемой энергетики.

Однако, в последние годы Россия начала активно развивать производство и использование ВИЭ, в том числе ветровой и солнечной энергии. В настоящее время открыта активная программа поддержки проектов возобновляемых источников энергии, которая включает в себя финансовую и налоговую поддержку, а также различного рода поощрительные меры.

С развитием технологий и снижением затрат производства на ВИЭ в России, можно ожидать более широкого использования возобновляемых источников энергии в ближайшее время. Чистые источники энергии помогут снизить загрязнение окружающей среды, а также повышение независимости России от импорта топлива.

Список литературы

1. Бушукина В.И. Особенности развития возобновляемой энергетики в мире и в России. Финансовый журнал. 2021;13(5):93-107.

2. Вопросы и ответы о возобновляемых источниках энергии [Электронный ресурс]. Свободный. Режим доступа: <http://www.rushydro.ru/industry/biblioteka/14289.html#77> (дата обращения: 24.05.2023).

3. Жданев О.В., Зуев С.С. Развитие ВИЭ и формирование новой энергополитики России. Энергетическая политика. 2020;2(144):84-95.

4. Козелков О.В., Усачев С.С. Некоторые аспекты применения возобновляемых источников энергии в современной российской (энергетической отрасли // Вестник казанского государственного

энергетического университета. Издательство: Казанский государственный энергетический университет. 2016. № 1 (29). С. 97-104.

5. Макаров С.В. Развитие ВИЭ на базе солнечных электростанций на территории современной России. Меридиан. 2020;15(49):195-197.

6. Павлов, Д. В. Перспективы и проблемы водородной энергетики / Д. В. Павлов, А. Е. Сидоров // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : Материалы VII Национальной научно-практической конференции, Казань, 09–10 декабря 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 576-578.

УДК 620.9

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Валиева Эльмира Рамилевна
КГЭУ, г. Казань
elmiravalieva07@gmail.com

Аннотация: в статье рассматривается применение альтернативных источников энергии в промышленности.

Ключевые слова: возобновляемые источники, солнечная энергия, гидроэнергия.

ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN INDUSTRY

Valieva Elmira Ramilevna
KSPEU, Kazan

Abstract: the article discusses the use of alternative energy sources in industry.

Keywords: renewable sources, solar energy, hydropower.

Промышленность является одним из основных потребителей энергии в мире. Однако, использование традиционных источников энергии, таких как нефть, газ и уголь, имеет отрицательное воздействие на окружающую среду и здоровье людей. Поэтому все больше компаний обращаются к альтернативным источникам энергии, чтобы уменьшить свой углеродный след и снизить затраты на энергию. В этой статье мы рассмотрим применение альтернативных источников энергии в промышленности.

Солнечная энергия имеет большой потенциал для использования в промышленности. Она может быть использована для производства

электроэнергии, которая может использоваться в различных отраслях промышленности, таких как текстильное производство, пищевая промышленность, металлургия и т.д. Важно отметить, что солнечная энергия имеет меньший негативный экологический след, чем традиционные источники энергии, такие как газ, нефть и уголь. Поэтому, применение солнечной энергии в промышленности, поможет не только улучшить эффективность производственных процессов, но и снизить негативное влияние на окружающую среду [1]. Солнечные панели могут быть установлены на крышах зданий и использоваться для производства электроэнергии для промышленных нужд. Солнечная энергия также может быть использована для нагрева воды и производства пара. Это может существенно снизить затраты на энергию в промышленности.

Ветровая энергия также является популярным альтернативным источником энергии в промышленности. Одним из наиболее известных примеров применения ветровой энергии в промышленности является строительство ветропарков, где множество ветряных турбин устанавливаются на больших территориях для производства электроэнергии для промышленных нужд. Также ветровая энергия может использоваться для привода механизмов в промышленности, например, насосов для работы с водой или для привода мельниц для производства муки [5].

Преимущества использования ветровой энергии в промышленности включают более низкие эксплуатационные расходы по сравнению с традиционными источниками энергии, а также снижение негативного экологического воздействия в результате уменьшения выбросов углекислого газа [3].

Гидроэнергия является одним из самых старых альтернативных источников энергии в промышленности. Наиболее известным примером применения гидроэнергии в промышленности является строительство ГЭС. Гидроэлектростанции производят электроэнергию путем использования потенциальной энергии воды, которая преобразуется в механическую энергию, а затем в электрическую энергию, которая будет использоваться для промышленных нужд. Гидроэнергия может быть использована для производства энергии на удаленных или отдаленных местах и является одним из наиболее чистых и надежных источников энергии. Она также позволяет снизить зависимость от нестабильных рынков нефти и газа, что делает ее очень привлекательной для промышленных потребителей.

Биомасса является альтернативным источником энергии, который получается из растительных и животных отходов. Она может быть

использована в качестве источника тепла и энергии, а также в производстве биохимических и биомедицинских продуктов. Применение биомассы в промышленности может привести к снижению затрат на нефть и газ, а также снижению выбросов углекислого газа и других вредных веществ. Это может быть особенно полезно в промышленных отраслях, таких как производство целлюлозы и бумаги, пищевая и кормовая промышленность, производство текстиля, текстильных и лесопромышленных материалов [2].

Биомасса также может быть использована для производства биопластмасс, которые являются более экологически чистыми и меньше вредными для окружающей среды, чем обычные не биоразлагаемые пластмассы. Она может также использоваться как источник биологических катализаторов, используемых в процессах, требующих биохимических реакций для производства различных продуктов. Преимущества использования биомассы в промышленности включают диверсификацию источников энергии и дополнительный заработок на продаже отходов.

Геотермальная энергия является альтернативным источником энергии, который получается из глубоких подземных источников. Производство электроэнергии с использованием геотермальной энергии осуществляется с помощью турбин, которые преобразуют теплоту в электроэнергию. Отопление и охлаждение зданий и промышленных сооружений с помощью геотермальной энергии может быть осуществлено с помощью систем геотермальных тепловых насосов, которые используют теплоту земли для поддержания оптимальной температуры внутри здания [4]. Преимуществом использования геотермальной энергии в промышленности является то, что она является источником энергии, который не исчерпывается со временем.

В заключение можно сказать, что использование альтернативных источников энергии в промышленности имеет множество преимуществ. Это позволяет уменьшить затраты на энергию, уменьшить углеродный след и снизить негативное воздействие на окружающую среду и здоровье людей.

Список литературы

1. Абдразаков Ф.К., Медведева Н.Л. Преимущества и недостатки солнечной энергетики // Тенденции развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. - Саратов: ©ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2016. - С. 58-61.

2. Берковский, Б. М. Возобновляемые источники энергии на службе человека / Б.М. Берковский, В.А. Кузьминов. - М.: Наука, 2021. - 128 с.

3. Плюсы и минусы ветроэнергетики // Источник экологических новостей и информации 2022 URL: <https://ru.ipocketpc.net/advantages-windenergy-765> (дата обращения: 20.05.2022).

4. Сивков, Ю. В. Природообустройство и ресурсосбережение: учебное пособие / Ю. В. Сивков. - Тюмень: ТИУ, 2016. - 148 с. - Текст: непосредственный.

5. Черныш Н. Д., Сидякина А. Ю. О потенциале использования альтернативных источников энергии в формировании энергоэффективности зданий // Вектор ГеоНаук. – 2019. – Т. 2. – №. 2. – С. 38-44.

УДК 621.311

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Воронкова Ирина Сергеевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
voronkovai07@mail.ru

Аннотация: в данной статье рассматривается тема энергоэффективных систем освещения городских территорий, которые становятся все более актуальными в связи с необходимостью снижения негативного воздействия на окружающую среду, а также затрат на электроэнергию. Кроме того, рассмотрены проблемы традиционного освещения и преимущества светодиодных источников света. Также подчеркивается необходимость использования комплексных решений, таких как внедрение систем автоматического управления освещением и светорегулирующих адаптивных систем, использование датчиков движения и солнечных батарей, а также правильный выбор материалов для оборудования. Основываясь на результатах исследования, энергоэффективные системы освещения городских территорий являются шагом в сторону устойчивого и экологически чистого развития городов.

Ключевые слова: системы освещения, светодиодные источники света, автоматическое управление, адаптивные системы, экономичность, энергоэффективность, солнечные батареи, датчики движения.

ENERGY EFFICIENT LIGHTING SYSTEMS FOR CITY AREAS

Voronkova Irina Sergeevna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
voronkovai07@mail.ru

Annotation: this article discusses the topic of energy-efficient lighting systems for urban areas, which are becoming increasingly relevant due to the need to reduce the negative

impact on the environment, as well as energy costs. In addition, the problems of traditional lighting and the advantages of LED light sources are considered. It also emphasizes the need to use integrated solutions, such as the introduction of automatic lighting control systems and dimming adaptive systems, the use of motion sensors and solar panels, as well as the right choice of materials for equipment. Based on the results of the study, energy efficient urban lighting systems are a step towards sustainable and environmentally friendly urban development.

Keywords: lighting systems, LED light sources, automatic control, adaptive systems, economy, energy efficiency, solar panels, motion sensors.

В современном мире экономия электроэнергии является одним из приоритетных направлений развития науки. Одной из областей, где энергоэффективные технологии могут быть применены в полной мере, является освещение городских территорий, поскольку создание комфортных условий для населения – одна из ключевых задач городской инфраструктуры.

Одним из ключевых аспектов энергоэффективного освещения является применение светодиодных источников света [1]. Однако, для эффективного применения LED-технологий, необходимо учитывать специфику каждой городской территории. Для этого необходимы комплексные решения, которые предусматривают не только замену оборудования, но и модернизацию инфраструктуры освещения.

Например, эффективной мерой может стать внедрение систем автоматического управления освещением на улицах. С помощью таких систем можно регулировать включение и выключение освещения в зависимости от времени суток и наличия людей на улице.

Еще одним способом энергосбережения является использование светорегулирующих адаптивных систем [2-4]. Такие системы регулируют интенсивность освещения в зависимости от наличия света на улицах, времени суток и прочих параметров. Это позволяет минимизировать потребление электроэнергии и существенно снизить затраты.

Так, для освещения дорог и тротуаров можно использовать светодиодные прожекторы и фонари высокой мощности, а для освещения жилых улиц – низкой. Необходимо учитывать особенности климатических условий и топографии местности.

Для дальнейшего энергосбережения можно использовать датчики движения. Они позволяют включать свет только тогда, когда в зоне действия датчика появляется движение, что позволяет сократить потребление энергии и уменьшить затраты на электроэнергию.

Наконец, энергосбережение может быть достигнуто с помощью солнечных батарей. Их использование в качестве альтернативного

источника энергии позволяет снизить нагрузку на экологические системы и улучшать качество жизни городского населения [3].

Регулярное техническое обслуживание и очистка осветительных систем городских территорий так же позволяет сократить затраты электроэнергии за счет эффективной работы освещения.

Кроме того, важную роль играют материалы, из которых изготовлено оборудование для освещения городских улиц. Такие материалы, как сплавы алюминия и меди, позволяют значительно повысить долговечность оборудования, а также обеспечить его устойчивость к внешним воздействиям.

Энергоэффективные системы освещения городских территорий – это не только новое слово в области современных технологий, но и шаг в сторону устойчивого и экологически чистого развития городов. Использование таких систем способствует сокращению объемов потребления электроэнергии, а также уменьшению нагрузки на окружающую среду.

Список литературы

1. Denisova, A. Development of an automatic luminous flux control system for LED lamps / A. Denisova, E. Sibgatullin // Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2022 : 4, Moscow, 17–19 марта 2022 года. – Moscow, 2022. – DOI 10.1109/REEPE53907.2022.9731434. – EDN NLMSMK.

2. Денисова, А. Р. Проектирование и визуализация системы искусственного освещения с автодиммированием / А. Р. Денисова, Н. А. Савин // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 12–13 октября 2022 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 242-246. – EDN NEFBYD.

3. Германович В. Альтернативные источники энергии и энергосбережение: практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы / В. Германович, А. Турилин. – Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2014. – 317 с.

4. Salyga Stanislaw, Szablowski Lukasz, Badyda Krzysztof. Comparison of constant volume energy storage systems based on compressed air // International Journal of Energy Research. 2021. Т. 45. No 5. P. 8030–8040. DOI:10.1002/er.6320.

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО СВЕТОМУЗЫКАЛЬНОГО ФОНТАНА

¹ Востриков Денис Юрьевич, ² Лепешкин Николай Сергеевич,

³ Сандаков Виталий Дмитриевич

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

¹ denisenina@yandex.ru, ² loshkin60@mail.ru, ³ vitalysandakov@gmail.ru

Аннотация: в данной статье рассказан принцип работы автоматического светомузыкального устройства на базе микроконтроллера Arduino с помощью быстрого преобразования Фурье и быстрого преобразования Хартли представляющие собой алгоритм, преобразовывающий периодические колебания в несколько простых гармонических, что позволяет выделить звук на частоты. С помощью данных преобразований управляется светодиодная лента и насосы в зависимости от частоты и мощности сигнала.

Ключевые слова: преобразование Фурье, преобразование Хартли, Arduino, звук, насосы, светомузыка, алгоритм.

THE PRINCIPLE OF OPERATION OF AN AUTOMATIC LIGHT MUSIC DEVICE

¹ Vostrikov Denis Yurievich, ² Lepeshkin Nikolai Sergeevich, ³ Sandakov Vitaliy Dmitrievich

^{1,2,3} FSBEI HE "KSPEU", Kazan, Republic of Tatarstan

¹ denisenina@yandex.ru, ² loshkin60@mail.ru, ³ vitalysandakov@gmail.ru

Abstract: this article describes the principle of operation of an automatic light and music device based on the Arduino microcontroller using the Fast Fourier Transform and the Fast Hartley Transform, which are an algorithm that converts periodic oscillations into several simple harmonic ones, which allows you to separate the sound into frequencies. Using these conversions, the LED strip and pumps are controlled depending on the frequency and signal strength.

Keywords: Fourier transform, Hartley transform, Arduino, sound, pumps, light music, algorithm.

В настоящее время в городах появляются все больше светомузыкальных фонтанов, которые придают особый шарм и красоту городской застройке. Однако, мало кто задумывается о том, как работает такой фонтан и как достигается синхронное сочетание музыки и движения струй воды.

Принцип работы нынешних светомузыкальных фонтанов заключается в создании определенного алгоритма работы форсунок, который создан под заранее выбранную музыку, что не является реальным танцующим фонтаном, так как это всего лишь алгоритм. Пример подобного фонтана на Рис.1.



Рис. 1. Светомузыкальный фонтан

Основой принципа работы моего проекта является быстрое преобразование Фурье и Хартли, которые позволяют разложить исходный аудиосигнал на гармонические составляющие. Это необходимо для выделения шумов, низких, средних и высоких частот. Разложенный сигнал разбивается на две группы: частоту и мощность. Частота определяет скорость, с которой что-то повторяется, а мощность – это просто мощность сигнала для каждой частоты.

Эти данные микроконтроллер Arduino преобразует в управляющий сигнал для светодиодной ленты и насосов в зависимости от режима работы.

Для решения задачи взаимодействия музыки, света и насосов были разработаны 2 проекта, которые при совмещении друг с другом позволят создать светомузыкальные фонтаны, реагирующие на любую музыку. Данные проекты построены на базе микроконтроллеров Arduino.

Первый проект – управление адресной светодиодной лентой, что является световым сопровождением музыки, сопровождающей работу фонтана. В основе обработки звука для данного управления подсветкой использовано быстрое преобразование Фурье (FFT).

Данное преобразование является математической основой цифро-аналогового преобразования, что позволяет сложное периодическое колебание разложить на простые гармонические колебания. Простыми словами исходный сигнал делит на низкие, высокие и средние частоты. В последствии данные устройства управляются от двух факторов – частоты и мощности сигнала [1].

Исходя из полученных данных, Arduino выводит управляющий сигнал на светодиодную ленту.

Второй проект – это управление насосами, для регулирования водяного столба в зависимости от частоты и мощности сигнала. В данном проекте используется 4 насоса, управление которыми происходит через драйвер. Подача тока на контакты двигателей происходит не просто от появления сигнала, а через ШИМ. Данный способ управления был выбран связи упрощенного управления двигателями. Были выбрано 4 частотных среза: 1500, 1000, 500, 100 Герц. Каждый двигатель отвечает за свою частоту, а высота водяной струи зависит от мощности сигнала.

В основу обработки звука для управления насосами использовано быстрое преобразование Хартли (ФНТ). В связи невозможности программной связи FFT и насосов, было использовано ФНТ.

Преобразование ФНТ выполняет ту же работу, что и FFT, но, в отличие от последнего, использует только реальные данные, в то время как FFT работает со сложными данными, поэтому ФНТ использует половину вычислительной мощности и половину системной памяти.

Минус данного преобразования в том, что оно всегда возвращает половину значений размера массива, используемого для выполнения выборки, это приводит к определенной потере разрешения и точности на двух концах звукового диапазона. Однако, в данном случае нам требуется лишь управлять насосами, и данный недочет никак не влияет на работу устройства.

Однако в ходе разработки столкнулись с определенными проблемами, такими как: помехи при анализе аудиосигнала: индуктивный выброс напряжения на двигателях; помехи по питанию и просадка.

Для улучшения качества анализа аудиосигнала выбрал аналоговые фильтры, которые позволяют убрать из сигнала ненужные помехи и шумы. Однако такие фильтры, как аналоговые устройства, не могут обеспечить идеальную очистку сигнала, и поэтому некоторые искажения могут сохраняться. Поэтому для решения этой проблемы был взят фильтр, основанный на экспоненциальном бегущем среднем. Этот фильтр является простым и эффективным способом обработки сигнала, и его применение легко реализуемо на практике. Одним из главных преимуществ этого фильтра является его способность удалять недостоверные высокочастотные компоненты сигнала. Это особенно важно при анализе аудиосигналов, где наличие ненужных высокочастотных шумов может существенно исказить результаты измерения [2]. Пример кода изображен на рис.2.

Пример работы фильтра показан на рис.3., на нем синей линией указан идеальный сигнал, красной линией анализируемый сигнал, зеленой линией уже после обработки сигнала фильтром.

```

float k = 0.1; // коэффициент фильтрации, 0.0-1.0

// бегущее среднее
float expRunningAverage(float newVal) {
    static float filVal = 0;
    filVal += (newVal - filVal) * k;
    return filVal;
}

```

Рис. 2. Простой пример реализации кода, функция которого хранит предыдущие данные в “себе”

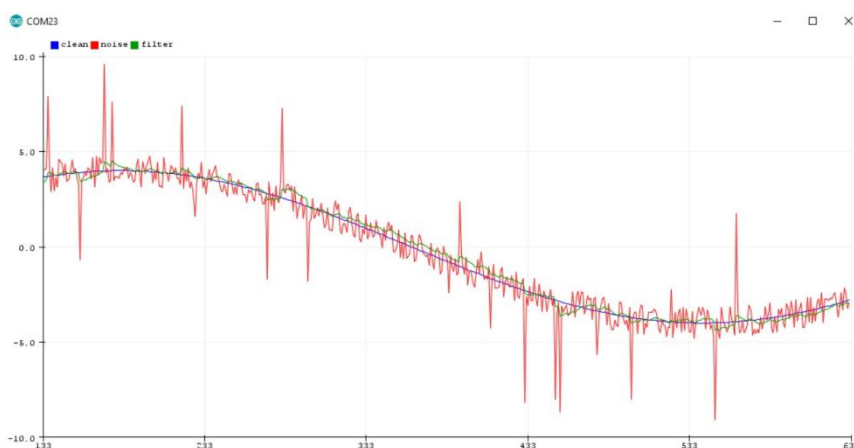


Рис. 3. Пример обработки звука с помощью фильтра

Снижение индуктивного выброса на двигателях было достигнуто с помощью дополнительных элементов.

При использовании моторов как индуктивной нагрузки возникают индуктивные выбросы, особенно при их отключении. Кроме того, моторы потребляют энергию неравномерно, что может привести к помехам на линии питания, а пусковой ток мотора значительно больше рабочего, что может вызвать просадку питания при запуске. Все эти факторы могут приводить к различным проблемам в работе устройства, вплоть до сбоя в работе микроконтроллеров и других элементов устройства [3].

Для решения проблем с индуктивными выбросами рекомендуется использовать защитный диод, который установлен параллельно мотору и ближе к его корпусу. Для управления мотором с помощью ШИМ сигнала следует использовать быстродействующие диоды или диоды с высокой частотой переключения. Максимальный ток диода должен быть больше или равен максимальному току мотора. Защитный диод, который принимает на себя обратный выброс ЭДС самоиндукции, может также называться шунтирующим диодом, снаббером или flyback диодом.

Другой проблемой при использовании моторов является неравномерное потребление тока, особенно во время разгона или при изменении нагрузки на валу. Это может приводить к просадкам напряжения на всей схеме. Для решения этой проблемы рекомендуется установка ёмких электролитических конденсаторов по питанию мотора, которые следует располагать максимально близко к драйверу. Напряжение конденсаторов должно быть выше, чем напряжение питания, а ёмкость подбирается в зависимости от конкретных условий. Начать следует с ёмкости 470 мкФ и постепенно увеличивать её до достижения желаемого эффекта.

В заключение можно отметить, что светомузыкальные фонтаны – это не только источник красоты и восторга для горожан и гостей города, но и технологическое достижение в области электроники, акустики и гидравлики. Данным образом, был разработан светомузыкальный фонтан, реагирующий на музыку в реальном времени. Световое сопровождение реагирует на частоты и мощности звука при помощи быстрого преобразования Фурье. Насосы фонтанов реагируют на частоты и мощности звука при помощи быстрого преобразования Хартли. Применение микроконтроллеров позволит автоматизировать работу насосов и светового сопровождения фонтанов и создать действительно «танцующие» фонтаны.

Список литературы

1. Быстрое преобразование Фурье (FFT) на Arduino с высокой скоростью. URL:<https://microkontroller.ru/arduino-projects/bystroe-preobrazovanie-fure-fft-na-arduino-s-vysokoj-skorostyu/> (дата обращения: 08.11.22).
2. Фильтрация шума сигнала URL:<https://habr.com/ru/post/588270/> (дата обращения: 10.11.22).
3. Денисова, А. Р. Исследование влияния нелинейных элементов на показатели качества электроэнергии / А. Р. Денисова, О. В. Исаева, О. Д. Семенова // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 17–18 марта 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2021. – С. 158-162.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

¹Гайфиева Ляйсан Фаритовна, ²Писковацкий Юрий Валерьевич
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,
¹lasana01@mail.ru, ²yura_kazan@mail.ru

Аннотация: в статье рассматривается вопрос применения систем накопления электрической энергии. Приводятся виды систем и результаты использования данной технологии. Приведены примеры Российских компаний, занимающиеся производством аккумуляторов. Рассмотрены недостатки и перспективы использования систем накопления электроэнергии.

Ключевые слова: система накопления электрической энергии, ВИЭ, аккумулятор, энергосистема, надежность.

APPLICATION OF ELECTRIC ENERGY STORAGE SYSTEMS

¹Gayfieva Lyaysan Faritovna, ²Piskovatsky Yuri Valerievich
^{1,2}FSBEI HE KSPEU, Kazan
¹lasana01@mail.ru, ²yura_kazan@mail.ru

Abstract: the article discusses the use of electric energy storage systems. The types of systems and the results of using this technology are given. Examples of Russian companies engaged in the production of batteries are given. The disadvantages and prospects of using electricity storage systems are considered.

Keywords: electric energy storage system, RES, battery, power system, reliability.

Система накопления электрической энергии является сложной системой, которая предназначена для накопления, хранения и передачи электроэнергии. Данная технология приобрела большую популярность в связи с ростом использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в особенности ветряных и солнечных электростанций. Актуальным является вопрос для тех регионов России, которые технологически не присоединены к Единой энергетической системе, например, часть территории Дальнего Востока и Арктики [3].

Развитие систем накопления электроэнергии способствует к:

1. Повышению надежности электроснабжения. Для некоторых потребителей прерывание электроснабжения даже на малый промежуток времени может привести к значительному ущербу.

2. Сглаживанию пиков и провалов нагрузки. Резкая смена характера нагрузки так же негативно влияет на работу энергосистемы. Из-за частых колебаний мощности по линиям электропередач увеличиваются потери активной мощности, понижается уровень статической и динамической устойчивости энергосистемы.

3. Экономии топлива и ресурса генераторов. Включение систем накопления электрической энергии позволит уменьшить установленную мощность, обеспечить их высокий коэффициент загрузки и сократить расход топлива.

4. Автоматическое регулирование частоты и потоков активной мощности. Любое изменение баланса активной мощности приводит к изменению частоты. Накопители электроэнергии могут применяться в качестве резерва первичного и вторичного регулирования частоты.

5. Компенсации реактивной мощности. Управление реактивной мощностью – одна из основных функций систем накопления электроэнергии.

6. Выравниванию неравномерности генерации ВИЭ. Создание технического комплекса «ВИЭ – СНЭ» позволит поддерживать баланс между генерацией и потреблением электроэнергии, а также оптимизировать управление потоками мощности от возобновляемых источников.

Аккумуляторы в распределительных электрических сетях позволяют увеличить гибкость и управляемость сети, позволяя хранить электрическую энергию в то время, когда ее производство превышает потребление, а затем использовать эту энергию в период, когда потребление превышает производство. Это позволяет сократить использование традиционных источников энергии, таких как газ и уголь, и уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу [4].

Приведем основные виды систем накопления электроэнергии. На первом месте (98,5 % общего объема мощности накопителей в мире) являются Гидроаккумулирующие системы (ГАЭС). Далее идут электрохимические накопители (литий-ионные аккумуляторы), накопители сжатого воздуха и суперконденсаторы [5].

В России существуют конкретные примеры применения системы накопления электрической энергии в распределительных сетях.

Компания ООО «Энер Зэт» разрабатывает решения в сфере энергетики с использованием литий-ионных аккумуляторов собственного производства, имеет большой опыт во внедрении систем накопления энергии на объектах энергетики.

Проект компании «Сколково» на базе экспериментального участка электросетей в Подмосковье, использует систему накопления электрической энергии на основе графеновых аккумуляторов, позволяющая повысить эффективность использования энергии и снизить затраты на ее производство.

Проект «Энергоаккумулятор» в городе Екатеринбурге использует систему накопления электрической энергии на основе водородных

топливных элементов. Этот проект предназначен для обеспечения непрерывного и безопасного электроснабжения в случае аварийных ситуаций [1].

Эти и другие проекты демонстрируют потенциал внедрения и применения систем накопления электрической энергии на основе аккумуляторов в России и ее важность для перехода к более устойчивой и экологически чистой энергетике.

Несмотря на многие преимущества, система накопления электрической энергии при помощи аккумуляторов имеет и некоторые недостатки:

1. Высокая стоимость – в настоящее время стоимость аккумуляторов остается довольно высокой, что может стать препятствием для широкого использования таких систем.

2. Ограниченная емкость хранения - аккумуляторы могут хранить только ограниченное количество энергии, поэтому большие установки требуют значительного количества аккумуляторов.

3. Ограниченная жизненность – аккумуляторы имеют ограниченный срок службы, после которого требуется их замена. Это также может увеличивать общую стоимость системы [5].

4. Отрицательное влияние на окружающую среду - при изготовлении аккумуляторов используются определенные химические вещества, которые могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду при неправильной утилизации.

5. Ограниченная скорость зарядки и разрядки – аккумуляторы имеют ограниченную скорость зарядки и разрядки, что может быть проблемой при работе системы в условиях высокой нагрузки [2].

В целом, несмотря на недостатки, система накопления электрической энергии при помощи аккумуляторов остается эффективным и перспективным решением для создания более устойчивой и экологически чистой энергетической системы.

Список литературы

1. Калимуллин Л.В., Левченко Д.К., Смирнова Ю.Б., Тузикова Е.С. Приоритетные направления, ключевые технологии и сценарии развития систем накопления энергии. // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2019. - № 1. – С. 42–54.

2. Козлов С.В., Киндряшов А.Н., Соломин Е.В. Анализ эффективности систем накопления энергии. // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 2 (166). – С. 29-34.

3. Менделеев Д.И., Галимзянов Л.А., Федотов А.Ю., Россихин Д.А. Анализ применения систем накопления электроэнергии на тепловых электрических станциях. // Развивая энергетическую повестку будущего Сборник докладов Международной научно-практической конференции для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК. Санкт-Петербург. – 2021. – С. 73-78.

4. Россихин Д.А., Выприцкая Т.В., Сидорова А.В. Системы накопления электроэнергии: Перспективы и потенциал развития. // Энергия единой сети. – 2021. – № 3 (58). – С. 19-26.

5. Технологии накопления электроэнергии. [Электронный ресурс] – URL: <https://sst.ru/press/expert-articles/the-technology-of-electric-power-accumulation/> (дата обращения: 02.03.2023).

6. Зырянов В. М. «Системы накопления энергии: российский и зарубежный опыт» / В.М. Зырянов, Н.Г. Кирьянова, И.Ю. Коротков, Г.Б. Нестеренко Глеб Борисович, Пранкевич Глеб Александрович. Энергетическая политика, по. 6 (148), 2020, pp. 76-87.

УДК 620.9

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ

¹Гайфиева Ляйсан Фаритовна, ²Писковацкий Юрий Валерьевич
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,
¹lasana01@mail.ru, ²yura_kazan@mail.ru

Аннотация: в работе рассмотрены основные проблемы и ограничения, связанные с использованием ветровой энергии. Были также рассмотрены проблемы, связанные с визуальным и акустическим воздействием на окружающую среду, а также с локализацией станций и согласованием проектов с местными властями. В статье представлены возможные пути решения этих проблем и ограничений, включая использование новых технологий, развитие хранения энергии и улучшение процессов согласования с местными властями.

Ключевые слова: ВИЭ, ветровая энергия, аккумулятор, энергосистема, надежность, система накопления электрической энергии.

THE MAIN PROBLEMS AND LIMITATIONS ASSOCIATED WITH THE USE OF WIND ENERGY

¹ Gayfieva Laysan Faritovna, ²Piskovatsky Yuri Valerievich
^{1,2} FSBEI HE "KSPEU", Kazan
¹lasana01@mail.ru, ²yura_kazan@mail.ru

Abstract: the paper considers the main problems and limitations associated with the use of wind energy. The paper analyzed the factors that affect the efficiency of wind farms, such as wind direction and speed, the variability of climatic conditions and the need for

energy storage. Problems related to visual and acoustic environmental impact, as well as the localization of stations and the coordination of projects with local communities were also considered. The article discusses possible ways to address these challenges and limitations, including the use of new technologies, the development of energy storage, and improved community alignment processes.

Keywords: RES, wind energy, accumulator, power system, reliability, electric energy storage system.

Основные проблемы и ограничения, связанные с использованием ветровой энергии, являются одними из наиболее актуальных проблем в сфере возобновляемых источников энергии. В этой статье мы рассмотрим некоторые из основных проблем, которые ограничивают развитие ветровой энергетики и возможные пути их решения.

Первой проблемой, связанной с ветровой энергетикой, является ее нестабильность. Несмотря на то, что ветряные турбины могут генерировать электричество в течение большей части дня, они зависят от изменчивости и наличия ветра, что может приводить к значительным колебаниям производства энергии. Это усложняет интеграцию ветровой энергетики в общую систему электроснабжения, поскольку необходимо обеспечивать стабильность сети и учитывать изменения производства энергии.

Второй проблемой является локализация ветряных электростанций и согласование проектов с местными сообществами. В некоторых случаях проекты ветровой энергетики могут противоречить интересам местных жителей, например, из-за негативного влияния на окружающую среду, в том числе из-за шума и визуального загрязнения ландшафта. В результате проекты могут столкнуться с протестами и ограничениями со стороны местных властей и сообществ, что затрудняет их реализацию.

Третья проблема связана с необходимостью хранения энергии. Ветряные турбины могут производить электричество только при наличии ветра, а это означает, что необходимы системы накопления электрической энергии для компенсации изменчивости производства энергии и обеспечения надежности сети. Это может повысить стоимость проектов ветровой энергетики и сделать их менее конкурентоспособными по сравнению с другими источниками энергии.

Решением проблемы нестабильности производства энергии является разработка более эффективных систем накопления энергии. В настоящее время активно идет работа над различными технологиями хранения энергии, такими как батареи, гидроаккумуляторы, тепловые накопители и др.

Проблема шума и вибраций. Чтобы решить эту проблему, можно применять различные технологии звукопоглощения и звуковой изоляции,

а также улучшать конструкцию лопастей ветротурбин. В частности, новые материалы и дизайн лопастей могут существенно снизить уровень шума и вибраций.

Проблема воздействия на фауну и флору. Для решения этой проблемы необходимо учитывать экологические особенности региона при проектировании и строительстве ветропарков. Кроме того, важно принимать меры по защите животных и растительности, в том числе создавать зоны охраны и предотвращать строительство ветропарков в уязвимых экосистемах.

Чтобы решить проблему локализации проектов ветровой энергетики, можно использовать подходы, основанные на вовлечении местных сообществ и учете их мнения при планировании проектов. Это может быть достигнуто путем проведения общественных слушаний, обмена информацией и консультаций с местными жителями и организациями, а также путем предоставления им возможности участия в разработке и реализации проектов.

В отношении проблемы стоимости проектов ветровой энергетики, существует несколько путей ее решения. Во-первых, можно увеличить эффективность ветряных турбин и других элементов системы ветровой энергетики, чтобы снизить стоимость ее производства и установки. Во-вторых, можно применять инновационные технологии для снижения стоимости хранения энергии, например, использование утилизированных автомобильных батарей для хранения энергии. И, наконец, можно применять стимулирующие меры со стороны государства, такие как налоговые льготы или субсидии для проектов ветровой энергетики, что может снизить их стоимость и повысить их конкурентоспособность на энергетическом рынке.

Важно отметить, что ветровая энергетика является относительно новой технологией и активно развивается. Ежегодно появляются новые решения и технологии, позволяющие снизить затраты на производство и эксплуатацию ветропарков, повышать эффективность ветрогенераторов и снижать их воздействие на окружающую среду.

В работе были рассмотрены основные проблемы и ограничения, связанные с использованием ветровой энергии, такие как нестабильность производства, проблемы с локализацией и согласованием проектов, а также необходимость хранения энергии. Были предложены возможные пути решения данных проблем, такие как использование новых технологий для повышения стабильности производства, участие местных сообществ в процессе планирования проектов, а также развитие систем хранения энергии.

Несмотря на то, что ветровая энергетика имеет свои ограничения и проблемы, она остается важным и перспективным источником энергии в будущем. Продолжение исследований в этой области, а также развитие новых технологий позволят улучшить эффективность и надежность ветровой энергетики и сделать ее более конкурентоспособной по сравнению с другими источниками энергии.

Список литературы

1. Renewable Capacity Statistics 2022. - URL: <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022> (дата обращения: 18.04.2023).

2. Деньги из ветра и солнца: РТ намерена развивать «зеленую» энергетику. - URL: <https://rt.rbc.ru/tatarstan/31/08/2020/5f4f4c3b9a7947ca5d882027> (дата обращения: 21.04.2023 г.).

3. POWER Data Access Viewer (NASA) URL: power.larc.nasa.gov/data-accessviewer/ (дата обращения: 21.04.2023 г.).

4. Мансурова Л.А., Ветровая энергетика: современное состояние и перспективы развития / Л.А. Мансурова, Н.В. Некрасова. - Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2018. - № 9. - С. 37-44.

5. Некрасова Н.В. Анализ состояния и перспективы развития ветровой энергетики в России / Н.В. Некрасова. - Материалы II Международной научно-практической конференции "Энергетика в XXI веке". - 2016. - С. 199-202.

6. Лобанов А.В. Анализ перспектив развития ветровой энергетики в России / А.В. Лобанов, Н.А. Андреев, В.С. Самсонов. - Вестник Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. - 2014. - № 3. - С. 27-36.

7. Разумовская О.В. Проблемы и перспективы ветровой энергетики в России / О.В. Разумовская, А.В. Харламов. - Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - 2016. - Т. 16, № 1. - С. 170-174.

8. Башмаков И.А. Анализ перспектив развития ветровой энергетики в России / И.А. Башмаков, О.Б. Баев, А.В. Литвинов. - Вестник ИргТУ. - 2016. - Т. 20, № 1. - С. 19-28.

9. Севостьянов П.И. Мнимые и реальные проблемы ветровой энергетики / П.И. Севостьянов, В.Е. Шунков. - URL: https://www.ng.ru/energy/2022-02-07/12_8365_problems.html (дата обращения: 21.04.2023 г.).

ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Павлов Иван Сергеевич,
Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань
Vanyapavlov21@yandex.ru

Аннотация: в этой статье рассматриваются проблемы и решения, связанные с интеграцией возобновляемых источников энергии в системы энергетического оборудования. В нем исследуется эффективное использование солнечной, ветровой и гидроэлектроэнергии в электроприводах и автоматизации, обсуждаются такие вопросы, как качество электроэнергии, интеграция в сеть и управление энергопотреблением.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, энергетическое оборудование, стабильность производства энергии, солнечная энергия, ветровая энергия, эффективность производства, технологии производства.

INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN POWER EQUIPMENT: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Pavlov Ivan Sergeevich,
Kazan State Power Engineering University, Kazan
Vanyapavlov21@yandex.ru

Abstract: this article discusses the challenges and solutions associated with integrating renewable energy into power equipment systems. It explores the efficient use of solar, wind and hydro power in electric drives and automation and discusses issues such as power quality, grid integration and energy management.

Keywords: renewable energy sources, power equipment, stability of energy production, solar energy, wind energy, production efficiency, production technologies.

В последние годы увеличение количества потребляемой энергии и проблемы с ископаемыми топливами привели к усиленной интеграции возобновляемых источников энергии в энергетическое оборудование. Решение данной проблемы является крайне актуальным не только для экономически развитых стран, но и для всего мира в целом.

Возобновляемые источники энергии включают в себя солнечную и ветровую энергию, гидроэнергетику, биомассу и т.д. Они представляют собой важный источник энергии, который может смягчить зависимость от ископаемых топлив и уменьшить углеродный след [1]. Однако, интеграция возобновляемых источников энергии в энергетическое оборудование влечет за собой ряд проблем.

Первая проблема связана с тем, что возобновляемые источники энергии маломощные по сравнению с традиционными источниками,

такими как газ и нефть. Это означает, что на производство таких источников может требоваться большое количество установок, что повышает себестоимость.

Вторая проблема, связанная с возобновляемыми источниками энергии, заключается в том, что количество поставляемой энергии может быть менее стабильным в сравнении с ископаемыми топливами. Когда ветер сужает свое действие или солнечный свет не попадает на панели, возобновляемые источники энергии могут выпускать меньше энергии. Это приводит к нестабильности в снабжении энергией и может представлять угрозу для надежности электросети.

Третья проблема заключается в сохранении энергии, которая производится от возобновляемых источников. Одна из опций - использовать батареи для хранения энергии. Однако, батареи являются дорогостоящими и требуют постоянного обслуживания и замены. Другой вариант - использование водородных технологий для хранения энергии водорода. Но это тоже требует специализированных средств и повышает общую стоимость производства энергии.

Однако, эти проблемы могут быть преодолены. В настоящее время происходит активная работа по разработке новых технологий производства возобновляемой энергии, что позволит увеличить производительность ветряных турбин и солнечных батарей. Например, уже сейчас разрабатываются более эффективные солнечные батареи, комбинирующие различные технологии для повышения их производительности.

В последние годы инженеры и ученые по всему миру работают над развитием новых технологий производства возобновляемой энергии [2]. Одним из основных направлений работы является увеличение производительности ветряных турбин и солнечных батарей.

Ветряные турбины стали популярным источником возобновляемой энергии благодаря своей способности преобразовывать энергию ветра в электроэнергию. Но для увеличения их производительности нужны технологии, позволяющие значительно увеличить эффективность работы ветряных турбин.

Одним из новых методов является использование компьютерных моделей, которые позволяют улучшить дизайн ветряной турбины, оптимизировать управление и повысить надежность работы. Компьютерные модели используются для создания виртуальных прототипов ветряных турбин, что позволяет инженерам и дизайнерам проводить тестирование и оптимизацию компонентов и систем, а также управлять процессом разработки и производства [3]. Применение

компьютерных моделей способствует созданию более эффективных и надежных ветрогенераторов, что в свою очередь способствует развитию экологически чистой энергетики и уменьшению загрязнения окружающей среды. Благодаря использованию компьютерных технологий инженеры и дизайнеры могут представлять и тестировать различные сценарии эксплуатации ветряных турбин, а также прогнозировать их поведение в разных климатических условиях.

Также исследования в области материалов и технологий позволяют создавать компоненты ветряных турбин с более высокими параметрами прочности, что увеличивает их долговечность и снижает необходимость их регулярной замены. Для производства ветряных турбин используются различные материалы, такие как сталь, алюминий, композиционные материалы и другие. Кроме того, разработаны новые технологии, которые позволяют увеличивать эффективность работы ветряных турбин и увеличивать их мощность.

Разработка и использование новых материалов, таких как углеродные материалы, нанотехнологии, а также новые металлические сплавы, позволяют повышать прочность и долговечность конструкций ветряных турбин. Кроме того, технологические решения, такие как использование 3D-печати для изготовления деталей ветряных турбин, могут повысить качество и точность изготовления деталей и уменьшить количество отходов.

Солнечные батареи также являются важным источником возобновляемой энергии. Однако, пока не существует способа сделать их совершенно эффективными. Но благодаря новым технологиям, таким как кремниевые нанопроводы и многослойные тонкие пленки, ученые смогут улучшить производительность солнечных батарей.

Также были разработаны технологии, которые позволяют производить солнечные батареи из более дешевых материалов. Это поможет решить проблему высокой стоимости солнечных батарей и сделать их более доступными для широкого круга потребителей [4].

Кроме того, важно также разрабатывать новые программные решения, которые позволят находить оптимальное решение при проблематике неоднородности выработки электроэнергии. К таким решениям относятся, например, технологии хранения энергии, что позволит использовать энергию, накопленную в солнечных батареях и ветряных турбинах, когда потребность в основном оборудовании будет максимальной. Это позволит использовать возобновляемые источники энергии более эффективно.

Сегодня интеграция возобновляемых источников энергии в энергетическое оборудование несет большие перспективы для экономики и общества в целом. Использование возобновляемых источников энергии в энергетическом оборудовании позволяет существенно снизить зависимость от традиционных источников энергии, способствует экономическому росту и созданию новых рабочих мест в сфере производства, установки, эксплуатации и обслуживания энергетического оборудования, позволяет сократить негативное воздействие на окружающую среду и уменьшить выбросы парниковых газов, что способствует более чистому и здоровому окружающему пространству может оказать положительное влияние на глобальные вызовы, такие как изменение климата и энергетическая безопасность [5].

Интеграция возобновляемых источников энергии в энергетическое оборудование является большим шагом в развитии экологических технологий. Сегодня уже можно видеть, что решения, которые разрабатываются в этом направлении, дают свои плоды, и первые проблемы уже начинают исчезать. Каждый день наш мир становится более экологичным и продвинутым, и обеспечить его энергией - повседневная работа наших провизоров!

Список литературы

1. Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике / О. В. Афанасьева, И. Г. Ахметова, А. М. Ба Бораик [и др.]. Том 1. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2018. – 423 с. – ISBN 978-5-89873-533-3. – EDN GAMUCQ.

2. Farjana, S. H., & Rahman, S. M. (2020). Integration of renewable energy sources into the power grid: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109563.

3. Hong, M., Liu, W., & Li, Y. (2020). Analysis of power system stability with high-penetration renewable energy sources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109545.

4. Kwak, D., & Kang, M. (2020). Integration of renewable energy sources into power systems: A review of modeling and simulation approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109598.

5. Sawant, S. V., & Bhattacharya, S. (2020). Power electronics in renewable energy systems: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109470.20:14

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МАЛЫХ ВЕТРЯНЫХ ТУРБИН

Павлов Иван Сергеевич,
Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань
Vanyapavlov11@yandex.ru

Аннотация: целью статьи является изучение влияния погодных условий на эффективность работы малых ветряных турбин. В работе проанализированы показатели производительности различных типов малых ветряных турбин при разных погодных условиях и определена их зависимость от скорости ветра и температуры воздуха. Результаты исследования обладают практической значимостью для повышения эффективности работы малых ветряных турбин при различных погодных условиях и сезонах года, что позволит повысить их привлекательность с точки зрения экономического и экологического эффектов.

Ключевые слова: ветряная турбина, эффективность, погодные условия, скорость ветра, температура воздуха, производительность, экономический эффект, экологический эффект.

INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE PERFORMANCE OF SMALL WIND TURBINES

Pavlov Ivan Sergeevich,
Kazan State Power Engineering University, Kazan
Vanyapavlov11@yandex.ru

Abstract: the purpose of the article is to study the influence of weather conditions on the efficiency of small wind turbines. The paper analyzes the performance indicators of various types of small wind turbines under different weather conditions and determines their dependence on wind speed and air temperature. The results of the study have practical significance for improving the efficiency of small wind turbines under various weather conditions and seasons of the year, which will increase their attractiveness in terms of economic and environmental effects.

Keywords: wind turbine, efficiency, weather conditions, wind speed, air temperature, productivity, economic effect, environmental effect.

Малые ветряные турбины являются одной из самых популярных форм возобновляемой энергии в мире. Они могут быть использованы как в отдаленных сельских районах, так и в городских условиях. Большинство малых ветряных турбин устанавливаются на крышах зданий или на открытых пространствах, где скорость ветра достаточно высока [1]. Ветряные турбины – один из самых эффективных способов для генерации электроэнергии из возобновляемых источников, их производительность во многом зависит от погодных условий, которые в свою очередь могут быть

изменчивыми. Именно поэтому, чтобы повысить эффективность малых ветряных турбин необходима дополнительная настройка параметров устройства, чтобы оно справилось с изменчивыми погодными условиями.

Погодные условия, особенно скорость ветра, могут иметь значительное влияние на производительность малых ветряных турбин. Скорость ветра влияет на параметры мощности, момента, скорости вращения и коэффициента мощности малых ветряных турбин. Эти параметры напрямую связаны с выпуском электроэнергии и могут изменяться в зависимости от изменений скорости ветра [2].

Одной из главных проблем при работе с малыми ветряными турбинами является нестабильность ветра. В зависимости от скорости ветра, турбина может работать на разных режимах – ветряной режим, режим номинальной мощности и режим перегрузки. При скоростях ветра меньше, чем ветряной, турбина начинает выполнять функцию запаса энергии, а при повышении скорости ветра до режима перегрузки, турбина автоматически отключается [3]. Кроме того, погодные условия, такие как температура воздуха, также могут оказать влияние на работу турбин.

Скорость ветра – самый важный фактор, влияющий на производительность малых ветряных турбин. Обычно малые ветряные турбины начинают генерировать энергию при скорости ветра около 3 м/с. Однако, для максимальной производительности требуется более высокая скорость ветра, обычно от 5 до 25 м/с. Если скорость ветра ниже 3 м/с, турбина может быть нерентабельной и неэффективной. При скорости ветра выше 25 м/с малые ветряные турбины могут оказаться неспособными выдержать напряжение и выйти из строя.

Температура воздуха – еще один важный фактор, влияющий на производительность малых ветряных турбин. Высокая температура воздуха может вызвать увеличение вязкости воздуха и уменьшение плотности, которая может привести к снижению эффективности работы турбины [4]. Низкая температура воздуха может привести к образованию льда на лопастях турбины, что также может привести к снижению производительности.

Различные типы малых ветряных турбин имеют различные характеристики производительности и восприимчивы к погодным условиям по-разному. Некоторые турбины, такие как горизонтально-осевые малые ветряные турбины, могут быть неэффективными при низкой скорости ветра, но иметь более высокую производительность при высоких скоростях ветра. В то же время вертикально-осевые малые ветряные турбины могут работать более стабильно при разных скоростях ветра, но иметь более низкую производительность при высоких скоростях ветра.

Для повышения эффективности работы малых ветряных турбин можно использовать различные методы, такие как установка турбин на большой высоте, где скорость ветра более высокая, использование механизмов для регулирования скорости вращения лопастей турбин для поддержания оптимального режима работы и использование материалов, которые могут устойчиво работать в различных погодных условиях.

Важно также отметить, что качество этой регуляции зависит от выполнения многих параметров. В основном это размер ветряной турбины, ротора, формы лопастей турбины, системы регулирования и дополнительных факторов.

Размер ветряных турбин, используемых для генерации электроэнергии, может различаться. Однако, для малых ветряных турбин наиболее распространенными являются модели мощностью от 500 Вт до 15 кВт. Малые ветряные турбины могут использоваться для генерации электроэнергии в домах, фермах, заводах и многих других местах. В результате, чтобы обеспечить эффективность работы малых ветряных турбин, их размер и мощность должны быть оптимальными для конкретных условий эксплуатации [5].

Ротор – одна из самых важных частей малых ветряных турбин, которая обеспечивает эффективность вращения турбины ветром. Ротор состоит из лопастей, которые должны быть правильно спроектированы и размещены на цилиндрическом корпусе ветряной турбины. Требуется определенный уровень гибкости, чтобы лопасти могли переключаться на изменение скорости ветра. Она должна также строго соответствовать размеру лопастей, чтобы ротор мог вращаться при разных скоростях ветра. Если лопасти не согласованы с ключевыми параметрами, включая размер ротора и форму, то это может привести к значительному снижению эффективности малых ветряных турбин.

Следующий фактор, который влияет на эффективность малых ветряных турбин, это форма лопастей. Как правило, лепестки имеют криволинейную форму, они напоминают форму крыла самолета. Эта форма позволяет лопастям лучше адаптироваться к различным погодным условиям и устанавливать более высокую скорость вращения. Форма лопастей должна быть правильно выбрана в зависимости от погодных условий в месте установки малых ветряных турбин [6].

Таким образом, можно сделать вывод, что погодные условия имеют значительное влияние на производительность малых ветряных турбин. Чтобы повысить эффективность работы турбин, требуется производить дополнительную настройку параметров устройства в зависимости от

погодных условий. Оптимальный размер, форма лопастей, система регулирования и другие ключевые факторы должны быть правильно спроектированы и установлены, чтобы обеспечить максимальную производительность малых ветряных турбин.

Список литературы

1. Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике / О. В. Афанасьева, И. Г. Ахметова, А. М. Ба Бораик [и др.]. Том 1. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2018. – 423 с. – ISBN 978-5-89873-533-3. – EDN GAMUCQ.

2. Fuentes-Moreno, J. A., & Chicón-Rodríguez, L. (2017). Performance Analysis of Small Wind Turbines under Different Wind Speeds and Turbulences. *Energies*, 10(5), 608.

3. Johnson, G. L. (2015). Effects of Wind Turbine Size and Number on Performance in a Wind Farm Environment. In *IntechOpen*.

4. Mohamed, A. M., & Abo-Elyousr, A. M. (2019). Assessment of Small Wind Turbines in Egypt under Different Wind Regimes. *Journal of Renewable Energy*, 2019.

5. Nigusse, B. M., & Misra, R. (2012). Modelling the performance of small wind turbines under different wind speed regimes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3), 477-484.

6. Oyedele, L. O., & Kumar, V. (2018). Performance evaluation of small wind turbines using Weibull distribution models. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 179, 409-416.

УДК 629.064.5

АВТОНОМНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ НА ПРИМЕРЕ БЛОЧНОГО ПАРОВОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Гиниятуллина Лиана Рамилевна,
ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет», г. Казань,
lginiyatullina27@bk.ru

Аннотация: в статье рассмотрены конструктивные особенности и способы использования аналоговых источников электроэнергии при проектировании систем производственного электроснабжения предприятий на примере мини - ТЭЦ.

Ключевые слова: автономное электроснабжение, генератор, электроэнергия, реактивная мощность, промышленные предприятия, турбоагрегаты.

AUTONOMOUS POWER SUPPLY ON THE EXAMPLE OF A BLOCK STEAM TURBOGENERATOR

Giniyatullina Liana Ramilevna
FSBEI HE "KSPEU", Kazan
lginiyatullina27@bk.ru

Abstract: the article discusses the design features and methods of using analog sources of electricity in the design of productive power supply systems for enterprises using the example of a small CHP.

Keywords: independent power supply, generator, electric power, reactive power, industrial enterprises, turbine units.

Автономная система электроснабжения обеспечивает питание отдельно от сети и активно используется в сельских домах и коттеджах. Автономное электроснабжение очень популярно не только у индивидуальных предпринимателей, но и у крупных компаний. Обычно его устанавливают организации, которым требуется непрерывный производственный процесс. Автономное электроснабжение организаций позволяет самостоятельно управлять процессом электроснабжения. Частные генераторы работают долго, топливо дорогое, а выгоды от электроснабжения ценятся при первом отключении электроэнергии, скачке напряжения.

Рассмотрим автономное электроснабжение блочного парового турбогенератора.

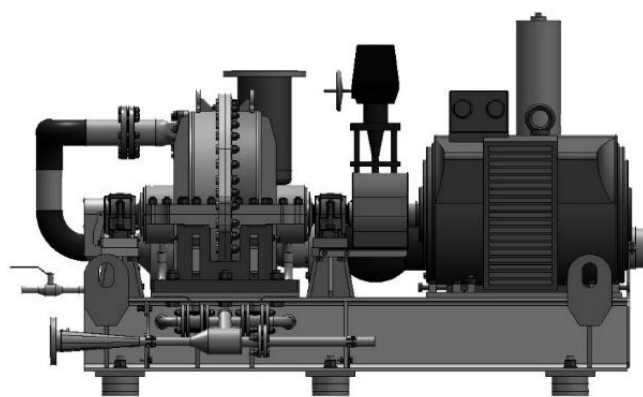


Рис. 1. Паровой турбогенератор

В связи с неуклонным ростом цен на электроэнергию многие предприятия, производящие и использующие пар для технологических и тепловых нужд, переходят на автономное производство с использованием блочных паротурбинных генераторов с турбинами противодавления для комбинированного производства тепла и электроэнергии.

Основная часть котельных промышленных производств и промышленных и коммунальных предприятий оснащена котлами насыщенного или слаборазогретого пара производительностью 10–25 т/ч и давлением 1,4 МПа.

Использование турбоагрегата в котле позволяет:

1. Значительное сокращение электроэнергии, покупаемой за независимость

2. Снижение заявленной мощности

3. Для более полной компенсации реактивной мощности электроустановок используют синхронный генератор турбоагрегата.

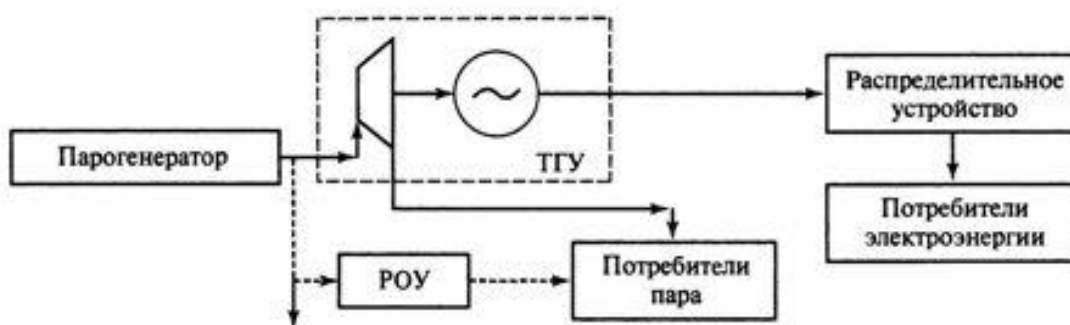


Рис. 2. Принципиальная схема турбогенераторной установки (ТГУ) в котле представлена

Блочные турбоагрегаты, установленные на нулевом уровне здания котельной, предназначены для выработки электроэнергии за счет дальнейшего использования вырабатываемого в установке пара на технологические и тепловые нужды. Конструктивно генераторы представляют собой заводскую малогабаритную силовую установку, состоящую из турбины противодействия, электрогенератора и редуктора, размещенных в общем рамном маслобаке со вспомогательным оборудованием и устанавливаемых отдельно оборудованием.

Турбоагрегаты включают систему циркуляционного маслоснабжения, локальную гидродинамическую систему автоматического управления турбиной и противоаварийной защиты, систему управления и защиты генератора. Регуляторы допускают ручное управление и обеспечивают прием электрических управляющих сигналов при дистанционном или автоматическом управлении установкой.

Установки оснащены синхронными генераторами типа СГ2 со снятой нейтралью питания и воздухоохладителем. Их можно охарактеризовать следующими особенностями: высокая надежность (наработка в непрерывном режиме не менее 5000 часов), длительный срок службы (25 лет) и ресурс (100 000 часов), межремонтный период (не менее 5 лет),

минимальные монтажные и пусконаладочные работы, низкие эксплуатационные расходы простота обслуживания и отсутствие требований к уровню подготовки обслуживающего персонала, нормальная цена с коротким (1,5-2 года) сроком погашения, система послепродажного обслуживания.

Одно из направлений является увеличение доли использования электроэнергии в потребительских секторах (бытовом, торговом и промышленном) под влиянием технического прогресса. Электричество является универсальным источником энергии и современные технологии позволяют результативно использовать его в системах регулирования температуры воздуха и воды и, чаще всего, с учетом полной стоимости различных решений, экономически оправданы. Электричество вытеснит уголь из секторов конечного потребления, а затем начнется конкуренция с природным газом.

Благодаря новым техническим решениям расширяются возможности автономного электроснабжения, что открывает дополнительные ниши в клиентских сегментах.

Список литературы

1. Зысин Л.В. Парогазовые и газотурбинные установки // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2010 г. 368 с.

2. Миллер Г.Р. Автоматизация в системах электроснабжения промышленных предприятий // М.: Государственное энергетическое издательство, 2011. 176 с.

3. Телегин В.В., Шпиганович А.Н. Системы автономного энерго-снабжения на базе технологий альтернативной энергетик // Электрика. Ежемесячный научный, производственно - технический и информационно - аналитический журнал. 2012. №2. С. 17 – 20.

4. Телегин В. В. Оптимизация структуры и параметров автономных электрогенерирующих комплексов // Научный журнал «Фундаментальные исследования» – Пенза: ИД «Академия Естествознания». 2013. № 8(2) С. 312 - 317.

5. Шпиганович А.Н., Телегин В.В. Энергосбережение с использованием автономных источников на базе технологий альтернативной энергетики // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2011. №4 (26). С. 16 – 21.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Глоткина Любовь Алексеевна
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия
glotkina_lyuba@mail.ru

Аннотация: в настоящее время, когда проблема изменения климата стала одной из самых актуальных в мировой политике, использование возобновляемых источников энергии становится все более важным. Они являются ключевым инструментом для обеспечения устойчивого развития и сокращения выбросов парниковых газов.

В данной статье будет проведено исследование эффективности использования возобновляемых источников энергии для обеспечения устойчивого электроснабжения. Будут рассмотрены различные типы возобновляемой энергии, такие как солнечная, ветровая, гидроэнергетика и другие.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, электроснабжение, устойчивость, экономическая эффективность, экологическая устойчивость, технологическое развитие, энергетическое хранение.

RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF USING RENEWABLE ENERGY SOURCES TO ENSURE SUSTAINABLE ELECTRICITY SUPPLY

Glotkina Lyubov Alekseevna
Kazan State Power Engineering University, г. Kazan, Russia
glotkina_lyuba@mail.ru

Abstract: at present, when the problem of climate change has become one of the most urgent in world politics, the use of renewable energy sources is becoming increasingly important. They are a key tool for ensuring sustainable development and reducing greenhouse gas emissions.

In this article, a study will be conducted on the efficiency of using renewable energy sources to ensure sustainable electricity supply. Various types of renewable energy will be considered, such as solar, wind, hydropower and others.

Keywords: renewable energy sources, electricity supply, sustainability, economic efficiency, environmental sustainability, technological development, energy storage.

В последние десятилетия все большее внимание уделяется разработке и реализации альтернативных источников энергии, таких как солнечная, ветровая, гидроэнергетика, биомасса и геотермальная энергия. Эти источники энергии являются возобновляемыми, что означает, что они могут быть использованы без истощения их запасов и с минимальным воздействием на окружающую среду.

Для исследования эффективности использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для обеспечения устойчивого электроснабжения был проведен анализ различных аспектов, включая экономические, экологические и социальные факторы. Результаты исследования показывают, что ВИЭ имеют значительный потенциал для устойчивого электроснабжения [1].

Солнечная энергия является одним из самых быстро развивающихся источников возобновляемой энергии. Солнечные панели становятся все более доступными и экономически эффективными, и многие страны уже интенсивно используют солнечную энергию для производства электроэнергии. Ветроэнергетика также имеет большой потенциал, особенно в регионах с высокими скоростями ветра, например, на побережье Дальнего Востока России, где скорость ветра составляет более 5 м/с. Технологии ветроэнергетики постоянно совершенствуются, и ветряные электростанции становятся все более эффективными и экономически привлекательными [2].

Гидроэнергетика, основанная на использовании потенциальной и кинетической энергии воды, также является значимым источником возобновляемой энергии. Гидроэлектростанции (ГЭС) могут обеспечивать стабильное и постоянное производство электроэнергии, но они требуют определенных географических и гидрологических условий [3]. Строительство малых ГЭС подойдет для изолированных регионов России, например, Республика Саха, которая является одной из наиболее речных и озерных регионов. Однако, существуют и другие формы гидроэнергетики, такие как морская энергетика, которая использует приливы и волны для производства электроэнергии.

Биомасса, которая включает в себя органические отходы, растения и древесину, также может быть использована в качестве возобновляемого источника энергии. Процессы сжигания биомассы могут генерировать тепло и электроэнергию, при этом снижая выбросы парниковых газов. Однако, для эффективного использования биомассы необходимо обеспечить устойчивые методы ее сбора и управления [4].

Геотермальная энергия основана на использовании теплоты, накопленной внутри Земли. Этот источник энергии может быть использован для производства электроэнергии и обогрева. Однако, геотермальные ресурсы ограничены географически, и их эффективность может зависеть от глубины и температуры подземных пластов.

Исследования показывают, что использование возобновляемых источников энергии имеет множество преимуществ. Во-первых, они

способствуют сокращению выбросов парниковых газов и борьбе с изменением климата. Во-вторых, возобновляемая энергия может снизить зависимость от источников энергии, основанных на ископаемых топливах, и обеспечить большую независимость в сфере энергоснабжения [5]. Кроме того, использование ВИЭ может способствовать созданию новых рабочих мест и развитию экономики.

Однако, существуют и вызовы при внедрении возобновляемой энергетики. Некоторые из них включают высокие инвестиционные затраты на установку и обслуживание оборудования, нестабильность поставок энергии в зависимости от погодных условий, необходимость развития энергосистем с учетом возобновляемых источников энергии, а также потенциальные негативные воздействия на окружающую среду, такие как воздействие на птиц от ветряных турбин или изменение экосистемы рек при строительстве гидроэлектростанций.

Для повышения эффективности использования возобновляемых источников энергии и обеспечения устойчивого электроснабжения необходимы дальнейшие исследования и разработки. Это включает разработку более эффективных технологий и улучшение систем хранения энергии, чтобы компенсировать нестабильность в производстве энергии от возобновляемых источников. Также требуется совершенствование правовых и регуляторных механизмов, чтобы содействовать интеграции возобновляемой энергетики в национальные энергетические системы.

Несмотря на вызовы и сложности, исследования показывают, что использование возобновляемых источников энергии для обеспечения устойчивого электроснабжения имеет значительный потенциал и может сыграть важную роль в будущем энергетическом ландшафте. Продолжение инвестиций в исследования, разработки и развертывание возобновляемой энергии будет способствовать переходу к устойчивой и экологически чистой энергетике, способствовать борьбе с климатическими изменениями и обеспечивать энергетическую безопасность для будущих поколений.

Список литературы

1. Лукутин Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова, Е.Б. Шандарова. – М.: Энергоатомиздат, 2018. – 231 с.

2. Характеристика субъекта // МЧС России Главное управление по Республике Саха (Якутия) URL: <https://14.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/harakteristika-subekta> (дата обращения: 18.09.2023).

3. Филимонов А.Г., Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д. Глобальное энергетическое объединение: новые возможности водородных технологий. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021;23(2):3-13. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-2-3-13>.

4. Четошникова Л.М., Смоленцев Н.И., Четошников С.А., Гусаров Г.В. Автономные системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии и умной сетью. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018;20(5-6):3-12. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-5-6-3-10>.

5. Хабдуллина Г.А., Глущенко Т.И. Применение возобновляемых источников энергии для повышения эффективности электроснабжения социальных объектов. Монография. Костанай: КРУ им. А.Байтурсынова, 2022. – 96с.

УДК: 621.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАМП И ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА ЗРИТЕЛЬНУЮ КОМФОРТНОСТЬ

Гумерова Гузель Маратовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Российская Федерация
gumerova_2002@inbox.ru

Аннотация: в данной статье представлены исследования и изучения влияния освещения на работоспособность и продуктивность. Сравнение различных осветительных ламп и их производительность в течении всей работы. Основной целью исследования является анализ осветительных приборов и влияния на зрительный процесс в зависимости от освещения помещения.

Ключевые слова: освещение, ламп, осветительные приборы, свет.

STUDY OF SEMICONDUCTOR LAMPS AND CHANGING LIGHTING FOR VISUAL COMFORT

Gumerova Guzel Maratovna
FSBEI HE "KSPEU", Kazan, Russian Federation
gumerova_2002@inbox.ru

Abstract: this article presents research and studies of the influence of lighting on performance and productivity. Comparison of various lighting lamps and their performance throughout the work. The main purpose of the study is to analyze lighting devices and the effect on the visual process depending on the lighting of the room.

Key words: lighting, lamps, lighting devices, light.

В последние годы возникли споры по поводу использования мощных светодиодов (LED-ламп) в различных системах общего освещения, от внутренних помещений (офисы, торговые центры, подземные гаражи и автостоянки) до наружных сооружений. Однако попытки ведущих мировых компаний разработать и внедрить полупроводниковые лампы не привели к их массовому внедрению. Для этого есть много причин.

Во-первых, эффективность мощных светодиодных ламп значительно возросла с 2003 по 2006 год (с 20 до 47 лм/Вт), но этого недостаточно, чтобы конкурировать с обычными эффективными источниками света, используемыми в общем освещении. Это лишило их самой большой потенциальной выгоды для конечного пользователя - экономии.

Во-вторых, стоимость одного люмена такого источника оставалась слишком высокой, что не могло компенсировать первоначальные затраты на широкое внедрение полупроводниковых ламп из-за недостаточной выработки электроэнергии. Снижение эксплуатационных расходов за счет использования большого ресурса не было очевидным, поскольку сам факт наличия этого ресурса не был подтвержден.

В-третьих, почти все производители не пытались разрабатывать полупроводниковые лампы, специально предназначенные для уличного освещения в сложных условиях, поэтому производители осветительного оборудования столкнулись с дополнительными проблемами, связанными с низкой эксплуатационной надежностью полупроводниковых ламп.

Светодиодные лампы - это осветительные приборы, в которых в качестве источника света используются светодиоды. Они обозначаются аббревиатурой LED. Светодиодные светильники используются для уличного освещения, бытовых и производственных помещений. Они считаются одними из самых экологически чистых источников света. Светодиодные лампы не нуждаются в специальной утилизации, например, от ртути.

Это устройство излучает видимый свет во время прохождения тока благодаря электронно-дырочному переходу во время прохождения тока. Другими словами, такие лампочки загораются потому, что проходящее через них напряжение преобразуется в фотоны света.

Светодиоды во много раз экономичнее обычных ламп накаливания. Когда лампа накаливания светится белым светом, когда встроенная спираль нагревается, точнее, до температуры выше 3000 градусов, почти вся потребляемая энергия расходуется на выработку тепла, и только 3 % расходуется на выработку света. В светодиодном освещении ток проходит через полупроводниковый кристалл, который испускает фотоны с меньшим выделением тепла. Этот принцип производства света обеспечивает

10-кратную эффективность и поднимает ее до уровня 30 %. Таким образом, использование светодиодов является гораздо более экономичным вариантом освещения помещений. Большое количество сотрудников в возрасте 2-5 лет также будет говорить в вашу пользу.

Светодиодная лампа состоит из серии светодиодов с полупроводниковыми кристаллами и миниатюрного блока управления. Сами светодиоды могут быть точечными или с одной нитью накала. Пунктирные линии являются наиболее распространенными. Они используются и в других типах светодиодных осветительных лент. Точки могут располагаться в обычных лампах под бытовыми розетками E14 и E27. Это может быть от нескольких штук до нескольких десятков тысяч штук. Главное, что это небольшая пластина, внутри которой находится светодиодный излучатель. Таким образом, каждый диод имеет свой собственный отдельный корпус. Эта техническая характеристика уменьшает угол рассеяния света. Именно поэтому светодиоды расположены группами и часто имеют световой поток в разных направлениях. Что необходимо для компенсации малого угла рассеяния.

Светодиодные лампы накаливания имеют светодиоды, выполненные в виде ламп накаливания. Они состоят из ряда маленьких кристаллов, соединенных в ряд и запаянных в стеклянную трубку слоем фосфора. Вместо стекла можно использовать пластик. Использование трубчатой оболочки улучшает угол рассеяния исследуемого света, а также его эффективность.

Две технологии внедрения светодиодного освещения позволили изготавливать лампы накаливания в различных форм-факторах. Светильники различаются по форме и количеству светодиодов в них. Светящиеся кристаллы могут состоять из нескольких штук, что характерно для ручных фонариков, до нескольких тысяч.

Основные формы светодиодных ламп: -Груша -Кукуруза -Свеча.

Все они предназначены для установки в стандартные люстры, настенные светильники и светильники на базе E14 и E27. Существуют также светодиодные лампы, которые имеют контактные разъемы. Это так называемые точечные светильники, которые используются для установки в подвесные потолки.

Светодиодные лампы обладают отличными характеристиками, которые позволяют использовать их для украшения люстр, бра, светильников и другой бытовой техники. Это способствует не только экономии, но и широкому диапазону цветовых температур. Этот параметр определяет цвет света, излучаемого лампочкой. Он измеряется в градусах

Кельвина. Существуют определенные правила выбора цветовой температуры для того типа помещения, в котором будет использоваться лампа. Светодиоды могут светиться при цветовой температуре до 7000 К.

Лампы с цветовой температурой 2500-3500 К содержат "теплый свет". Для установки в зонах отдыха они должны быть выбраны правильно. Считается, что они оказывают положительное влияние на психический комфорт человека. Лампы излучают мягкий желтый свет, который почти идентичен свету, излучаемому лампами накаливания.

Светодиодные лампы с цветовой температурой 4000-5000 К называются "дневными". Они нейтральны и могут быть расположены в рабочих зонах. Не только офисы, но и кухни, ванные комнаты и т.д.

Самые яркие лампы, цветовая температура которых превышает 5500 К, называются "холодным светом". Их блеск очень белый с голубоватым оттенком. Человек очень чувствителен к этому свету, и когда он присутствует, он чувствует настороженность. Если вы долго будете находиться в комнате с такой лампой, то со временем можете устать.

Для того чтобы в каждой комнате было оптимальное освещение, необходимо правильно подобрать количество и мощность ламп. Для этого необходимо учитывать яркость света, измеряемую в люксах. Этот показатель показывает количество люмен света на 1 м². Например, если в небольшом помещении площадью 10 м² установлена мощная лампа накаливания мощностью 1000 лм, то 1 м площади будет иметь параметр 100 люкс.

В каждой комнате есть свои рекомендации по количеству люмен на м²: -Спальня площадью 100 люкс. -Прихожая-50 - 100 люкс. -Гостиная и столовая - 100-200 люксов. -Ванная комната рассчитана на 50-200 человек. -Офис-300 люкс.

Конечно, в большинстве люстр используется несколько ламп накаливания, поэтому вам нужно суммировать их яркость, а затем разделить ее на площадь помещения. Если информация о люменах и люксах не отображается на светильнике, а упаковка не сохранилась, яркость можно оценить с помощью обычного смартфона. Современные телефоны оснащены датчиком освещенности. Его можно использовать в качестве считывателя с помощью специальных приложений для оценки яркости света. Для этого достаточно установить программу SensorSense или что-то подобное. Такое приложение позволяет очень точно определить фактическую яркость.

Список литературы

1. Макарова Н. В., Ашрятов А. А. Применение светодиодных ламп Premium класса Ecola в бытовом освещении // Материалы XXII науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, Саранск, 25 сентября – 1 октября 2018 г. Саранск, 2019. С. 188–191.
2. Мариллас Роза М., де Андрес Хосе Р. Обновление уличного освещения с помощью светодиодных технологий // Светотехника. 2019. № 3. С. 33–41.
3. Нестеркина Н. П., Коваленко О. Ю., Журавлева Ю. А. Анализ характеристик светодиодных ламп с колбой Т8 разных производителей // Светотехника. 2019. № 3. С. 59–63.
4. Прикупец Л. Б., Боос Г. В., Терехов В. Г., Тараканов И. Г. Оптимизация светотехнических параметров облучения при светокультуре салатно-зеленных растений с использованием светодиодных излучателей // Светотехника. 2019. № 4. С. 6–13.
5. Сайтбаталова, Р. С. Ступенчатое регулирование батарей конденсаторов для обеспечения устойчивости нагрузки промышленных предприятий / Р. С. Сайтбаталова, Р. Р. Гибадуллин, Р. Г. Загидуллин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 1(41). – С. 79-84.

УДК: 621.31

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Гумерова Гузель Маратовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Российская Федерация
gumerova_2002@inbox.ru

Аннотация: целью исследования является проанализировать принцип использования возобновляемых источников энергии в промышленных целях. Возможность использования альтернативных источников энергии на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, система, предприятие, энергия.

ANALYSIS OF THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR THE POWER SUPPLY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Gumerova Guzel Maratovna
FSBEI HE "KSPEU", Kazan, Russian Federation
gumerova_2002@inbox.ru

Abstract: the purpose of the study is to analyze the principle of using renewable energy sources for industrial purposes. The possibility of using alternative energy sources in industrial enterprises.

Keywords: renewable energy sources, system, enterprise, energy.

Сегодня часто случается так, что как недавно открывшиеся, так и уже действующие объекты промышленной инфраструктуры расположены в отдаленных и труднодоступных районах. Поэтому им приходится строить длинные линии электропередачи или подключать их к существующим источникам, которые не способны обеспечить бесперебойное электроснабжение. Традиционно подача электроэнергии потребителям линейных трубопроводов осуществляется от высоковольтной (воздушной) линии электропередачи с установкой комплектных трансформаторных подстанций на месте потребителей электроэнергии. Протяженность воздушных линий часто равна протяженности трубопроводов и может составлять несколько сотен километров

В качестве одного из вариантов оптимизационных мероприятий предлагается рассмотреть возможность использования небольших солнечных и ветряных турбин для автономного электроснабжения электроприемников линейных объектов с низкой нагрузкой (1-10 кВт).

Например:

- места установки электрической запорной арматуры на трубопроводах для транспортировки нефтепродуктов и газа за пределы страны;
- станции электрохимической защиты от коррозии;
- системы обнаружения утечек транспортируемой среды;
- станции связи и линейной телемеханики.

При использовании возобновляемых источников энергии, расположенных в непосредственной близости от электроприемников (на одном или соседних участках), нет необходимости строить протяженные высоковольтные сети.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – это источники энергии постоянно существующих природных процессов планеты, а также продукты жизнедеятельности биоцентров растений и животных. ЭЭ можно разделить на несколько видов энергии: механическую энергию (включая

поток воды и энергию ветра), тепловую энергию (тепло и солнечное излучение), химическую энергию.

В районах, где ветер приносит пользу и обладает достаточным солнечным потенциалом для выработки необходимой электроэнергии, можно использовать ветровые и солнечные электростанции.

Анализируя карту ветровой и солнечной зон, можно сделать вывод, что в большинстве регионов России среднегодовая скорость ветра не превышает 5 м/с. Около 30 % экономического потенциала ветроэнергетики сосредоточено на Дальнем Востоке, 14 % – в Северной экономической зоне, около 16 % - в Западной и Восточной Сибири.

Большинство районов нашей страны находятся в противоположной фазе с точки зрения доступности солнечной радиации и энергии ветра, поэтому в солнечную погоду ветра нет, и наоборот. Поэтому лучше всего использовать гибридную солнечную и ветряную электростанции, которая обеспечит постоянную подачу электроэнергии автономным установкам и снизит требуемую энергию.

Условные зоны среднегодовой солнечной активности в России
Принцип работы гибридной ветро-солнечной электростанции заключается в следующем:

- Ветряные турбины служат основным источником энергии, когда солнечного света недостаточно, например, ночью или в дождливую или пасмурную погоду.

Фотоэлектрические панели вырабатывают большую часть энергии в основном днем или в безветренную погоду. Природа часто непредсказуема, бывают случаи, когда отсутствуют благоприятные условия для выработки энергии в обоих направлениях. Например, ночью без ветра или в пасмурную, но в то же время безветренную погоду. В таких случаях промышленное оборудование питается от батарей, которые являются частью электростанции. Запасы энергии в батареях создаются за счет правильного функционирования энергии ветра и солнца, в то время как энергия, вырабатываемая ветряными турбинами и солнечными панелями, направляется потребителям, а избыток накапливается в батареях.

Рассматривая принципы использования возобновляемых источников энергии, можно выделить следующие преимущества:

- регионы Российской Федерации обладают достаточной активностью ветра и солнца для использования возобновляемых источников энергии;

- объекты, расположенные в отдаленных районах, требуют высокой степени автономии;

- экологически чистое электрооборудование, работающее на основе возобновляемых источников энергии, благодаря таким источникам энергии, как солнечная энергия и энергия ветра.

Таким образом, энергия вырабатывается без использования топлива;

- потенциал возобновляемых источников энергии уже может быть использован, поскольку технический прогресс и текущая ситуация обеспечивают их высокий уровень и непрерывный рост (особенно в области солнечной энергетики).;

- современные электроустановки и электростанции, работающие на возобновляемых источниках энергии, обладают значительной надежностью и достаточно длительным сроком службы (не менее 20 лет);

- способность выдерживать кратковременные пиковые нагрузки благодаря наличию устройств накопления энергии (аккумуляторов);

- сокращают время технического обслуживания один раз в год при одновременном снижении эксплуатационных расходов;

- электростанции на базе ЭЭ обеспечивают автоматизацию производственных операций и позволяют использовать необитаемые технологии с дистанционным мониторингом технического состояния электростанции;

Несмотря на ряд существенных преимуществ, ЕЕ обладает достаточным количеством недостатков:

- аккумуляторы, которые являются компонентами возобновляемых источников энергии, имеют достаточно высокую стоимость, они могут достигать 50-60 % от общей стоимости всей электростанции, что снижает целесообразность их использования;

энергия ветра и солнца являются нерегулируемыми источниками энергии, поскольку количество производимой энергии зависит от мощности ветра и солнечной радиации;

- из-за изменчивости погодных условий невозможно предсказать изменение мощности электростанции, а также количество вырабатываемой электроэнергии;

- при строительстве промышленных объектов с использованием возобновляемых источников энергии требуется большая площадь застройки, что приводит к увеличению землепользования и технической подготовки, что приводит к увеличению затрат на строительство;

- значительная удельная площадь солнечных панелей (1 м²/150-200 Вт) - однако этот показатель имеет сильную тенденцию к улучшению;

- довольно длительный срок окупаемости (около 12-15 лет). Хотя традиционные источники энергии имеют приоритет перед возобнов-

ляемыми в электроснабжении крупных промышленных потребителей, альтернативные источники энергии лучше всего использовать в установках малой мощности, которые не подключены к основному источнику энергии (например, запорная арматура, линейные телемеханические станции и станции связи, станции электрохимической защиты и т.д.).

Список литературы

1. Эфендиев А.М. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Курс лекций./ А.М.
2. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии., М: Энергоиздат, 1981.
3. Лабейш В.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Учебное пособие. Санкт-Петербург, 2003, 80с
4. ГОСТ Р 51594-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Термины и определения.
5. ГОСТ Р 51595-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные.
6. ГОСТ Р 51596-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Методы испытаний.
7. ГОСТ Р 51597-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Типы и основные параметры.
8. Сайтбаталова, Р. С. Ступенчатое регулирование батарей конденсаторов для обеспечения устойчивости нагрузки промышленных предприятий / Р. С. Сайтбаталова, Р. Р. Гибадуллин, Р. Г. Загидуллин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 1(41). – С. 79-84.

УДК 620.9

МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА: ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО БУДУЩЕГО

Гурьева Полина Юрьевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,
gureva.polina1@mail.ru

Аннотация: в данной статье рассматривается перспектива развития такого направления, как малая энергетика. Описаны преимущества и недостатки, а также предложены пути решения проблем, которые помогут преодолеть препятствия на пути к использованию малой энергетике. Приведено преимущество использования малой энергетике в отдаленных и удаленных населенных пунктах.

Ключевые слова: малая энергетика, традиционное топливо, возобновляемые источники энергии, удаленные районы, перспектива.

SMALL ENERGY: EFFICIENT SOLUTIONS FOR A SUSTAINABLE FUTURE

Gureva Polina Yrievna
FSBEI HE KSPEU, Kazan
gureva.polinal@mail.ru

Abstract: this article discusses the prospects for the development of such a direction as small-scale energy. The advantages and disadvantages are described, as well as ways to solve problems that will help overcome obstacles to the use of small-scale energy are proposed. The advantage of using small-scale energy in remote and remote settlements is given.

Keywords: small-scale power generation, traditional fuel, renewable energy sources, remote areas, perspective.

В Российской Федерации около 70 % площади всей территории страны находится в зонах децентрализованного энергоснабжения. Поэтому использование малой энергетика очень актуально. Но данное направление еще не получило широкого распространения в России.

Малая энергетика – это производство электроэнергии на малых мощностях, используя различные источники энергии. Данная технология становится все более популярной в мире, так как позволяет сократить затраты на производство энергии и снизить нагрузку на главные энергетические сети. Понятие «малая энергетика» включает в себя генерирующие установки, расположенные в непосредственной близости от потребителя: малые гидравлические электростанции и микро ГЭС, малые теплоэлектроцентрали, установки, преобразующие энергию возобновляемых источников. Малую энергетика от традиционной отличают масштабы. Для малых электростанций характерна мощность не более 30 МВт. В свою очередь малые электростанции делятся на 3 подкласса: микроэлектростанции, мощность которых не более 100 кВт; миниэлектростанции, мощность которых 100 кВт-1 МВт и малые, мощность которых не менее 1 МВт.

Роль малой энергетика в зонах централизованного энергоснабжения сводится к обеспечению энергией промышленных объектов и служб, обеспечивающих жизненно важные потребности городов в случае чрезвычайных ситуаций, а в зонах децентрализованного энергообеспечения автономные электростанции и котельные малой мощности обеспечивают энергией объекты, как в чрезвычайных ситуациях, так и в режиме штатного функционирования[1].

Одним из основных преимуществ малой энергетики является возможность использования не только традиционных источников энергии, но и возобновляемых источников энергии, таких как: солнце, ветер, земля, молнии, биомасса и другие. Это позволяет разнообразить энергетический микс и сократить зависимость от традиционных источников энергии, а именно: уголь, нефть, газ. Другой важный аспект малой энергетики - это ее способность уменьшить зависимость от импорта энергоресурсов и снизить риски для национальной экономики. Многие страны традиционно зависят от импорта нефти, газа и других энергоресурсов, что может привести к проблемам в случае изменения цен или снижения доступности этих ресурсов. Развитие малой энергетики может помочь уменьшить эту зависимость и обеспечить более стабильное и независимое энергетическое будущее. Также значимым преимуществом является возможность производства электроэнергии на месте потребления, что позволяет сократить затраты при транспортировке энергии на большие расстояния, а значит отсутствуют дополнительные затраты на прокладку дорогостоящих распределительных сетей и есть возможность экономии на энерготарифах, обеспечивая надежное энергоснабжение [2].

Всё вышеперечисленное особо актуально в первую очередь для удаленных и отдаленных районов, где нет доступа подключения к главным энергетическим сетям. Например, в некоторых африканских странах солнечные батареи и ветрогенераторы используются для обеспечения энергией сельских хозяйств и медицинских центров

Малая энергетика также имеет свои недостатки, такие как низкая эффективность и высокие затраты на производство и обслуживание оборудования. Кроме того, для масштабирования производства могут потребоваться значительные инвестиции и поддержка со стороны государства, а также использование новейших технологий.

В сфере малой энергетики уже применяются различные технологии, включая фотоэлектрические панели, ветрогенераторы, гидротурбины, термальные насосы, топливные элементы и другое. Эти технологии имеют различные преимущества и недостатки и могут быть использованы в зависимости от местных условий и требований. Но для более широкого применения малой энергетики должны быть разработаны и внедрены инновационные технологии, применены механизмы стимулирования развития и финансирования малой генерации со стороны государства. К примеру, некоторые правительства предоставляют налоговые льготы и субсидии для производства и установки оборудования для малой энергетики, что стимулирует развитие этой отрасли. Также важно

устранить такое препятствие, как недостаточное развитие технологии хранения энергии, чтобы обеспечить непрерывность энергоснабжения в условиях нерегулярного производства [3].

Одно из главных препятствий на пути к широкому распространению использования малой энергетики является необходимость интеграции в систему централизованного энергоснабжения. Переход к малой энергетике требует изменений в схеме управления энергосистемой для обеспечения баланса между производством и потреблением энергии. Например, необходимо разработать новые методы прогнозирования производства энергии от солнечных батарей и ветрогенераторов, чтобы обеспечить надежную работу системы. Кроме того, малая энергетика также сталкивается с препятствиями в области экологии и безопасности. Некоторые виды оборудования для малой энергетики могут оказывать вредное воздействие на окружающую среду, например, ветрогенераторы могут приводить к гибели птиц и насекомых, а солнечные батареи могут содержать токсичные вещества. Поэтому важно принимать меры по защите окружающей среды и обеспечению безопасности при производстве и использовании оборудования для малой энергетики [4].

Несмотря на некоторые недостатки и препятствия, малая энергетика представляет собой важное и перспективное направление в сфере энергетики, которое может сыграть значительную роль в достижении целей по устойчивому развитию и снижению влияния на окружающую среду. В долгосрочной перспективе малая энергетика может стать более доступной и конкурентоспособной, что будет способствовать более широкому распространению этой технологии. Развитие малой энергетики способствует созданию новых рабочих мест и развитию местных экономик. Многие компании и предприниматели занимаются производством, установкой и обслуживанием оборудования для малой энергетики, что создает новые возможности для местных бизнесов. В целом, малая энергетика представляет собой перспективную технологию для улучшения доступности электроэнергии и снижения влияния на окружающую среду. Данное направление энергетики может быть использована для диверсификации энергетического микса и повышения надежности энергоснабжения, а также для сокращения выбросов вредных веществ в окружающую среду. В некоторых странах, таких как Германия и Дания, малая энергетика уже занимает значительную долю в производстве электроэнергии. Развитие этой отрасли может принести значительные экономические и социальные выгоды, а также способствовать достижению целей по устойчивому развитию [5].

В заключение хотелось бы отметить, что малая энергетика представляет собой перспективное направление в сфере энергетики, которое может принести множество выгод в области доступности электроэнергии, экономики и экологии. Однако, для дальнейшего развития этой отрасли необходимо решить ряд вопросов, связанных с интеграцией в систему централизованного энергоснабжения, экологией и безопасностью.

Список литературы

1. Боровков В.М., Бородина О.А. Развитие малой энергетики, как элемент стратегической программы и энергосберегающей политики России // Энергетическая безопасность. 2005: Тез. Докл. С-Пб: Ленэкспо. 2005. С.10-12.

2. "Зеленая" энергия: солнце и ветер вместо нефти и газа [Электронный ресурс]. Свободный. Режим <https://tass.ru/ekonomika/4083895> (дата обращения: 15.05.2023).

3. Коржубаев А.Г. Энергетическая безопасность и условия эффективного развития / А.Г. Коржубаев // ЭКО. 2006. № 5. С. 42 .

4. Бушуев В. В., Громов А. И., Куричев Н. К. Энергетическая стратегия-2050: методология, вызовы, возможности. URL: <http://www.energystrategy.ru/> (дата обращения: 15.05.2023).

5. Перспективы развития мировой энергетики с учетом влияния технологического прогресса / под ред. В.А. Кулагина / М.: ИНЭИ РАН, 2020. - 320 с.

УДК 620.97

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ: ПУТЬ К УСТОЙЧИВОМУ БУДУЩЕМУ

Гурьева Полина Юрьевна, Писковацкий Юрий Валерьевич

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

gureva.polina1@mail.ru

Аннотация: в данной статье рассматривается использование и влияние возобновляемых источников энергии на окружающий мир и человечество. Показано преимущество и потенциал использования возобновляемых источников энергии в будущем перед ископаемыми топливами, также приведены основные проблемы, которые создают препятствие на пути к широкому использованию возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: возобновляемые источники, ископаемое топливо, окружающая среда, человечество, чистая энергия, истощение

RENEWABLE ENERGY SOURCES: THE WAY TO A SUSTAINABLE FUTURE

Gureva Polina Yrievna
FSBEI HE KSPEU, Kazan
gureva.polinal@mail.ru

Abstract: this article discusses the use and impact of renewable energy sources on the world around us and humanity. The advantage and potential of using renewable energy sources in the future over fossil fuels is shown, and the main problems that create an obstacle to the widespread use of renewable energy sources are also given.

Keywords: renewable sources, fossil fuels, environment, humanity, clean energy, depletion.

Проблема изменения климата и истощения природных ресурсов становится все более актуальной в современном мире. Однако, есть решение, которое может помочь нам справиться с этими вызовами и обеспечить устойчивое будущее для нашей планеты. Речь идет о возобновляемых источниках энергии - солнце, ветер, вода, геотермальная и биоэнергетика, которые предлагают экологически чистый и неисчерпаемый источник энергии.

Одной из основных проблем, связанных с используемыми традиционными источниками энергии, такими как ископаемые топлива (уголь, нефть, газ), является выброс парниковых газов, а именно углекислого газа, метана и диоксида азота в атмосферу при их сжигании. Эти выбросы являются одной из основных причин изменения климата и глобального потепления, что в свою очередь вызывает ряд серьезных проблем и угроз для человечества - паводки, засухи, ухудшение качества воздуха и здоровья людей.

Возобновляемые источники энергии, наоборот, предлагают более чистый и экологически безопасный вариант источника энергии. Они не производят выбросы парниковых газов и не загрязняют окружающую среду [1].

Солнечная энергия, например, является наиболее развитым альтернативным источником энергии. Данное направление основано на получении энергии благодаря солнечным панелям, которые преобразуют солнечный свет в энергию. Ветровая энергия генерируется с помощью ветрогенераторов, преобразующих энергию ветра в электрическую, тепловую или механическую энергию [2]. Гидроэнергетика использует силу воды, например, в гидроэлектростанциях, для производства энергии. Геотермальная энергия получается из внутреннего тепла Земли и может использоваться для дополнительной пользы, к примеру, для опреснения

воды. Биоэнергетика получается из органических веществ, таких как древесина и сельскохозяйственные отходы. Данное направление решает проблему использования отходов [3, 4].

Одним из главных преимуществ возобновляемых источников энергии является их бесконечность. В отличие от ископаемых топлив, которые являются ограниченными ресурсами и исчерпываются со временем, возобновляемые источники энергии доступны постоянно и могут быть использованы в течение долгого времени без исчерпания ресурсов. Это делает их стабильным и надежным источником энергии для использования в будущем.

Еще одним преимуществом возобновляемых источников энергии является их положительное влияние на окружающую среду и здоровье людей. Они не производят вредных выбросов, таких как парниковые Газы, а также не вызывают загрязнение воздуха, воды и почвы, что способствует снижению загрязнения окружающей среды и улучшению качества жизни людей. Это особенно актуально в условиях растущей озабоченности климатическими изменениями и необходимости снижения вредного воздействия на окружающую среду [5].

Кроме того, использование возобновляемых источников энергии способствует сокращению зависимости от импорта ископаемых топлив. Многие страны имеют ограниченные собственные ресурсы и вынуждены импортировать энергию, что может сопровождаться экономическими и политическими рисками. В то же время, возобновляемые источники энергии могут быть доступны практически везде, что снижает зависимость от импорта энергии и повышает энергетическую независимость стран. Развитие возобновляемых источников энергии способствует созданию новых рабочих мест и развитию экономики. Он создает спрос на новые технологии, оборудование и услуги, стимулирует инновации и исследования в области энергетики, и способствует развитию местных экономических сообществ.

Однако, существуют препятствия, которые исключают возможности для широкого использования возобновляемых источников энергии. Одно из препятствий – высокая стоимость установки и эксплуатации возобновляемых источников энергии. Внедрение новых технологий, таких как солнечные панели, ветроэлектростанции или гидроэнергетические установки, может требовать значительных капиталовложений, что может стать вызовом для некоторых стран и регионов с ограниченными финансовыми ресурсами.

Еще одним вызовом является интермиттирующий характер некоторых возобновляемых источников энергии, таких как солнечная

и ветровая энергия. Производство энергии из этих источников зависит от погодных условий и может быть нестабильным. Это требует разработки эффективных методов хранения энергии, чтобы обеспечить непрерывное энергоснабжение в течение 24 часов в сутки, 7 дней в неделю [6].

Также стоит учитывать социальные и экологические аспекты развития возобновляемых источников энергии. Внедрение новых проектов может влиять на землепользование, водные ресурсы, биоразнообразие и местное сообщество. Поэтому важно учитывать социально-экологическую устойчивость проектов и обеспечивать максимальную прозрачность и участие всех заинтересованных сторон в процессе принятия решений [7].

Несмотря на различные препятствия, развитие возобновляемых источников энергии имеет огромный потенциал и может принести множество преимуществ для человечества и окружающей среды. Правительства, бизнес-сектор и общество в целом могут сотрудничать для создания поддерживающей инфраструктуры, разработки инноваций, снижения затрат и обеспечения устойчивого и экологически чистого энергетического будущего.

В заключение хотелось бы отметить, что возобновляемые источники энергии играют все более важную роль в мировой энергетике, предлагая решения для снижения загрязнения окружающей среды, сокращения зависимости от импорта энергии и стимулирования экономического роста. Однако, необходимо учитывать препятствия для широкого использования возобновляемых источников энергии, такие как стоимость внедрения, интермиттирующий характер некоторых источников энергии и социально-экологические аспекты. Путем инноваций, сотрудничества между государствами, бизнес-сектором и обществом, все эти препятствия могут быть преодолены.

Список литературы

1. Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития / Л.Н. Проскуракова, Г.В. Ермоленко; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». - М.: НИУ ВШЭ, 2017. - 96 с.

2. "Зеленая" энергия: солнце и ветер вместо нефти и газа [Электронный ресурс]. Свободный. Режим <https://tass.ru/ekonomika/4083895>(дата обращения: 16.04.2023).

3. Сафронова А. Ю. Использование геотермальной энергии// Вестник науки и образования. - 2020. - №11 (89). - С. 23-25.

4. Пестрикова И.Е., Лопатина Л.Г. Энергия биомассы: перспективы использования биогаза // Динамика систем, механизмов и машин. - 2014. - № 1. - С. 332-336.

5. Перспективы развития мировой энергетики с учетом влияния технологического прогресса / под ред. В.А. Кулагина // М.: ИНЭИ РАН, 2020. - 320 с.

6. Бекулова С.Р. Возобновляемые источники энергии в условиях новой промышленной революции: мировой и отечественный опыт // Мир новой экономики. 2019. - Т. 13, № 4. - С. 14-21.

7. «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики» [Электронный ресурс] <https://www.energyret.ru/jour/user> (дата обращения: 16.04.2023)

УДК 004

О ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ *IoT*-ТЕХНОЛОГИИ

¹Иванова Вилия Равильевна, ²Жукова Юлия Владимировна
¹ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
²МБОУ "Средняя общеобразовательная школа № 135 с углубленным изучением
отдельных предметов"
¹vr-10@mail.ru, ²ybgukova@list.ru

Аннотация: в материале представлен анализ применения технологии «Интернет вещей». *Iot*-технология использует средства автоматической идентификации для взаимодействия физических объектов (предметов) между собой и внешними объектами путем подключения всех устройств диагностики в локальную или облачную систему для анализа. В основе такого объединения лежит использование различных средств идентификации; средств измерений, передачи данных, обработки данных, а также исполнительные устройства. Внедрение *Iot*-технологии упростит задачи постоянного наблюдения за техническим состоянием установок; приведет к снижению вероятности возникновения крупных аварий; приведет к увеличению ресурса работы оборудования.

Ключевые слова: интернет вещей, непрерывный контроль, цифровые технологии, датчики, мониторинг.

ABOUT THE CONSTRUCTION OF SYSTEMS USING *IoT*-TECHNOLOGIES

¹Ivanova Viliya Ravilievna, ²Zhukova Yulia Vladimirovna
¹FSBEI HE "KSPEU", ²MBEI "Secondary school № 135"

Abstract: the article presents an analysis of the use of the Internet of Things technology. *Iot*-technology uses automatic identification tools for the interaction of physical

objects between themselves and external objects by connecting all diagnostic devices to a local or cloud system for analysis. The basis of such an association is the use of various means of identification; measuring instruments, data transmission, data processing, as well as actuators. The introduction of Iot technology will simplify the tasks of constant monitoring of the technical condition of installations; will reduce the likelihood of major accidents; will increase the service life of equipment.

Keywords: internet of Things, continuous monitoring, digital technologies, sensors, monitoring.

Наиболее перспективными способами диагностирования электрооборудования выступают методы неразрушающего контроля, которые оперативно выявляют возникающие неисправности и позволяют предотвращать возможные сбои. Подобные методы подразумевают использование оборудования на основе датчиков, которые по заложенному алгоритму улавливают «утечки» и сигнализируют о необходимости более тщательного обследования энергообъекта. Для непрерывного контроля технического состояния электрооборудования более оптимальным будет использование систем мониторинга и диагностирования. Подобные системы существенно упрощают такие задачи как постоянство наблюдения за техническим состоянием установок; снижение расходов; снижение вероятности крупных аварий; увеличение ресурса работы; обеспечение бесперебойного поступления электроэнергии в нужном объеме.

Внедрение цифровых технологий еще более значительно упрощает задачи оптимизации. Так наиболее востребованным способом обеспечения готовых решений по аккумулярованию на единой платформе, контроля множества процессов и моментальности управления стал «Интернет вещей» (*Iot*-технология). Технически такая система реализуется с помощью логистически оптимизированной цепочки взаимодействия различных стационарных средств измерения, центра сбора и анализа поступающих данных с помощью технологий связи для обмена информацией [1-3].

Организация такой сети будет исключать необходимость участия человека из части действий и операций. Предлагаемая *Iot*-технология использует средства автоматической идентификации для взаимодействия физических объектов (предметов) между собой и внешними объектами путем подключения всех устройств диагностики в локальную или облачную систему для анализа [4].

Основным преимуществом внедрения *Iot*-технологии в электроэнергетике станет существенное снижение оборотных средств и эффективности компаний за счет разовых инвестиций (*CAPEX*), а также снижение сумм регулярных затрат предприятий, связанных с непрерыв-

ным осуществлением его деятельности (*OPEX*). Так, например, станет уменьшение затрат на сбор данных от удаленных объектов в сети, качественная пропускная способность и тем самым увеличение объема полученных данных.

Производство, доставка и использование энергии становятся более эффективными и устойчивыми благодаря Интернету вещей. Датчики и устройства диагностирования с поддержкой *IoT*-технологии делают оборудование «умным» и помогают делать выводы, позволяя энергетическим компаниям динамически управлять активами, сокращать расходы на обслуживание и передачу, повышать уровень безопасности работников.

В основе Интернета вещей лежат следующие технологии:

- средства идентификации;
- средства измерения;
- средства передачи данных;
- средства обработки данных;
- исполнительные устройства.

К средствам идентификации относят следующие технологии – контактные (магнитная карта, чип-карта); бесконтактные (оптические (штрих-код, *Data matrix*, *OCR*, *QR*-код)) и радиочастотные (*RFID*, *RTLS*); биометрические технологии (контактные (дактилоскопия, *in-vitro*)); бесконтактные (аудиологические, оптические). Для преобразования сведений о внешних воздействиях в машинный код используется широкий класс средств измерений: датчики температуры, давления, освещенности; приборы учета (пример – интеллектуальные датчики); сложные интегрированные измерительные системы. Аккумуляция на единой платформе данных, получаемых от средств измерений в сети и построение межмашинного взаимодействия позволяют выполнять промышленные сети. Примером такой сети выступает – беспроводная сенсорная сеть [5]. Для физического переноса данных (цифрового битового потока) в виде сигнала по разным топологиям (точка-точка, многоточечная) используются разные средства электросвязи по каналу передачи данных. Примерами таких каналов служат медные провода, ВОЛС, беспроводные каналы передачи данных. К средствам передачи данных относятся различные коммуникационные устройства, гарантирующие обмен сообщениями между конечными устройствами.

Для осуществления всей совокупности операций по сбору, вводу, записи, преобразованию, считыванию, хранению, уничтожению,

регистрации информации применяются средства обработки данных. Технически это осуществляется с помощью разных языков программирования и компиляторов. На аппаратном уровне используются промышленные контроллеры, которые являются первичным средством сбора, обработки информации, регулирования технологическими параметрами, аварийной сигнализацией, защиты и блокировки.

Для реализации систем, построенных по *IoT*-технологии представляет интерес использование виртуальных (программные) приборов, где исполнительные механизмы передают в него сигналы, которые обрабатываются и выдаются в реальный мир с их же помощью.

Список литературы

1. Рогачева, Н.В. Интернет вещей: обзор основных проблем и задач / Н. В. Рогачева // Languages in professional communication, 29.04.2021 г. – ООО «Издательский Дом «Ажур», 2021. – Р. 558-563.

2. Иванова В.Р. Интернет вещей – цифровая технология для обеспечения полного спектра цифровых услуг. Материалы V Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности», 2021. ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», С. 21-25.

3. Патент № 2693293 С1 Российская Федерация, МПК H04L 12/24. Способ осуществления связи посредством Интернета вещей, устройство на стороне сети и терминал Интернета вещей : № 2018111215 : заявл. 01.07.2016: опубл. 02.07.2019 / Ш. Лю, И. Ло; заявитель Хуавэй технолоджиз КО., ЛТД..

4. Иванова В.Р., Жукова Ю.В. О цифровой трансформации в сфере энергетики. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», 2021. С. 191-194.

5. Лабутин, А. Г. От Интернета вещей (ИОТ) к Интернету всего (ИОЕ) / А. Г. Лабутин, А. П. Пшеничников, А. А. Чуркин // Технологии информационного общества : XI Международная отраслевая научно-техническая конференция: сборник трудов. – М.: ООО «Издательский дом Медиа паблшер», 2017. – С. 84-85.

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

¹Кабилов Адель Альфредович, ²Денисова Алина Ренатовна
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹kabir7@mail.ru, ²denisova_ar@mail.ru

Аннотация: актуальность использования нетрадиционных источников энергии для электроснабжения предприятий становится очевидной. В статье представлено обоснование актуальности, рассмотрены основные проблемы систем резервного питания, изучены ключевые способы их решения с применением возобновляемой энергетики, проведён анализ структур реализации самых эффективных систем резервного питания.

Ключевые слова: дизельгенераторы, возобновляемые источники, резервное питание, фотоэлектрические станции, интеграция источников.

IMPLEMENTATION OF BACKUP POWER SUPPLY SYSTEM FOR ENTERPRISES BASED ON PHOTOVOLTAIC PANELS

¹Adel Alfredovich Kabirov, ²Alina Renatovna Denisova
^{1,2}Kazan State Power Engineering University, Kazan
¹kabir7@mail.ru, ²denisova_ar@mail.ru

Abstract: the relevance of the use of non-conventional energy sources for power supply of enterprises becomes obvious. The article gives the substantiation of relevance, considers the main problems of backup power supply systems, studies the key ways of their solution using renewable energy, analyzes the structures of implementation of the most efficient backup power supply systems.

Keywords: diesel generators, renewable sources, backup power, photovoltaic stations, integration of sources.

При разработке и эксплуатации электроснабжающих систем ключевым фактором становится обеспечение высокого уровня надежности. Его можно достичь различными способами, такими как повышение надежности отдельных компонентов системы или применение резервирования для отдельных частей системы электроснабжения. Однако ни один из этих подходов не может гарантировать полного исключения возможности отказа различных элементов системы. Таким образом, потребители электроэнергии не защищены от ситуаций, которые могут привести к полной потере электроснабжения. Эта проблема особенно актуальна для предприятий, которые относятся к I и II категориям бесперебойного питания [3]. То есть это такие предприятия, для которых прерывание электроснабжения может привести к выходу из строя

дорогостоящего оборудования, потере продукции, простоя рабочей силы, а также созданию опасности для жизни людей, нарушению функционирования важных коммунальных объектов, связи и телевидения. Во избежание негативных последствий обычно применяется двойное резервирование питания таких объектов от двух независимых источников.

В связи с обширностью и неравномерностью заселения нашей страны, многие удаленные от центров связи предприятия не имеют доступа ко второй резервной линии питания. В таких случаях часто устанавливают дизель-генераторные установки (ДГУ) непосредственно на объекте, поскольку это экономически более выгодно, чем прокладывать электропередачу на удаленный объект [7]. Однако ДГУ обеспечивает только аварийное или техническое резервирование, а не полное резервирование электропитания всех потребителей. ДГУ может обеспечить только минимальную мощность, необходимую для безопасности рабочего персонала, электрооборудования и окружающей среды.

Для решения задач реализации системы резервного электроснабжения предприятия всё большую актуальность приобретают системы питания с применением возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Рассмотрим эту задачу на примере использования фотоэлектрических станций (ФЭС) [6].

Солнечные станции представляют собой форму электростанций, которые генерируют электричество путем непосредственного преобразования солнечного излучения в электроэнергию.

Для обеспечения надежного электроснабжения потребителей с использованием солнечной энергии, в состав фотоэлектрических станций помимо фотоэлектрических панелей (ФП) включаются дополнительные элементы, которые зависят от типа и назначения конкретной солнечной электростанции. По типу реализации системы ФЭС делятся на автономные и системы, работающие параллельно с электрической сетью.

В случае, если предприятие находится в регионе децентрализованного электроснабжения, используют автономные ФЭС, либо их интегрируют с ДГУ.

ФЭС автономного характера обычно состоят не только из солнечных панелей, но включают аккумуляторные батареи (АБ) и контроллер заряда-разряда [5]. Для обеспечения потребителей, которым требуется стандартное напряжение переменного тока 220/380 В, в состав ФЭС также включается инвертор (рис.1).

Параметры и стоимость ФЭС (фотоэлектрических систем) определяются множеством факторов, включая нагрузку, среднесуточное

потребление, режим работы, солнечную радиацию и количество дней без солнца, а также систему ориентации панелей.

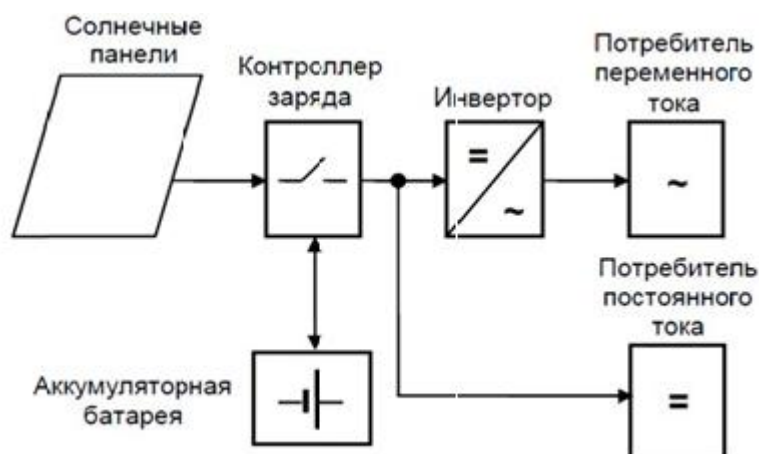


Рис. 1. Структура автономной фотоэлектрической системы электроснабжения

ФП (фотоэлектрические панели) функционируют только в дневное время, потому их мощность и емкость аккумуляторов должны быть расчетными, чтобы обеспечивать потребители на протяжении всего дня.

Излишки энергии в режимах малых нагрузок теряются в автономных ФЭС, что является их недостатком. Использование избыточной энергии для подогрева может улучшить эффективность, но не полностью решает проблему. Основной недостаток автономных ФЭС – циклическое использование аккумуляторов, требующее их регулярной замены, особенно в случае кислотно-свинцовых аккумуляторов. Использование аккумуляторов с длительным сроком службы увеличивает стоимость системы [4]. Также стоит учесть потери энергии в аккумуляторах: эффективность заряда-разряда может составлять до 90% и снижается со временем.

Интеграция надежного источника энергии, такого как ДЭС, и нестабильной ФЭС позволяет создавать универсальные энергетические комплексы для электроснабжения децентрализованных объектов с приемлемыми технико-экономическими параметрами. Развитие интеллектуальных гибридных систем электроснабжения привело к появлению инверторных ДЭС [1]. Они экономят топливо при малых нагрузках за счет уменьшения оборотов дизель-генератора. Выпрямительно-инверторные преобразователи (В-АИ) обычно используются в таких системах как преобразователи напряжения. Это, вместе с генерацией постоянного тока ФЭС, позволяет объединять источники в гибридной системе на переменноточковой шине с использованием выпрямителей или преобразователей (рис. 2).

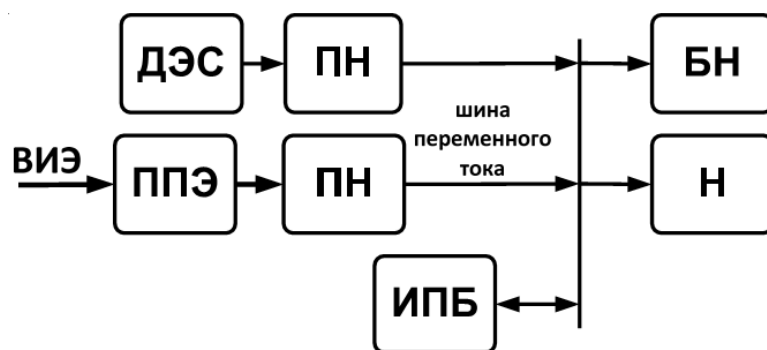


Рис. 2. Гибридный энергетический комплекс с шиной переменного тока и инверторной ДЭС

В периоды большого потенциала возобновляемой энергии, ДЭС отключается. Колебания в потребляемой и генерируемой мощности от возобновляемых источников сглаживаются за счет энергии, сохраненной в аккумуляторах (ИБП на рис. 2), сокращая необходимость в запусках ДЭС. Это уменьшает время работы дизельной части комплекса, экономит топливо и продлевает срок службы ДЭС. Возможность отключать ДЭС при высоких уровнях возобновляемой энергии требует усложнения структуры гибридного комплекса и управляющих алгоритмов его компонентов.

В свою очередь, применение фотоэлектрических систем (ФЭС) в условиях доступности электросети позволяет минимизировать, если не исключить, проблемы автономных систем [2]. В этом контексте сеть функционирует как эффективный аккумулятор со 100% КПД, способный абсорбировать все избыточные энергоресурсы.

Сетевая фотоэлектрическая система включает в себя не только солнечные батареи, но и ряд других компонентов. Сетевые инверторы преобразуют постоянный ток, генерируемый солнечными панелями, в переменный. Контроллеры максимального отбора мощности обеспечивают оптимизацию работы солнечных батарей [5]. Система мониторинга предоставляет возможность отслеживать параметры работы солнечной электростанции. Все эти компоненты подключаются к централизованной линии электропередач, обеспечивая электроснабжение собственных потребителей.

Таким образом, ВИЭ постепенно внедряется в энергосистему предприятий и становится неотъемлемой частью резервного электроснабжения. Структура сети резервного питания может различаться в зависимости от территориальных особенностей предприятия, каждая из них обладает своими достоинствами и недостатками друг перед другом, но для изолированных потребителей лучшим решением является применение

гибридных установок на основании ДЭС и ФЭС, которые взаимно дополняют друг друга и обеспечивают надёжное, гибкое, эффективное бесперебойное электроснабжение.

Список литературы

1. Митрофанов, С. В. Методика расчета мощности автономной солнечной электростанции для нужд освещения лаборатории энерго-сбережения и энергоэффективности / С. В. Митрофанов, А. Ю. Немальцев // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбургский государственный университет 2017. С. 333-337

2. Оршанский, И. С. Фотоэнергетика: достоинства, недостатки, направления развития / И. С. Оршанский // Энергия: экономика, техника, экология. 2020. № 8. С. 13-19.

3. Лаврик А.Ю. Определение оптимального состава резервируемой гибридной ветро-солнечной электростанции // Лаврик А.Ю., Жуковский Ю.Л., Максимов Н.А. / Промышленная энергетика. 2019. № 10. С. 47–53.

4. Информационно-технологическое обеспечение интегрированных систем малой энергетики в сфере электро- и теплоснабжения. Отчет о НИР // Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения РАН. – Иркутск. - 2018. – С. 569.

5. Лукутин Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении // Лукутин Б.В. и др. / Монография. М.: Энергоатомиздат. 2016. С. 231.

6. Денисова А.Р. Модернизация системы электроснабжения на предприятии нефтедобывающей отрасли с использованием альтернативных источников энергии // Денисова А.Р., Гайфуллин А.Р. / В сборнике: Федоровские чтения - 2018 XLVIII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы. под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. 2018. С. 396-397.

7. Денисова А.Р. Использование альтернативных источников энергии для питания удаленных от энергосистемы потребителей // Хусаенов И.А., Денисова А.Р., Роженцова Н.В. / XLIII Международная научно-техн. конф. "Федоровские чтения". М.: МЭИ. 2013. С. 178-179 .

8. Безруких П.П. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России // П.П. Безруких, Ю.Д.Арбузов и др. / СПб.: Наука. 2019. С. 314.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ РОТОРА

¹ Кострюков С.А., ² Гусева Ю.В.

^{1,2} Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Волжском

¹kostryukovsa@mail.ru, ²vasilevayv@yandex.ru

Аннотация: в статье представлены предложения по оценке эффективности работы вертикальных ветрогенерирующих установок на основе ротора Савониуса в различных климатических условиях. Созданы физические модели для выполнения исследования их характеристик в лабораторных условиях. Используя методы физического и математического моделирования профилей лопастей, проанализированы параметры функционирования генерирующих установок. Отмечена высокая сходимость полученных расчетных значений.

Ключевые слова: коэффициента эффективности, частота вращения, электрическая мощность, ветроэнергетическая установка, ротор Савониуса.

COMPARATIVE ANALYSIS OF WIND TURBINE MODELS WITH VERTICAL ROTOR ARRANGEMENT

¹Kostryukov S.A., ²Guseva YU.V.

^{1,2}Volzhsky Branch of the National Research University
«Moscow Power Engineering Institute», Russia

¹kostryukovsa@mail.ru, ²vasilevayv@yandex.ru

Abstract: the article presents proposals for evaluating the efficiency of vertical wind turbines based on the Savonius rotor in various climatic conditions. Physical models have been created to study their characteristics in laboratory conditions. Using the methods of physical and mathematical modeling of blade profiles, the parameters of the operation of generating installations are analyzed. The high convergence of the obtained calculated values is noted.

Keywords: efficiency coefficient, rotation speed, electric power, wind power plant, Savonius rotor.

Ветроэнергетический потенциал России по разным оценкам составляет до 10 ГВт электрической мощности. Экологическая программа развития регионов включает в себя увеличение доли электроэнергии, полученной от альтернативных источников. При необходимости использования ветроустановок малой мощности для обеспечения удаленных потребителей удобно использовать технически простые установки типа ротора Савониуса с S-образным профилем лопастей, которые характеризуются большим пусковым крутящим моментом, при этом работают на малых скоростях набегающего потока ветра [1-3].

Для совершенствования установок такого типа и исследования рабочих характеристик ветрогенератора с ротором Савониуса в лабораторных условиях в работе выполнено обоснование конструктивных параметров, создание в программе Компас 3D и разработка физических моделей на 3D-принтере из полимерного материала. В результате физического моделирования созданы профили лопастей роторов ветрогенераторов, выполненных по «золотому сечению», по «золотому сечению» с углом дуги ковша 75° и по «золотому сечению» с углом дуги ковша 75° с углом установки для набегающего потока воздуха 13° . Выполнено сравнение рабочих характеристик новых профилей с классической моделью ветрогенератора Савониуса.

При проведении лабораторных исследований получены новые данные о влиянии профилей ветроколеса с вертикальным расположением ротора на изменение значения коэффициента эффективности использования энергии ветра, частоты вращения ветроколеса, электрической мощности.

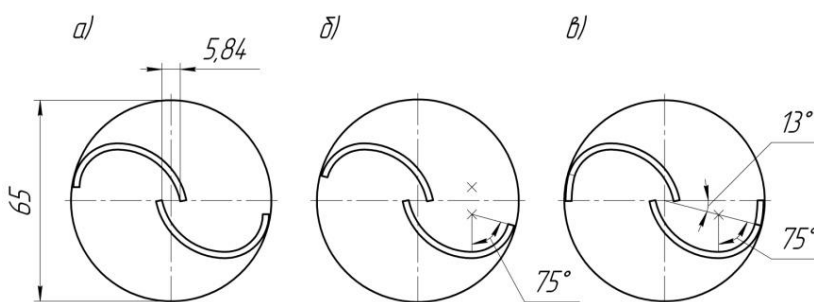


Рис. 1. Горизонтальные сечения моделей ветрогенераторов: а) ротор, выполненный по «золотому сечению»; б) ротор, выполненный по «золотому сечению» с углом дуги ковша 75° ; в) ротор, выполненный по «золотому сечению» с углом дуги ковша 75° и углом установки для набегающего потока воздуха 13°

Активный ветровой режим Волгоградской области, характеризующийся среднегодовой скоростью ветра от 3,3 м/с до 6,3 м/с, в модельной установке имитирован нагнетателем с расходом воздуха $180 \text{ м}^3/\text{ч}$. В аэродинамическую трубу диаметром 125 мм помещена разработанная 3D модель ветрогенератора с ротором Савониуса, на вал модели установлен неодимовый магнит. Частота вращения контролируется датчиком Холла, отслеживающим изменение магнитного поля и генерирующим сигнал на микроконтроллер. Обработанный сигнал передается на персональный компьютер в онлайн-режиме. Для регулирования скорости набегающего воздушного потока в трубе применен симистор [4-5].

На рисунке 2 представлены расчетные оценки рабочих характеристик ветроколеса, имитирующего работу на разгонном участке времени.

Модель ротора Савониуса, выполненная по «золотому сечению» с углом дуги ковша 75° показала себя наиболее эффективной, наблюдается наиболее высокая скорость набегающего потока в створе рабочего колеса на уровне 2,5-3,5 м/с при относительно небольшой парусности, что обеспечивает устойчивый крутящий момент ротора и повышение коэффициента эффективности использования энергии ветра на 10 % по сравнению с классической моделью ротора Савониуса. Следует отметить, что выход на установившийся режим составляет порядка 10 с.

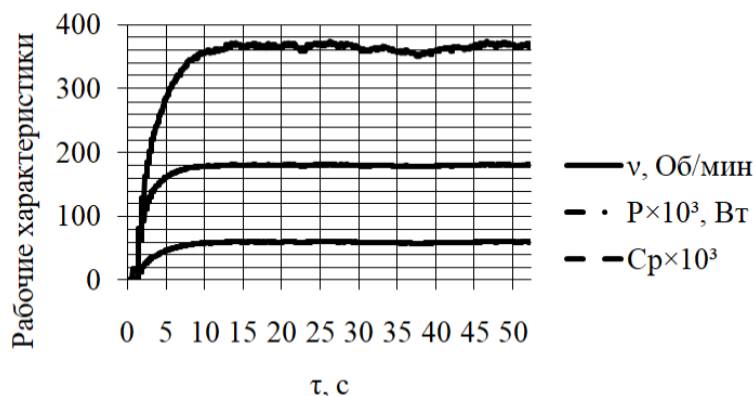


Рис. 2. Рабочие характеристики модельной установки ротора, выполненной по «золотому сечению» с углом дуги ковша 75°

Моделирование рабочих процессов и характеристик с применением AnsysFluent22R1 позволяет определить оптимальную геометрическую конфигурацию профиля ветроколеса. Шаг по времени, равный $2 \cdot 10^{-4}$ с, являлся условием устойчивого итерационного процесса.

Используя методы физического и математического моделирования профилей лопастей, проанализированы параметры функционирования генерирующих установок. Для различных моделей ветроколеса отмечена высокая сходимость полученных расчетных значений коэффициента эффективности использования энергии ветра и других технологических характеристик. Полученные результаты могут быть использованы для создания новых профилей ветрогенератора с ротором Савониуса для повышения технико-экономических показателей ветроэлектростанций, качественного обеспечения электроснабжения и развития области применения ветроэнергетических установок в отечественной электроэнергетике.

Список литературы

1. Елаев М. В., Хальясмаа А. И., Самойленко В. О. Проблема подсинхронного резонанса в ветроэнергетических установках и системах //

Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 3(47). С. 57 – 71.

2. Шерьязов С. К., Исенов С. С., Искаков Р. М., и др. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 5. С. 24 – 33.

3. Янсон Р. А. Ветроустановки. – М.: ИНЭИ РАН, 2007. 36 с.

4. Гусева Ю. В., Кострюков С. А., Васильев А. Р. Лабораторная модель ротора Савониуса // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 83 – 90.

5. Васильев А. Р., Кострюков С. А. Эффективность выработки электроэнергии ветрогенератором на основе ротора Савониуса // В книге: XXVI Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области. Направление «Инновационные и цифровые технологии». Тезисы докладов. Волжский, 2022. С. 29 – 31.

УДК 620.92

КОНТРОЛЬ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В MATLAB

¹Лю Жуньда, ²Груздев Александр Станиславович, ³Чжан Ханьян, Фан Юйхэн
^{1,2,3}Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург
²gruzdev@cee.spbstu.ru

Аннотация: увеличение потребления энергии людьми и истощение традиционных источников энергии стали центром внимания человечества. Развитие и использование возобновляемых источников энергии стало целью, преследуемой различными странами. Поскольку солнечная энергия является наиболее распространенной и чрезвычайно удобной новой энергией для применения, а также имеет преимущества экологичности и неисчерпаемости, она выделяется среди многих возобновляемых источников энергии. На выходную мощность фотогальванических элементов сильно влияют внешние факторы, такие как интенсивность излучения, температура окружающей среды, характеристика нагрузки, для повышения эффективности использования солнечной энергии, фотогальванические элементы должны быть в состоянии адаптироваться к изменениям во внешней среде во времени и всегда работать на максимальной мощности. Существует несколько методов контроля максимальной мощности, поэтому полезно использовать системы моделирования, такие как MATLAB. Результаты, полученные при симуляции в MATLAB, могут быть успешно применены при изготовлении контроллера отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ).

Ключевые слова: Отслеживание точки максимальной мощности, метод фиксированного напряжения, метод поиска максимума мощности методом возмущения, метод возрастания проводимости, DC/DC преобразователь, MATLAB.

PV CONVERTER MAXIMUM POWER CONTROL SYSTEM FOR MATLAB

¹Liu Runda, ²Gruzdev Alexander Stanislavovich, ³Zhang Hanyang, Fang Yuheng
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg
²gruzdev@cee.spbstu.ru

Abstract: with the increase in human energy consumption, environmental pollution and energy depletion have become the focus of human attention. The development and use of renewable energy sources has become a goal pursued by various countries. Since solar energy is the most common and extremely convenient new energy to develop, and has the advantages of purity and inexhaustibility, among many renewable energies stand out. Since the output power of photovoltaic cells is strongly influenced by external factors such as radiant intensity, ambient temperature, and load characteristics, to improve the efficiency of using solar energy by photovoltaic cells, photovoltaic cells must be able to adapt to changes in the external environment over time and always work on maximum power. There are several methods for controlling the maximum power, so it is useful to use modeling systems such as MATLAB. The results obtained during simulation in MATLAB can be successfully applied in the manufacture of a maximum power point tracking (MPPT) controller.

Keywords: maximum power point tracking, MPPT, fixed voltage method, perturbation maximum power search method, conductance rising method, DC/DC converter, MATLAB.

Основными проблемами при практическом применении фотоэлектрических систем являются ярко выраженная зависимость энергетических характеристик солнечных элементов от внешних факторов. С целью повышения энергоэффективности большинство современных фотоэлектрических систем строятся с использованием технологии отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ), что позволяет увеличить выработку электроэнергии до 10 % [1]. Эта технология основана на изменении характеристик нагрузки фотоэлектрического преобразователя таким образом, чтобы КПД был максимальным [1].

С развитием электронных технологий текущее ОТММ-управление солнечными батареями обычно осуществляется с помощью схемы DC/DC-преобразователя. Принципиальная блок-схема показана на рисунке 1. Фотоэлектрический массив подключается к нагрузке через преобразователь DC/DC. Устройство отслеживания максимальной мощности непрерывно определяет изменения тока и напряжения фотоэлектрического массива и в соответствии с этими изменениями регулирует рабочий цикл ШИМ-сигнала преобразователя DC/DC.

Метод постоянного напряжения является одним из самых простых методов управления MPPT. Когда интенсивность света меняется, а температура окружающей среды остается постоянной, разница между выходным напряжением, соответствующим точке максимальной мощности

фотоэлемента, мала. Поэтому, пока выходное напряжение фотоэлектрической системы установлено на напряжение точки максимальной мощности при определенной интенсивности света, ее выходная мощность будет равна максимальной выходной мощности, соответствующей данной температуре. Мы провели моделирование с помощью MATLAB/SIMULINK и получили результат, показанный на рисунке 2.

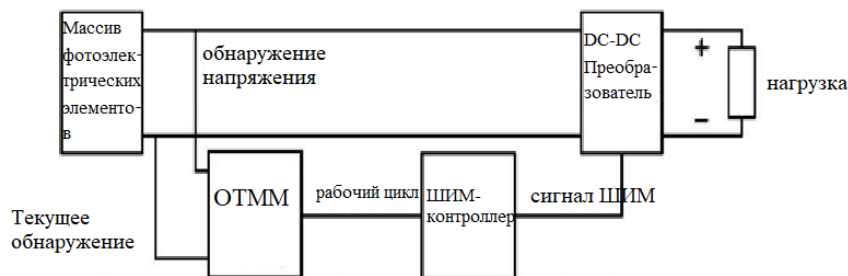


Рис. 1. Принцип отслеживания точки максимальной мощности

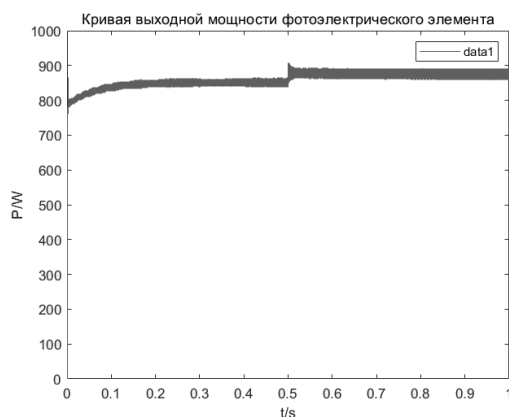


Рис. 2. Кривая выходной мощности фотоэлектрического элемента

Недостатком этого метода является то, что влияние изменений естественной температуры окружающей среды и температуры самой фотоэлемента может вызвать колебания в значении напряжения максимальной точки мощности, и поэтому использование этого метода может увеличить потери мощности в ситуациях, когда существует большая разница температур в течение года или большая разница температур между днем и ночью.

Метод поиска максимума мощности методом возмущения [2-4] является основным методом управления ОТММ, используемым в настоящее время. Он имеет простую внутреннюю структуру и требует меньшего количества параметров для измерения, поэтому широко используется для отслеживания точки максимальной мощности фотоэлектрических панелей. Основной принцип заключается в работе

фотоэлемента в определенной рабочей точке, а затем в регулярном, периодическом и слегка количественном увеличении или уменьшении выходного напряжения U или выходного тока I фотоэлемента - процесс, называемый возмущением. Мы провели моделирование с помощью MATLAB/SIMULINK и получили результат, показанный на рисунке 3.

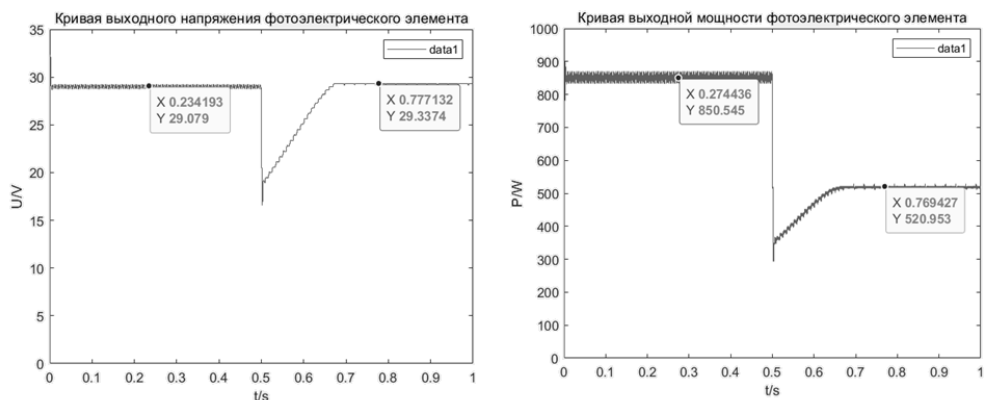


Рис. 3. Кривая выходной напряжения и мощности фотоэлектрического элемента

Метод поиска максимума мощности методом возмущения обладает низкой вычислительной нагрузкой, что делает его простым в реализации. Однако недостатками метода поиска максимума мощности методом возмущения являются: когда шаг возмущения большой, скорость отклика изменяется быстрее, но установившаяся точность не может удовлетворить требованиям; когда шаг возмущения мал, установившаяся точность относительно высока, но скорость отслеживания может быть ниже.

Метод возрастания проводимости [2] реализует отслеживание точки максимальной выходной мощности путем сравнения мгновенной проводимости и изменения проводимости фотогальванического элемента. Когда фотогальваническая батарея работает в точке максимальной мощности, то есть $dP/dU=0$; когда она работает слева от точки максимальной мощности, то есть $dP/dU>0$; когда она работает в правой части точки точки максимальной мощности, то есть $dP/dU<0$.

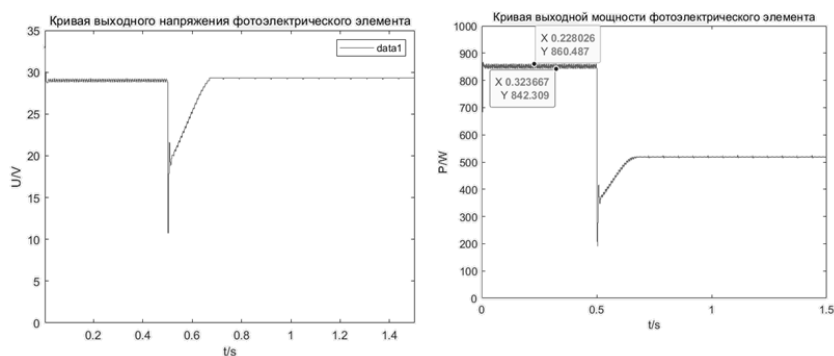


Рис. 4. Кривая выходной напряжения и мощности фотоэлектрического элемента

При относительно небольших значениях dP и dU требуется высокая точность применяемых датчиков, поэтому алгоритм требует больших вычислительных ресурсов и более сложен в реализации. В процессе моделирования было показано, что колебания ОТММ были уменьшены на 51% по сравнению с методом возмущений, что показывает, что метод возрастания проводимости является более эффективным по КПД. Однако его относительная сложность в реализации не позволяет применять этот метод в простых и дешевых контроллерах ОТММ.

Список литературы

1. Toumi D., Benattous D., Ibrahim A., Abdul-Ghaffar H.I., Obukhov S., Aboelsaud R., Labbi Y., Zaki Diab A.A. Optimal design and analysis of DC-DC converter with maximum power controller for stand-alone PV system // Energy Reports. 2021. № 7. P. 4951–4960. doi: 10.1016/j.egyr.2021.07.040.
2. Swaminathan N., Lakshminarasamma N., Cao. Y. A Fixed Zone Perturb and Observe MPPT Technique for a Standalone Distributed PV System // IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 2022. № 10(1). P. 361-374. doi: 10.1109/JESTPE.2021.3065916.
3. Salman S., Ai X., Wu Z. Design of a P-&O algorithm based MPPT charge controller for a stand-alone 200W PV system // Prot Control Mod Power Syst. 2018. № 25(3). doi: 10.1186/s41601-018-0099-8
4. Razmjoooy N., Estrela V.V., Padilha R., Monteiro A.C.B. World Cup Optimization Algorithm: Application for Optimal Control of Pitch Angle in Hybrid Renewable PV/Wind Energy System. // Lect. Notes Electr. Eng. 2021. № 696. P. 25–47. doi: 10.1007/978-3-030-56689-0_3.

УДК 621.45.018.2

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ПО СОЗДАНИЮ БЛАГОПРИЯТНОЙ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ ДЛЯ РАСТЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО И ГЕЛИО-ОСВЕЩЕНИЯ

¹Малаева Ева Денисовна, ²Маслов Савелий Юрьевич,

³Хамидуллин Ильдар Ниязович,

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент. Иванов Дмитрий Алексеевич

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

¹malaeva_eva01@mail.ru, ²saveli2000@gmail.com, ³ildar.ildar-xam2017@yandex.ru

Аннотация: в современном мире создание оптимальных условий для растений является ключевой задачей в земледелии и сельском хозяйстве. При этом одним из

основных факторов, влияющих на рост и развитие растений, является свет. В этой связи, разработка устройства для создания благоприятной световой среды для растений с применением искусственного и гелио-освещения является актуальной задачей.

Ключевые слова: гелио-освещение, искусственное освещение, растения, солнечный свет, энергоэффективность.

DEVELOPMENT OF AN INSTALLATION TO CREATE A FAVORABLE LIGHT ENVIRONMENT FOR PLANTS USING ARTIFICIAL AND HELIO-LIGHTING

¹Malaeva Eva Denisovna, ²Maslov ³Savely Yurievich, Khamidullin Ildar Niyazovich
Scientific advisor Ivanov Dmitry Alekseevich

^{1,2,3} KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

¹malaeva_eva01@mail.ru, ²saveli2000@gmail.com, ³ildar.ildar-xam2017@yandex.ru

Abstract: in the modern world, creating optimal conditions for plants is a key task in agriculture and agriculture. At the same time, one of the main factors affecting the growth and development of plants is light. In this regard, the development of a device for creating a favorable light environment for plants using artificial and solar lighting is an urgent task.

Key words: helio-lighting, artificial lighting, plants, sunlight, energy efficiency

Сегодня, когда население планеты продолжает расти, а земельные ресурсы становятся все более ограниченными, важно уметь получать максимальный урожай на минимальной площади. И одним из способов достижения этой цели является создание оптимальной световой среды для растений.

Искусственное освещение, в том числе LED-технологии, помогает обеспечить растениям необходимое количество света и спектра для полноценного развития. При этом такой подход имеет ряд преимуществ перед природным освещением – возможность контроля уровня и продолжительности светового дня, отсутствие влияния погодных условий на рост и развитие растений.

Однако искусственное освещение может быть достаточно дорогостоящим в использовании, и не во всех случаях оправдывает свою цену. В этих случаях используют гелио-освещение – использование зеркальных поверхностей и других устройств для максимального использования солнечного свет [1].

Безусловно, создание благоприятной световой среды – это задача, которая требует не только технических знаний и компетенций, но и глубокого понимания процессов, происходящих в растениях. Только так можно добиться максимальной производительности и качества урожая.

Основные требования, предъявляемые к такому устройству, включают в себя высокую эффективность, экономичность, надежность

и возможность контроля световой среды. Видение данной проблемы подразумевает создание портативной установки, которая основывается на использовании светодиодов и фотосинтетически активного излучения (ФАИ), которые участвуют в фотосинтезе и восстанавливают необходимую световую среду на производстве [2].

Данный проект состоит из двух ключевых компонентов: управляющей системы, обеспечивающей эффективное управление световой средой и светодиодной платы, выполняющей освещение растений. Управляющая система обеспечивает контроль параметров освещения, включая интенсивность, спектр и продолжительность света, а также может использоваться для настройки всех параметров в соответствии с потребностями конкретных растений [3-4].

Светодиодная плата, в свою очередь, представляет собой устройство, основанное на специальных светодиодных лампах, эмулирующих естественное солнечное освещение [5]. Она обеспечивает высокую эффективность, т.к. использует только те длины волн, которые нужны растениям в фотосинтезе, и, следовательно, не расходует энергию на излучение света, который не используется растениями.

Также, на основании проекта разрабатывается программное обеспечение, которое позволяет персонализировать установку в соответствии с конкретными потребностями каждого растения. Благодаря этому, управляющая система может автоматически регулировать световую среду в соответствии с изменением потребностей растений в течение всего их жизненного цикла.

На данный момент на базе Центра компетенций и технологий в области энергосбережения ФГБОУ «ВО «КГЭУ» создана система гелио-освещения, представленная на рисунке 1.

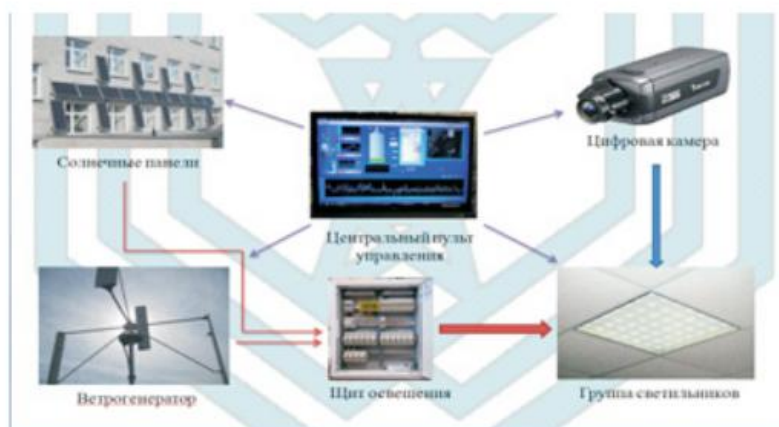


Рис. 1. Автоматическая система искусственного освещения

Таким образом, создание установки по созданию благоприятной световой среды для растений с применением искусственного и гелио-освещения включает разработку управляющей системы, светодиодной платы и программного обеспечения, обеспечивающих контролируемые и оптимальные условия для роста и развития растений. Расширение использования данной установки на производстве значительно улучшит качество и количество урожая и сделает земледелие более экологически чистым и продуктивным.

Исследования выполнены в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030»: соглашение № 075–15-2021-1087 от 30.09.2021, соглашение № 075–15-2021-1178 от 30.09.2021

Список литературы

1. Завьялов, Н. А. Влияние отраженного светового потока на освещенность и инсоляцию общественных зданий / Н. А. Завьялов // Дни студенческой науки : Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры НИУ МГСУ, Москва, 02–05 марта 2020 года. – Москва: Издательство МИСИ – МГСУ, 2020. – С. 791-793. – EDN C1TТКУ.

2. Козырева, И. Н. Сравнение источников излучения для растениеводства по стоимости единицы световой энергии и аналогам / И. Н. Козырева, В. Д. Никитин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 99. – С. 508-523. – EDN SGTOFR.

3. Патент № 2640960 С2 Российская Федерация, МПК А01G 7/04. Интерфейс для освещения в растениеводстве для взаимодействия по меньшей мере с одной системой освещения : № 2015129805 : заявл. 17.12.2013 : опубл. 18.01.2018 / М. П. К. М. Крейн, Х. М. Петерс, Э. М. Ван Эчтелт [и др.] ; заявитель ФИЛИПС ЛАЙТИНГ ХОЛДИНГ Б.В.. – EDN QOECBW.

4. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.) / Fahl J.I., Carelli M.L.C., Vega J., Magalhães A.C. // Journal of Horticultural Science. 1994. Т. 69 (1). С. 161-169.

5. Исмоилов И.И., Грачева Е.И. Повышение управляемости энергетическими системами и улучшение качества электроэнергии // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1 (53). С. 3-12.

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Маркова Мария Григорьевна
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань
markovamg@list.ru

Аннотация: в данной статье рассматриваются преимущества импортозамещения в области энергетики и возможности его развития в Российской Федерации в связи с современной политикой Западных стран. Также рассмотрены проблемы, возникающие в процессе внедрения импортозамещения, и пути их решения.

Ключевые слова: энергетика, импортозамещение, экономика, независимость, оборудование, энергетическое машиностроение.

IMPORT SUBSTITUTION IN ENERGY

Markova Maria Grigorevna
Kazan State Power Energetic University, Kazan
markovamg@list.ru

Annotation: this article considers advantages of import substitution in the field of energy and possibilities of its development in the Russian Federation in connection with the modern policy of Western countries. Problems arising in the process of introduction of import substitution and ways of their solution are also considered.

Keywords: energy, import substitution, economy, independence, equipment, energy engineering.

На сегодняшний день одной из главных целей энергетических отраслей России является достижение технологической независимости от других стран. Добиться этого можно путем импортозамещения.

Импортозамещение представляет собой ведение экономики, которое заключается в замене импортных товаров товарами отечественного производства. Переход на отечественное производство стал особенно очевидным на фоне повышения курса иностранных валют и введения санкций со стороны европейских стран и США, являющимися одними из основных поставщиков высокотехнологичного оборудования.

Для развития импортозамещения в энергетической отрасли стоит учитывать такие факторы отечественной экономики, как высокая энергоёмкость, географическая сосредоточенность и низкая стоимость электрической энергии.

По сравнению с другими видами тепловые электростанции занимают одно из первых мест в мире по генерации энергии. Однако из этого следует и высокая степень износа оборудования. Для снижения затрат на приобретение оборудования были предприняты меры по увеличению

сроков эксплуатации, исходя из состояния оборудования [1]. Однако такие действия лишь уменьшали эффективность работы электростанций и увеличивали аварийность с последующим выходом оборудования из строя, что приводило к масштабным отключениям электроэнергетики.

Из-за зависимости от импортного оборудования при его замещении возникают такие проблемы, как отставание России в производстве высокотехнологичных установок, отсутствие модернизации в энергетической деятельности, угроза безопасности энергетической деятельности и низкий уровень инвестирования в сфере инновационных разработок.

В настоящее время основная доля импорта в тепловой энергетике относится к турбинам. Для развития отечественного турбостроения предполагаются опытные работы при разработке и проектировании турбин, введение в эксплуатацию и её сервисная поддержка, а также внедрение произведенного оборудования в работу электростанций [4]. В России налажено производство турбин малой мощности, которые разработаны на основе авиационных двигателей. При использовании турбин большой мощности на отечественных станциях распространены турбины таких зарубежных компаний, как General Electric и Siemens, что усложняет дальнейшую работу и переоборудование в современных реалиях. Для разработки своего оборудования требуется создание высокотехнологичных деталей на основе наработок и обмена опытом с лидерами данной отрасли и последующие улучшения в сфере турбостроения [6].

На данный момент в России есть несколько компаний, которые успешно переняли опыт зарубежных производителей и готовы реализовать разработку газовых турбин высокой мощности. Несмотря на это, всё ещё более 80 % используемых парогазовых и газотурбинных установок работает и обслуживается зарубежными компаниями. Такая зависимость от иностранного оборудования угрожает безопасности экономики и энергетической безопасности страны.

Помимо замещения оборудования на тепловых электростанциях одним из главных объектов импорта во всей энергетической отрасли являются трансформаторы и элегазовые выключатели. Одним из основных поставщиков трансформаторов в Россию является Украина. Выключатели поставляются из Швейцарии, Германии, Франции и Болгарии. Для импортозамещения и создания качественной отечественной продукции также организуются соответствующие мероприятия по производству, разработке и проектированию стратегически важного энергетического оборудования для станций. В настоящее время в России уже есть заводы

по изготовлению трансформаторов, которые успешно эксплуатируются на станциях и подстанциях. Примером служат изготовленные в г. Тольятти автотрансформаторы мощностью 63 и 110 МВА, служащие основным силовым оборудованием на подстанции 110 кВ Полевая, расположенная в Ростовской области [2].

Для достижения успехов в импортозамещении должна присутствовать поддержка государства на каждом из этапов его развития. Так, в 2015 году было решено создать Правительственную комиссию по импортозамещению [3]. Также одну из важных ролей играет Фонд развития промышленности, который способен обеспечить нужным льготным финансированием наиболее перспективные проекты по модернизации производств. При реализации программы импортозамещения не менее важным является наличие и подготовка квалифицированных кадров. И, наконец, одним из главных документов, способствующих модернизации механизмов и энергетической политики страны, является Энергетическая стратегия России на период до 2035 года, включающая в себя такие этапы, как обеспечение энергетической и экономической безопасности, развитие научно-технических разработок, модернизации и разработки отечественного оборудования [5].

При достижении всех поставленных целей Россия получит устойчиво развитую энергетику, высококачественную отечественную продукцию, выход на мировой рынок и способность конкурировать с лидерами поставок энергетического оборудования.

Список литературы

1. Ершов А.Н. (2011). Роль модернизации в устойчивом развитии ТЭК // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. Т. 104. Вып. 12.

2. Как заместить импорт: опыт российских энергокомпаний // РБК Тренды URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/cmrm/6256d60d9a7947467eaa3c0a> (дата обращения: 14.05.2023).

3. Постановление Правительства РФ от 4 августа 2015 года № 785 «О создании правительственной комиссии по импортозамещению» URL: <http://static.government.ru> (дата обращения: 12.05.2023).

4. Филиппов С.П., Полищук В.Л. (2016). Программа импортозамещения оборудования энергетического машиностроения в области газотурбинных технологий. М.: ИНЭИ РАН. URL: https://www.eriras.ru/files/programma_po_gtu_inei_ran.pdf.

5. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/1920/69055> (дата обращения 12.05.2023).

6. Coatings for high-temperature structural materials. Trends and opportunities (1996). Committee of Coatings for High-Temperature Structural Materials. Commission on Engineering and Technical Systems. Washington, DC, National Research Council; National Academy Press.

УДК: 621.31

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Молодова Ксения Константиновна,
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Российская Федерация
molodovaks7@mail.ru

Аннотация: в статье рассмотрены причины актуальности темы исследования, изучено определение возобновляемых энергоресурсов, их основные источники и возможности их использования для электроснабжения потребителей изолированных территорий России, проанализированы основные способы внедрения элементов нетрадиционной энергетики в энергетическую отрасль страны, а также выявлены основные шаги реализации стратегии развития возобновляемой энергии для бесперебойного питания отдалённых регионов.

Ключевые слова: изолированные территории, нетрадиционная энергетика, методы интеграции, энергоресурсы, электроснабжение потребителей.

APPLICATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR POWER SUPPLY TO ISOLATED CONSUMERS

Ksenia Konstantinovna Molodova,
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation
molodovaks7@mail.ru

Abstract: the article examines the reasons for the relevance of the topic of research, examines the definition of renewable energy resources, their main sources and the possibilities of their use for power supply of consumers in isolated areas of Russia, analyzes the main ways of introducing elements of non-conventional energy in the energy sector of the country, as well as identifies the main steps of the strategy of development of renewable energy for uninterrupted power supply of remote regions.

Key words: isolated territories, unconventional energy, integration methods, energy resources, power supply to consumers.

Российская Федерация – самое крупное по площади государство на планете, при этом 60 % его территорий, а именно около 10 из 17 млн. км²,

относятся к северным регионам, являются труднодоступными и практически изолированы от Единой Энергетической Системы (ЕЭС) страны. К ним относятся Арктические регионы России, Якутия, Архангельская область и Камчатский край. Несмотря на то, что эти регионы составляют менее 2 % населения России, их потребление электроэнергии составляет 3,6 %. Однако энергоёмкость арктических территорий ниже среднероссийского уровня, что объясняется неэффективностью энергетической системы и высокими потерями при передаче электроэнергии. Проблемой также является изношенность энергетической инфраструктуры в арктических регионах, где средний уровень износа основного генерирующего оборудования превышает 60 % [1]. Отдельной проблемой является "северный завоз" - поставка грузов, особенно топлива, в отдаленные районы Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока. Это требует значительных бюджетных средств, а стоимость топлива для этих районов значительно превышает мировую цену. Ещё одной проблемой являются широко распространённые в этих регионах дизельные электростанции (ДЭС), большинство из которых отработали свой ресурс, расходуют много топлива, доставка которого осложняется суровыми климатическими условиями. Следствием этих проблем является высокий тариф на электроэнергию – от 40 до 110 кВт/час, а местами и выше[7].

Таким образом, существует необходимость в разработке и реализации эффективных источников энергии, включая возобновляемые источники (ВИЭ), а также в модернизации энергетической инфраструктуры, чтобы повысить энергоэффективность и снизить зависимость от "северного завоза". Это будет способствовать устойчивому развитию изолированных регионов России и обеспечению энергетической безопасности в этих территориях.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) представляют собой энергоресурсы, которые основаны на постоянно существующих природных процессах на Земле и на продуктах жизнедеятельности растительного и животного мира. Одной из ключевых характеристик ВИЭ является их неистощаемость или способность восполнять свой потенциал в пределах времени, сопоставимого с продолжительностью человеческого поколения.

Упомянутые выше регионы России обладают значительным потенциалом для развития ВИЭ (рис. 1).

Ветроэнергетика может развиваться в районах с средними скоростями ветра около 6-7 м/с [2]. Солнечная энергетика также имеет

благоприятные условия в Арктике и Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО), где среднегодовое поступление энергии прямого солнечного излучения составляет от 2 до 5 кВт*ч/(м²*день), сопоставимое с некоторыми южными районами России и южными районами Германии [3]. Кроме того, есть потенциал для развития геотермальной энергетики на Камчатке и Чукотке, а в южной части западных регионов можно использовать биоэнергетику на основе древесных отходов и низкосортной древесины. Приливная энергетика также приобретает популярность.

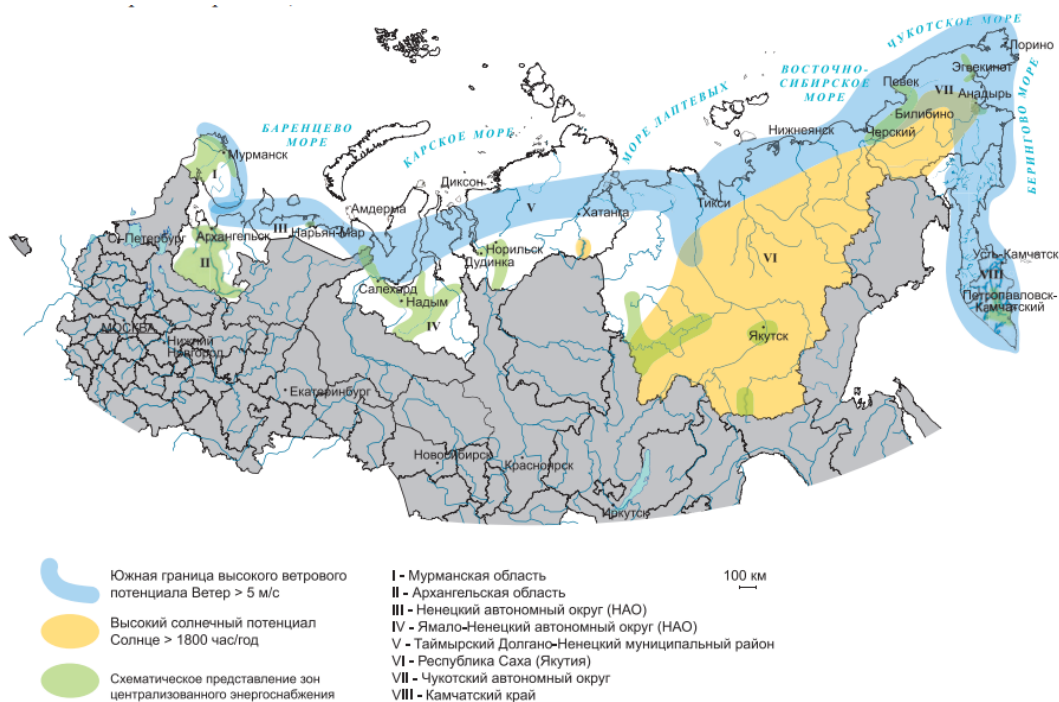


Рис. 1. Изолированные регионы по ВИЭ-потенциалу

Этот потенциал развития ВИЭ в арктических регионах предоставляет возможности для диверсификации энергетической системы и сокращения использования традиционных источников энергии.

Решения большинства проблем для электроснабжения потребителей изолированных регионов нашли во внедрении известных источников ВИЭ в уже имеющиеся ДЭС изолированной от ЕЭС РФ энергосистемы. Наглядным примером является разработка ветродизельных электростанций (ВДЭС) и модернизация неэффективных дизельных электростанций путем интеграции ветроэлектростанций (ВЭС) для использования ветропотенциала территорий (рис. 2) [4]. ВДЭС должны быть специально адаптированы к суровым климатическим условиям с целью минимизации потерь энергии и достижения максимального энергетического и экономического эффектов.

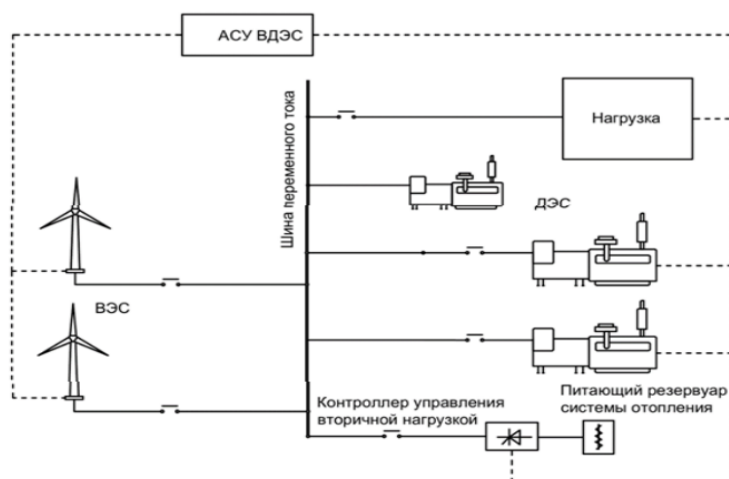


Рис. 2. Пример упрощённой схемы реализации ВДЭС

Также имеет место внедрение фотоэлектростанций (ФЭС) с сетевыми инверторами в системы электроснабжения переменного тока, работающие на дизельных электростанциях (ДЭС). Распределенная генерация на основе солнечной энергии позволяет поддерживать систему в чрезвычайных ситуациях и уменьшать зависимость от дизельного топлива, что приводит к снижению тарифной нагрузки на потребителей. Диверсификация системы путем интеграции ДЭС и ФЭС также снижает финансовые риски, связанные с производством электрической энергии [5]. Дополняет всё это применение микросетей, которые представляют собой локально ограниченные и независимо управляемые электрические сети и объединяют источники электроэнергии на основе ВИЭ, осуществляя эффективное распределение неравномерных нагрузок от них. Микросети имеют преимущества перед ЕЭС, такие как более экономичная установка и гибкость в размерах, а также могут использовать постоянный или переменный ток в зависимости от условий [6].

Разработка и применение стратегии для обеспечения надежного электроснабжения с применением ВИЭ отдаленных и малонаселенных районов включает в себя несколько ключевых шагов.

Во-первых, важно сосредоточиться на обновлении и замене существующих малых источников электроэнергии с помощью новейшего оборудования, которое производится на российских предприятиях, сюда также входит организация массового производства на внутренних заводах установок, использующих возобновляемые энергоресурсы, что поможет снизить их стоимость и транспортные расходы.

Во-вторых, необходимо обеспечить законодательную и организационную поддержку для использования источников возобновляемой энергии, включая создание регулятивных и нормативных документов,

которые определяют государственную политику в этой области. Также важно разработать и контролировать региональные программы, направленные на обеспечение изолированных потребителей топливом и энергией. Это должно включать в себя стандартизацию оборудования, пропаганду использования возобновляемых источников энергии и создание демонстрационных объектов и тестовых полигонов.

В-третьих, финансовая поддержка также играет решающую роль. Она включает в себя поддержку инвестиций в малую энергетику со стороны крупных компаний и частного капитала, предоставление субсидий и дотаций на строительство источников возобновляемой энергии, а также проведение политики государственных льготных кредитов на строительство таких источников энергии.

Подводя итог, организация электроснабжения изолированных потребителей предполагает комплексный подход, включающий как интеграцию ВИЭ в имеющуюся энергетическую инфраструктуру территорий, отдалённых от ЕЭС, и модернизацию и замену устаревшего оборудования ДЭС, так и подкрепление этого направления правовой базой с соответствующей финансовой поддержкой для реализации стратегии перехода с традиционных источников энергии на возобновляемые. В совокупности это приведёт к более устойчивому, гибкому и эффективному электроснабжению потребителей децентрализованных регионов.

Список литературы

1. Кузнецов Н.М. Гибридные установки с применением ВИЭ в энергообеспечении удаленных потребителей Мурманской области // Кузнецов Н.М., Минин В.А. / ЦФТПЭС КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия. Труды Конгресса REENCON– XXI «Возобновляемая энергетика XXI век». – Москва. - 2016 г.

2. Панин С.В. Ветры Арктики – ее богатство // Панин С.В., Прохоров В.Н. / Арктический вестник. - №1 (20). - 2017 г. - С. 108-115

3. Коновалова О. Е., Г. В. Никифорова. Малая возобновляемая энергетика на северо-западе Арктики // О. Е. Коновалова, Г. В. Никифорова. / Труды Кольского научного центра РАН. Энергетика, выпуск 12. - 2016 г., № 1.

4. Гзенгер Ш., Елистратов В.В., Денисов Р.С. Ветроэнергетика в России: перспективы, возможности и барьеры. Всемирная ветроэнергетическая ассоциация WWEA, СПбПУ Петра Великого, НОЦ

«ВИЭ», СанктПетербург, Россия. Труды Конгресса REENCON – XXI «Возобновляемая энергетика XXI век». – Москва. - 2016 г.

5. Лаврик А.Ю., Жуковский Ю.Л., Максимов Н.А. Определение оптимального состава резервируемой гибридной ветро-солнечной электростанции // Промышленная энергетика. 2019. № 10. С. 47–53.

6. Рузанов В.Т. Состояние и перспективы освоения возобновляемых энергоресурсов на Северо-Востоке России // Рузанов В.Т. / Ресурсо-воспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: матер. XIV Межд. конф. – М.: РУДН. - 2015. - С. 30–31.

7. Тарифы на электроэнергию для населения в России на 2016 год. URL: www.energybase.ru/tariff/electricity/2016

УДК 620.91

МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА - ДРАЙВЕР РАЗВИТИЯ РОССИИ

Мубаракшина Рузиля Радиковна
ФГБОУ ВО "Казанский государственный энергетический университет",
г. Казань, Россия
ruzilya.mubarakshina.01@mail.ru

Аннотация: данная статья посвящена роли малой энергетики в развитии России. В ней рассматриваются преимущества и проблемы этой отрасли, а также ее потенциал для экономического развития страны. Отмечается гибкость систем малой энергетики в управлении потоками энергоносителей и возможностью быстро адаптироваться к изменениям спроса на электричество и тепло. Также особое внимание уделено использованию возобновляемых источников энергии (ветра, солнца) для создания объектов МЭ, что позволяет не только снизить экологический след производства электроэнергии, но также обеспечить большую независимость от импорта топлива.

Ключевые слова: малая энергетика, развитие, энергетическая трилемма, экономика, мощность, энергоресурсы, эффективность, электроэнергетика, стратегические задачи.

SMALL ENERGY IS A DRIVER OF RUSSIA'S DEVELOPMENT

Mubarakshina Ruzilya Radikovna
FGBOU VO "Kazan State Power Engineering University",
Kazan, Russia
ruzilya.mubarakshina.01@mail.ru

Abstract: this article is devoted to the role of small-scale energy in the development of Russia. It examines the advantages and challenges of this industry, as well as its potential for the economic development of the country. The flexibility of small-scale energy systems in managing energy flows and the ability to quickly adapt to changes in demand for electricity and heat is noted. Also, special attention is paid to the use of renewable energy sources (wind, solar) for the creation of ME facilities, which allows not only to reduce the ecological footprint of electricity production, but also to ensure greater independence from fuel imports.

Keywords: small-scale energy, development, energy trilemma, economy, power, energy resources, efficiency, electric power industry, strategic tasks.

Малая энергетика является важным и перспективным направлением развития российской экономики. Эта отрасль представляет собой систему мощностей, которые производят и потребляют тепло- и электроэнергию на местах, близко к конечным потребителям. Она включает в себя генерацию электрической и тепловой энергии на базе возобновляемых источников (ветровые, солнечные), использование мини- ГЭС, а также применение когенерации – одновременного производства тепла и электричества. Она позволяет обеспечить надежное функционирование объектов социальной инфраструктуры: жилых домов, школ, больниц, офисных зданий. [1]

Задачи малой энергетики включают, но не ограничиваются:

1. Обеспечение стабильной и безопасной поставки электричества и тепла на местном уровне.

2. Снижение зависимости от импорта топлива за счет использования возобновляемых источников энергии (ветра, солнца) для создания объектов малой энергетики.

3. Увеличение географического охвата энергоносителей, обеспечивая доступ к ним в удаленных или малонаселенных районах.

4. Повышения экономической эффективности производства путем оптимизации затрат на производство и передачу электроэнергии и тепла.

5. Создание новых рабочих мест и повышение социальной ответственности бизнеса за счет поддержки местного сообщества.

6. Развитие инновационных технологий в производстве, хранении, передаче и потреблении электроэнергии и тепла для повышения конкурентоспособности малой энергетики на рынке.

7. Содействие переходу к чистому производству энергии и сокращению выбросов.

8. Обеспечение безопасности при эксплуатации систем малой энергетики.

В последние годы правительство РФ активно поддерживает развитие малой энергетики как стратегического направления экономического роста. В рамках этого была создана программа «Развитие малой энергетики и повышение эффективности использования природного газа в Российской Федерации на 2013-2020 годы», которая предусматривает финансирование инновационных проектов, модернизацию существующих объектов и развитие новых технологий [2].

Несмотря на множество потенциальных преимуществ, у современной малой энергетики есть и свои проблемы. Одной из главных

является высокая стоимость инвестиций в создание новых объектов или модернизацию существующих. Также наблюдается относительно низкая эффективность использования возобновляемых источников энергии, особенно в условиях нестабильности погодных условий (например, при отсутствии солнечного света или ветра) [3]. Недостаточное количество квалифицированных специалистов также может замедлить развитие малой энергетики.

Другая проблема – это сложность организации работы системы малой энергетики в рамках общей инфраструктуры поставки электричества и тепла. Системы централизованного управления могут быть неэффективными для координации действий большого количества мелких объектов [4].

Однако малая энергетика имеет множество преимуществ, которые делают ее более эффективной и экономически выгодной по сравнению с традиционными методами производства электро- и теплоэнергии.

Во-первых, системы малой энергетики обеспечивают большую гибкость в управлении потоком электричества и тепла. Они легко адаптируются к изменяющимся условиям спроса на энергоносители, что позволяет более точно регулировать объемы производства.

Во-вторых, использование возобновляемых источников энергии (ветра, солнца) для создания объектов малой энергетики является экологически чистым. В отличие от традиционных методов производства электроэнергии (использование газа или нефти), при этом нет выбросов углекислого газа или других опасных веществ в окружающую среду.

Малая энергетика позволяет экономить затраты за счет уменьшения потерь при передаче энергии – что является одной из основных проблем централизованных систем поставки энергии. Развитие малой энергетики создает новые рабочие места в регионах, обеспечивает стабильность работы социальной инфраструктуры и повышает качество жизни населения. [5]

Ключевые преимущества малой энергетрики:

1. Независимость от централизованных систем поставки электричества и тепла;
2. Экономия затрат за счет уменьшения потерь при передаче энергии;
3. Сокращение выбросов парниковых газов благодаря использованию возобновляемых источников [6].

Таким образом, малая энергетика является драйвером развития России, который позволяет не только укрепить экономическую базу страны, но также оказать положительное влияние на окружающую среду и социальную составляющую регионов.

Список литературы

1. Рябчик, А. П. Малая энергетика - драйвер развития России / А. П. Рябчик, А. В. Шаркова // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2023. – № 2(140). – С. 41-45.

2. Белан, С. И. Оценка современного состояния и потенциала использования возобновляемых источников энергии в России / С. И. Белан, Г. Б. Бадавов, Н. М. Гусейнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 3-1. – С. 284-298.

3. Авраменко, А. А. Человек и трансформация современного общества: драйверы и вызовы, обусловленные климатическими рисками / А. А. Авраменко, М. А. Рыбина // Человек и трансформация современного общества: проблемы безопасности, духовности и культуры : Сборник материалов Международного научно-практического Свято-Тихоновского форума, включающего: конференцию; круглый стол Международного общества свт. Григория Паламы ; VIII Свято-Тихоновскую конференцию, Псков, 13–18 ноября 2021 года. – Псков: Псковский государственный университет, 2021. – С. 5-13.

4. Бушуев, В. В. Энергетика России : избранные статьи, доклады, презентации 2014-2018 гг. / В. В. Бушуев. Том 4. – Москва : ООО "Издательско-аналитический центр Энергия", 2018. – 740 с.

5. Твердохлебов, С. А. Энергоэффективность применения малой энергетики в народном хозяйстве / С. А. Твердохлебов, Т. С. Бакрунова // Наука молодых – будущее России : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых: в 6 томах, Курск, 11–12 декабря 2018 года. Том 6. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2018. – С. 252-255.

6. Егорова, Н. Е. Возобновляемая энергетика и малый бизнес: стратегии синергизма и устойчивого развития / Н. Е. Егорова, С. А. Некрасов // Экономическая наука современной России. – 2022. – № 4(99). – С. 89-103.

УДК 628.95

О КОНСТРУКТИВНОМ ИСПОЛНЕНИИ СОЛНЕЧНЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ

¹Мухаметова Азалия Ренатовна, ²Иванова Вилия Равильевна
^{1,2}ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Аннотация: в работе представлен обзор и анализ существующих видов солнечных концентраторов, приведено описание основных преимуществ эксплуатируемых моделей.

Ключевые слова: гелиоконцентратор, энергоэффективность, солнечная энергия.

ABOUT THE DESIGN OF SOLAR CONCENTRATORS

¹Mukhametova Azalia Renatovna, ²Ivanova Viliya Ravilievna
^{1,2}FSBEI HE "Kazan State Power Engineering University"

Abstract: the paper presents an overview and analysis of existing types of solar concentrators, describes the main advantages of the models in use.

Keywords: solar concentrator, energy efficiency, solar energy.

Ограничение в запасах ископаемого топлива и негативное влияние на окружающую среду заставляет задуматься об использовании альтернативных источников энергии. Перспективным является направление солнечной энергетики.

Одним из способов использования солнечной энергии является концентрация и перенаправление солнечных лучей на объект. Устройством для подобного преобразования и повышения плотности энергии солнечной радиации выступает гелиоконцентратор [1-5]. Конструктивно указанное устройство представляет собой зеркальную поверхность для сбора и отражения солнечных лучей. Солнечные концентраторы работают по принципу фокусировки лучей и передачи энергии теплоносителю, размещенному на коллекторных установках. Для реализации функциональных возможностей с гелиоконцентраторами требуется специальный сборник солнечного излучения – рефлектор, а также преобразователь тепла в необходимый вид энергии.

Известны несколько типов конструктивного исполнения гелиоконцентраторов: башенные концентраторы, параболического типа, тарельчатого типа и агрегаты с отражателями линейного типа (на линзах Френеля) [1]. Башенные концентраторы и концентраторы тарельчатого типа основаны на фокусировке солнечных лучей в одной точке, а параболический концентратор и агрегаты с отражателями линейного типа – в одну линию. Разные типы концентраторов производят разные пики температур и, соответственно, разную термодинамическую эффективность.

Башенные концентраторы для преобразования солнечной энергии в электрическую используют гелиостаты. Эти устройства, включают зеркала, которые поворачиваются, чтобы продолжить отражать солнечный свет в направлении заданной цели. Гелиостаты собирают солнечные лучи на приемнике, расположенном в верхней части солнечной башни. Многие современные гелиостаты управляются компьютером и имеют только

вертикальную и горизонтальную оси вращения. В качестве рабочего тела в современных конструкциях используют азотистый солевой раствор для достижения лучшей теплопередачи и аккумулирующих характеристик. Можно концентрировать энергию в 1000 раз. Высота башни от 5 до 165 м. Зеркала от 1,1 до 120 м². Температура достигает от 440 до 550 С°. Примером такой солнечной электростанции является СТЭС Айвонпа, которая расположена в штате Калифорния, США (мощность 390 МВт).

Конструкция параболических концентраторов состоит из зеркала большой длины, в фокусе которого устанавливается трубка, по которой течет теплоноситель (например, масло). Десятки рядов параболических концентраторов устанавливаются параллельно, вдоль линии «север–юг». Такая конфигурация позволяет следить за движением солнца с востока на запад в течение суток. Слежение за солнцем осуществляется за счет движения отражателей вокруг поглотительной трубки. Полученная тепловая энергия используется для производства электроэнергии с помощью парогенератора.

В настоящее время отдельные параболические системы могут производить до 80 МВт электроэнергии и осуществлять нагрев до 400 С°. Примером солнечной электростанции с параболическими концентраторами выступает *SEGS* в Калифорнии (мощность 354 МВт).

В основе агрегатов с отражателями линейного типа (на линзах Френкеля) лежат длинные тонкие зеркала, способные концентрировать солнечную энергию примерно в 30 раз больше по сравнению с ее нормальной интенсивностью.

Концентраторы тарельчатого типа схожи по внешнему виду со спутниковой или радиолокационной тарелкой. Солнечные лучи, попадая на концентратор, отражаются с помощью зеркал и фокусируются на небольшом приемнике. Приемник находится на некотором удалении от отражателя. Отражатель состоит из зеркал, радиально расположенных на ферме. Количество зеркал может достигать нескольких десятков. Каждое зеркало или линза действуют как единый излучатель, и непосредственно фокусируется одной и той же точке, что увеличивает общую мощность.

Все выше перечисленные системы имеют свои достоинства и недостатки. Башенные концентраторы и тарелочные концентраторы имеют лучшую производительность, но их недостатком является отсутствие мобильности. При их использовании имеется необходимость установки системы слежения. Тарельчатые концентраторы имеют маленькую площадь поверхности и сложную форму. Также к недостаткам относится цена устройств с гелиоконцентраторами. Агрегаты с отража-

телями линейного типа рассматриваются как технология с худшей производительностью, чем аналоги. Однако исследования новых моделей отражателей Френеля показывают более высокую производительность, чем стандартная версия.

Для эффективной отражающей способности существует проблема очищения поверхности устройств.

В настоящее время наиболее популярными являются параболические концентраторы. По прогнозам, концентрированная солнечная энергия может обеспечить до 25 % мировых энергетических потребностей к 2050 году.

Список литературы

1. Стребков, Д. С. Солнечные электростанции: концентраторы солнечного излучения : Учебное пособие / Д. С. Стребков, Э. В. Тверьянович. – 2-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. – 265 с.

2. Хоренко, П. Е. Повышение энергоэффективности солнечных панелей с помощью солнечных концентраторов / П. Е. Хоренко, Д. В. Шумский, Б. С. Компанец // Актуальные вопросы энергетики : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Омск, 14–15 мая 2021 года / Редколлегия: П.А. Батраков (отв. ред.) [и др.]. – Омск: Омский государственный технический университет, 2021. – С. 46-50.

3. Стребков, Д. С. Солнечные электростанции с концентраторами для крупномасштабной солнечной энергетики / Д. С. Стребков, А. Е. Иродионов, Н. Ю. Бобовников // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – № 5(20). – С. 96-108.

4. Майоров, В. А. Изготовление и исследование составного параболического концентратора солнечного излучения для различных преобразователей солнечной энергии / В. А. Майоров, В. А. Панченко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : Материалы Международной научно-технической конференции. В 3-х томах, Минск, 10–11 октября 2012 года / Редколлегия: П.П. Казакевич (гл. ред.), О.О. Дударев. Том 3. – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. – С. 77-83.

5. Стребков, Д. С. Коэффициент концентрации солнечного излучения и методы его измерения в солнечных энергоустановках с концентраторами / Д. С. Стребков, Н. Ю. Бобовников // Вестник аграрной науки. – 2017. – № 6(69). – С. 88-92. – DOI 10.15217/issn2587-666X.2017.6.88.

МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

¹Савельев Максим Олегович, ²Писковацкий Юрий Валерьевич

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,

¹Maxim20022010@icloud.com,

²yura_kazan@mail.ru

Аннотация: в статье рассматривается актуальная проблема развития солнечной энергетики в Китае и факторы, способствующие ее стремительному развитию. Были проанализированы данные по объемам установленных мощностей и выработки электроэнергии в различных секторах электроэнергетики с 2008 по 2018 год. Полученные результаты показали, что самый высокий прирост мощностей и выработки электроэнергии был зафиксирован в солнечном секторе. Были выявлены основные факторы, оказавшие влияние на стремительное развитие солнечной энергетики. В частности, резкое снижение стоимости фотоэлектрических модулей, за счет роста конкуренции на рынке и удешевления производства в связи с переносом большинства производств в Китай, увеличением объемов и автоматизацией производственных процессов.

Ключевые слова: ВИЭ, солнечная энергия, солнечные панели, Китай, фотоэлектрические установки, солнечная радиация.

GLOBAL TRENDS IN SOLAR ENERGY DEVELOPMENT

¹Saveliev Maxim Olegovich, ²Piskovatsky Yuri Valerievich

FSBEI HE KSPEU, Kazan

¹Maxim20022010@icloud.com,

²yura_kazan@mail.ru

Abstract: the article discusses the current problem of solar power development in China and the factors contributing to its rapid development. The data on installed capacity and power generation in different sectors of the electric power industry from 2008 to 2018 were analyzed. The results showed that the solar sector saw the highest increase in capacity and power generation. The main factors that influenced the rapid development of solar power were identified. In particular, a sharp decrease in the cost of photovoltaic modules, due to increased competition in the market and cheaper production due to the transfer of most production facilities to China, an increase in volume and automation of production processes.

Keywords: RES, solar energy, solar panels, China, photovoltaic installations, solar radiation.

За последнее десятилетие наблюдается значительный рост установленной мощности солнечных (фотоэлектрических) электростанций в мире, составляющий увеличение примерно в 33 раза. Согласно статистике, в 2017 году мощность составила 405 ГВт, а в 2018 году увеличилась и достигла 505 ГВт. Среди стран-лидеров по использованию солнечной энергии сегодня можно выделить Китай, США, Японию, Германию и Индию. Дополнительную информацию можно увидеть на рисунке 1, где приведены более подробные данные.

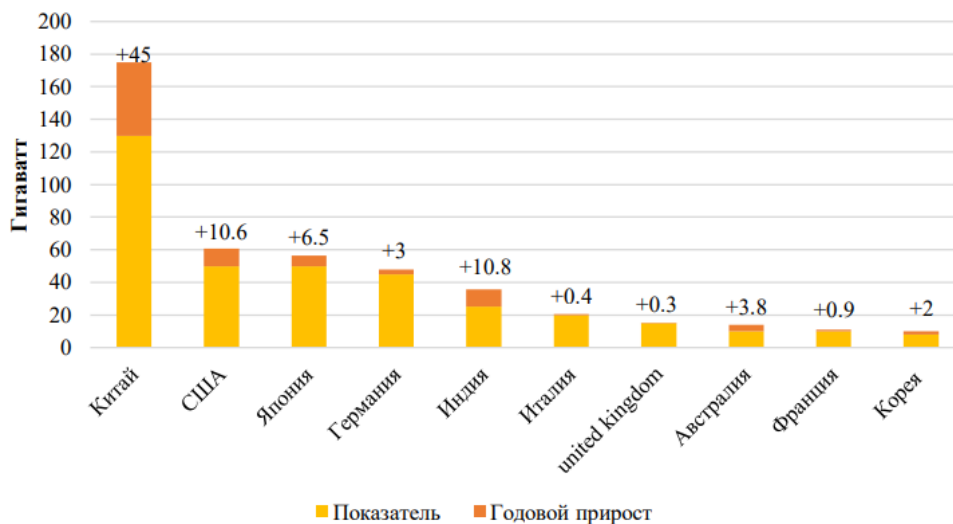


Рис. 1. Мировые лидеры по развитию солнечной энергетики [1]

В Европе существует три основных типа солнечной энергетики: фотовольтаика (PV), башенные солнечные электростанции и солнечная тепловая энергетика. В 2010 году на европейском рынке солнечной энергии производство составило 2,81 миллиарда долларов, включая предприятия малого и среднего бизнеса, которые занимались генерацией энергии на 17 ТВт*ч, обеспечив 34000 рабочих мест. Таким образом, на каждые 80 кВт добавленной мощности было создано одно рабочее место. В 2011 году в Европейском союзе было установлено дополнительно 22 ГВт PV систем, увеличив общую установленную мощность до 13,5 ГВт, что привело к обороту рынка PV в размере примерно 39 млрд долларов. В 2012 году к сети в Европе было подключено 17,2 ГВт PV систем, что немного меньше, чем в 2011 году (22 ГВт). Согласно отчету компании EPIA за 2012 год, Европа обладала солнечными электростанциями мощностью более 70 ГВт, что составляет 69% от мирового объема (85 ТВт*ч электроэнергии в год), что достаточно для обеспечения потребностей более чем 20 миллионов домашних хозяйств. В 2011 году Италия была лидером по установленной мощности фотовольтаики в Европе с 9,3 ГВт, за ней следовали Германия (7,5 ГВт), Франция (1,7 ГВт) и Соединенное Королевство (784 МВт).

Солнечная энергия является важным источником энергии в Европе. Германия является ведущей страной в Европе по установленной мощности Солнечных электростанций (СЭС), имея более чем 24 ГВт установленной мощности, за которой следует Италия с более чем 12 ГВт. Солнечные батареи составляют значительную долю европейского производства электроэнергии, обеспечивая 2 % спроса и примерно 4 % пикового спроса.

В 2011 году стратегии национальных планов Европейских стран на 2020 год прогнозировали достижение установленной мощности солнечных электростанций в размере 84 ГВт. Однако уже в 2018 году общая установленная мощность только в четырех европейских странах (Германия, Италия, Великобритания и Франция) превысила этот план и составила 90 ГВт, что представлено на рисунке 2. Это означает, что темпы развития солнечной электроэнергетики оказались выше, чем было ожидаемо в 2011 году [2]. В 2016 году СЭС стали соизмеримыми с установленными мощностями традиционной электроэнергетики, а их выработка стала заметной на фоне традиционной выработки электроэнергии, особенно на Ближнем Востоке, в Африке и Латинской Америке, где были зафиксированы рекордно низкие тарифы.

На рисунке 2 отражены актуальные тенденции развития солнечной энергетики у мировых лидеров данной отрасли на основе данных за 2018 год.

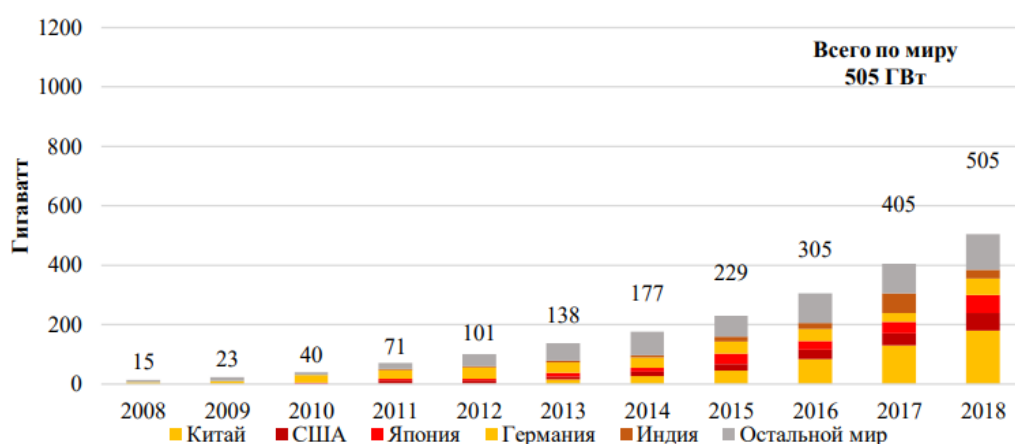


Рис. 2. Темпы развития солнечной энергетики у лидеров сектора и в остальном мире [3-4]

В 2019 году КНР достигла значительного прогресса в секторе электроэнергетики благодаря росту мощности и производства электроэнергии, особенно в солнечном секторе, который увеличился на 17,4 % и 26,5 % соответственно, по сравнению с предыдущим годом.

Основывая на всем вышесказанном, можно сделать вывод, что причиной существенно быстрого роста можно считать снижение цены на фотоэлектрические модули за счет конкуренции на рынке и автоматизации производства, которое перенесено в КНР. Как результат, себестоимость энергии, производимой фотоэлектрическими панелями, значительно уменьшилась. Эти факторы играют важную роль в развитии солнечной энергетики.

Список литературы

1. Городов Р.В.. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие [Текст] / Р.В. Городов, В.Е. Губин, А.С. Матвеев. – Тосмк: Издательство ТПУ, 2009. С.294
2. Электроэнергетика Китая [Электронный ресурс]: итоги 2019 года / Веб портал об инновациях в электроэнергетике. [М.], 2017-2020. URL: <https://renen.ru/china-s-power-industry-2019-results> (дата обращения: 15.05.2023).
3. Отчет глобальном развитии ВИЭ за 2019, выпущенный международной сетью экспертов правительственных, межправительственных организаций, ассоциаций промышленников и науки – REN21 community (Renewable 2019. Global Status Report. REN21). URL: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf (дата обращения: 15.05.2023).
4. POWER Data Access Viewer (NASA) URL: power.larc.nasa.gov/data-accessviewer/ (дата обращения: 21.04.2023 г.).

УДК 620.9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

¹Сагиров Вильдан Ранисович, ²Писковацкий Юрий Валерьевич
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,
¹vildan.2001.1@gmail.com, ²yura_kazan@mail.ru

Аннотация: в статье представлен метод, основанный на анализе распределения солнечной радиации (СР) на примере территории республики Татарстан, позволяющий определить наиболее выгодные районы для внедрения солнечной энергетики у потребителей. Были разработаны классификации районов по группам солнечной активности. Для этого использован параметр СР, поступающей на поверхность Земли, и данные измерений за период с 1984 года. Целью исследования является определение наиболее эффективных районов республики Татарстан для внедрения солнечной энергетики с использованием фотоэлектрических установок.

Ключевые слова: солнечная энергия, солнечные панели, фотоэлектрические установки, солнечная радиация, Республика Татарстан.

DETERMINING THE MOST EFFECTIVE AREA OF THE REPUBLIC FOR THE INTRODUCTION OF SOLAR ENERGY

¹Sagirov Vildan Ranisovich, ²Piskovatsky Yuri Valerievich
^{1,2} FSBEI HE KSPEU, Kazan
¹vildan.2001.1@gmail.com, ²yura_kazan@mail.ru

Abstract: the article presents a method based on the analysis of the distribution of solar radiation (SR) on the example of the territory of the republic of Tatarstan, which allows

us to determine the most favorable areas for the introduction of solar energy in consumers. Classification of districts by solar activity groups was developed. For this purpose the parameter of SR arriving on a surface of the Earth and the data of measurements for the period since 1984 were used. The purpose of the study is to determine the most effective areas of the republic of Tatarstan for the introduction of solar energy using photovoltaic installations.

Keywords: solar energy, solar panels, photovoltaic installations, solar radiation, Republic of Tatarstan.

Одним из перспективных технических решений для повышения эффективности электроснабжения сельскохозяйственных предприятий является установка возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнечные электростанции (СЭС), основанные на использовании фотоэлектрических установок (ФЭУ). Согласно отчету [1], установленная мощность СЭС в мире увеличилась в восемь раз в период с 2012 по 2021 годы и достигла около 850 ГВт. Развитие солнечной энергетики особенно активно происходит в Азии, где доля установленной мощности СЭС составляет 57 %, а в Китае – 36 %. В России же, согласно [2], установленная мощность СЭС на 2022 год составила 1,96 ГВт, что соответствует 0,23 % от общего объема установленной мощности.

Развитие использования солнечной энергии в электростанциях напрямую зависит от изменений погодных условий в регионе и уровня государственной поддержки. Сейчас можно наблюдать рост доли энергии, производимой с помощью возобновляемых источников энергии, включая солнечные электростанции.

В электроэнергетике республики Татарстан есть несколько успешных примеров использования солнечных модулей для электроснабжения потребителей, которые подключены к электрическим сетям напряжением 0,4 кВ. Это было подтверждено результатами исследований [3,4].

Для оценки потенциала использования фотоэлектрических установок (ФЭУ) был использован показатель солнечной радиации (СР), который является показателем количества солнечной энергии, достигающей поверхности Земли. Стоит отметить, что этот показатель зависит от нескольких факторов, таких как состояние атмосферы, длительность солнечного дня, температура воздуха и облачность [5]. В работе [6] были приведены значения коэффициентов полезного действия (КПД) ФЭУ в зависимости от степени освещенности их панелей.

Для создания карты показателей солнечной активности были использованы данные измерений [7] СР с 1984 года по настоящее время. Анализ этих результатов позволил выделить три района в республике

Татарстан, где среднегодовое значение $СР$ составляет от 2,90 до 3,30 кВт·ч/м² (рис. 1).

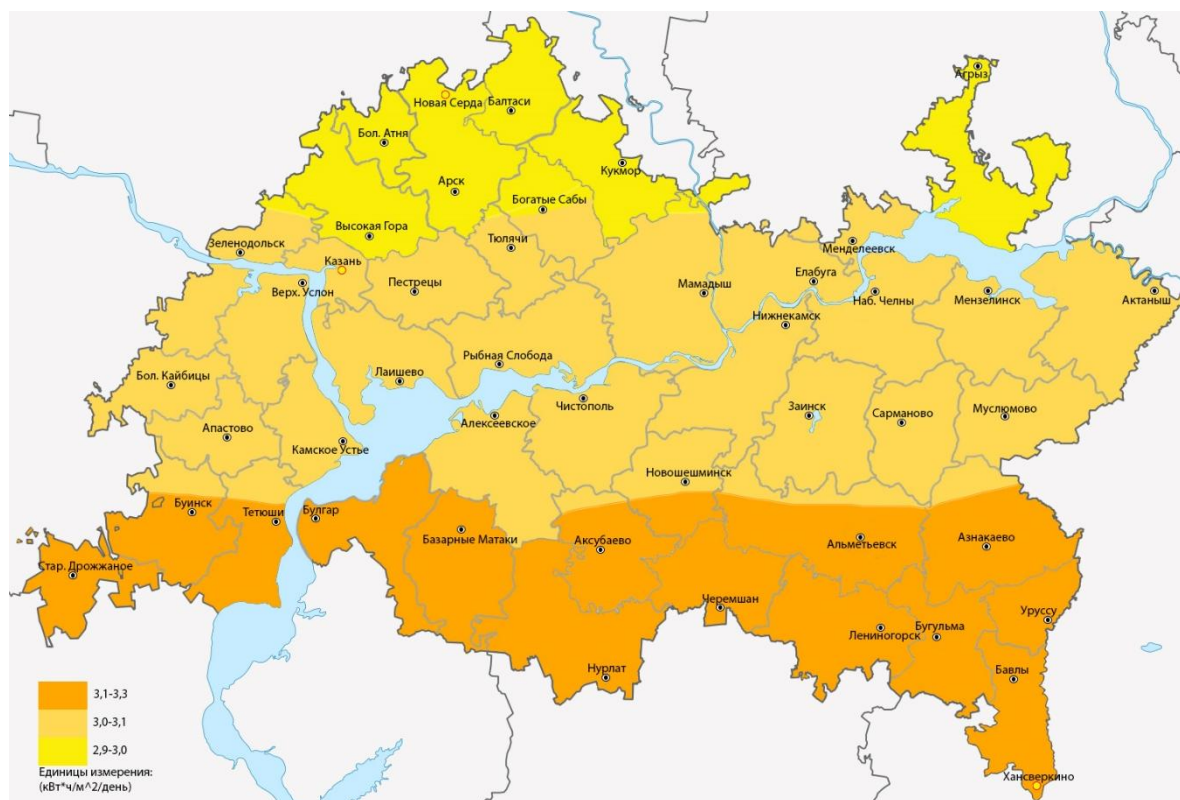


Рис. 1. Карта распределения солнечной радиации по РТ

Наиболее высокие значения $СР$ наблюдаются в районе села Хансверкино Бавлинского района, расположенного на юго-востоке РТ, а самые низкие - в районе деревни Новая Серда Арского района, расположенного на северо-западе РТ. В дальнейших исследованиях будет рассмотрено влияние изменения показателя $СР$ на выбор оборудования, его срока окупаемости и изменение показателя эффективности региона.

Список литературы

1. Renewable Capacity Statistics 2022. - URL: <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022> (дата обращения: 18.04.2023).
2. Информационный обзор «Единая энергетическая система России: промежуточные итоги» (оперативные данные), декабрь 2021 г. М.
3. Деньги из ветра и солнца: РТ намерена развивать «зеленую» энергетику - URL: <https://rt.rbc.ru/tatarstan/31/08/2020/5f4f4c3b9a7947ca5d882027> (дата обращения: 21.04.2023 г.).

4. «Солнечные электростанции» на улице Солнечной: АО «Сетевая компания» поддерживает развитие объектов «зеленой энергетики» на территории РТ - URL: <https://gridcom-rt.ru/press-tsentr/novosti/solnechnye-elektrostantsii-na-ulitse-solnechnoy-ao-setevaya-kompaniya-podderzhivaet-razvitie-obektov/#video> (дата обращения: 21.04.2023 г.).

5. Как зависит мощность солнечных панелей от температуры воздуха? - URL: <https://naukatehnika.com/kak-zavisit-moshnost-solnechnyh-panelej-ot-temperaturey-vozduha.html> (дата обращения: 21.04.2023 г.).

6. Влияние препятствий солнечным лучам на выработку энергии солнечными панелями - URL: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/techorient.htm> (дата обращения: 21.04.2023 г.).

7. POWER Data Access Viewer (NASA) URL: power.larc.nasa.gov/data-accessviewer/ (дата обращения: 21.04.2023 г.).

УДК 620.9

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

¹Сагиров Вильдан Ранисович, ²Писковацкий Юрий Валерьевич

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,

¹vildan.2001.1@gmail.com, ²yura_kazan@mail.ru

Аннотация: работа посвящена основным проблемам и ограничениям, связанным с использованием солнечной энергии. В статье рассмотрены технические, экономические и социальные проблемы, связанные с использованием солнечной энергии, а также проанализированы основные причины ограничений в распространении этого типа энергетики. Было установлено, что одной из главных проблем является неравномерность распределения показателя солнечной радиации в зависимости от местности и времени года, что является причиной снижения эффективности использования солнечной энергии и требует дополнительных затрат на хранение. В статье также описываются методы и технологии, которые используются для преодоления ограничений, такие как использование аккумуляторных батарей для хранения энергии и развитие новых технологий солнечных батарей.

Ключевые слова: ВИЭ, солнечная энергия, солнечные панели, фотоэлектрические установки, солнечная радиация,

THE MAIN PROBLEMS ASSOCIATED WITH THE USE OF SOLAR ENERGY

¹Sagirov Vildan Ranisovich, ²Piskovatsky Yuri Valerievich

^{1,2}FSBEI HE KSPEU, Kazan

Abstract: The paper is devoted to the main problems and limitations associated with the use of solar energy. The article considers the technical, economic and social problems associated with the use of solar energy, and analyzes the main reasons for the limitations in

the spread of this type of energy. It was found that one of the main problems is the uneven distribution of the index of solar radiation depending on the location and time of year, which is the reason for the decrease in the efficiency of solar energy and requires additional costs for storage. The article also describes the methods and technologies that are used to overcome the limitations, such as the use of batteries for energy storage and the development of new solar cell technologies.

Keywords: RES, solar energy, solar panels, photovoltaic installations, solar radiation.

Солнечная энергия является одним из самых перспективных и экологически чистых источников энергии на планете. Её использование может существенно снизить зависимость человечества от нефти, газа и угля, что, в свою очередь, приведет к уменьшению выбросов углекислого газа и других вредных веществ в атмосферу. Однако, несмотря на многообещающие перспективы солнечной энергетики, её широкое внедрение сталкивается с рядом проблем и ограничений, которые необходимо учитывать при разработке и реализации проектов по использованию данного вида энергии. Согласно отчету [1], установленная мощность СЭС в мире увеличилась в восемь раз в период с 2012 по 2021 годы и достигла около 850 ГВт. Развитие солнечной энергетики особенно активно происходит в Азии, где доля установленной мощности СЭС составляет 57 %, а в Китае – 36 %. В России же, согласно [2], установленная мощность СЭС на 2022 год составила 1,96 ГВт, что соответствует 0,23 % от общего объема установленной мощности.

В электроэнергетике Республики Татарстан есть несколько успешных примеров использования солнечных модулей для электро-снабжения потребителей, которые подключены к электрическим сетям напряжением 0,4 кВ. Это было подтверждено результатами исследований [3-4].

Стоит отметить, что этот показатель зависит от нескольких факторов, таких как состояние атмосферы, длительность солнечного дня, температура воздуха и облачность [5]. В работе [6] были приведены значения коэффициентов полезного действия (КПД) солнечных панелей в зависимости от степени освещенности их панелей.

Одной из основных проблем использования солнечной энергии является неравномерность распределения солнечной радиации в зависимости от местности и времени года [8]. Это является серьезным ограничением для эффективного использования солнечной энергии. В разных регионах мира и даже внутри одной страны показатели солнечной радиации могут сильно отличаться друг от друга, что может привести к неравномерности использования солнечной энергии в разных частях мира.

В качестве примера приведем Северную Европу, здесь особенно в зимние месяцы, количество солнечной радиации намного меньше, чем в более южных регионах. В течение дня также может наблюдаться значительная вариация показателей солнечной радиации, в зависимости от времени года и погодных условий. Это также может приводить к неэффективному использованию солнечной энергии.

Кроме того, различные факторы, такие как облачность, туман, заслонение солнечной радиации и наличие тени могут снижать количество солнечной радиации, что приводит к уменьшению эффективности солнечных батарей. Данные о неоднородности распределения солнечной радиации, собранные с различных метеорологических станций и спутниковых наблюдений, позволяют более точно оценивать количество энергии, производимой солнечными батареями в различных регионах [7].

Одним из способов решения проблемы неоднородности распределения солнечной радиации является внедрение и применение технологий накопления энергии: аккумуляторных батарей, которые могут сохранять избыточную энергию, полученную в более благоприятных условиях, и использовать ее в тех местах и временах, когда количество солнечной радиации меньше. Развитие новых технологий солнечных батарей может способствовать повышению эффективности использования солнечной энергии в условиях неоднородного распределения солнечной радиации.

Существует несколько новых технологий солнечных батарей, которые могут увеличить эффективность использования солнечной энергии. Например, технология перовскитовых солнечных батарей показывает высокую эффективность при низкой стоимости производства. Указанная технология использует перовскит, материал, который имеет высокую эффективность в преобразовании солнечной радиации в электрическую энергию. Данные батареи могут работать в условиях слабого солнечного света и несколько лучше работают в условиях неоднородного распределения солнечной радиации.

Кроме того, технологии тонких пленок позволяют создавать солнечные батареи, которые более эффективно преобразуют солнечную радиацию в электрическую энергию. Эти батареи также могут работать в условиях слабого солнечного света и лучше работают в условиях неоднородного распределения солнечной радиации.

Также существуют батареи с высоким коэффициентом заполнения, которые могут справляться с неоднородным распределением солнечной радиации. Эти батареи имеют более высокую эффективность в преобра-

зовании солнечной радиации в электрическую энергию и способны эффективно использовать солнечную радиацию даже в условиях неравномерности распределения.

Рассмотренные в работе ограничения – это то, с чем сталкиваются в процессе эксплуатации солнечной электростанции. Развитие новых технологий солнечных батарей является важным шагом в повышении эффективности использования солнечной энергии в условиях неоднородного распределения солнечной радиации. В последующих работах будет представлен метод определения наиболее перспективного района, основанный на анализе распределения показателя солнечной радиации.

Список литературы

1. Renewable Capacity Statistics 2022. – URL: <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022> (дата обращения: 16.04.2023).
2. Информационный обзор «Единая энергетическая система России: промежуточные итоги» (оперативные данные), декабрь 2021 г. М.
3. Деньги из ветра и солнца: РТ намерена развивать «зеленую» энергетику – URL: <https://rt.rbc.ru/tatarstan/31/08/2020/5f4f4c3b9a7947ca5d882027> (дата обращения: 16.04.2023 г.).
4. «Солнечные электростанции» на улице Солнечной: АО «Сетевая компания» поддерживает развитие объектов «зеленой энергетики» на территории РТ – URL: <https://gridcom-rt.ru/press-tsentr/novosti/solnechnye-elektrostantsii-na-ulitse-solnechnoy-ao-setevaya-kompaniya-podderzhivaet-razvitie-obektov/#video> (дата обращения: 16.04.2023 г.).
5. Как зависит мощность солнечных панелей от температуры воздуха? - URL: <https://naukatehnika.com/kak-zavisit-moshnost-solnechnyh-panelej-ot-temperature-vozduha.html> (дата обращения: 16.04.2023 г.).
6. Влияние препятствий солнечным лучам на выработку энергии солнечными панелями – URL: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/techorient.htm> (дата обращения: 16.04.2023 г.).
7. POWER Data Access Viewer (NASA) – URL: power.larc.nasa.gov/data-accessviewer/ (дата обращения: 21.04.2023 г.).
8. Горбенко О.Н. ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ / О.Н. Горбенко, А.А. Рожкова. - Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-2. – С. 38-39; URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=33904> (дата обращения: 16.04.2023).

МАЛАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА: СУЩНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Салахов Азат Маратович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
f.ftn@yandex.ru

Аннотация: в статье рассматривается перспективное направление в энергетике - малая электроэнергетика (МЭЭ), которая использует возобновляемые источники энергии и новые технологии для обеспечения энергией небольших территорий и отдельных потребителей. МЭЭ является быстрорастущим направлением в энергетике, имеет высокую экономическую эффективность и способствует сокращению выбросов в атмосферу. Однако, существуют проблемы с нестабильностью выходной мощности и ограниченным сроком службы системы, которые решаются с помощью систем энергосбережения и хранения энергии.

Ключевые слова: малая электроэнергетика, возобновляемые источники энергии, новые технологии, экономическая эффективность, вредные выбросы, нестабильность, ограниченный срок службы, системы энергосбережения, хранение энергии.

SMALL ELECTRIC POWER INDUSTRY: THE ESSENCE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Salakhov Azat Maratovich
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
f.ftn@yandex.ru

Abstract: the article discusses a promising direction in the energy sector - small electric power industry (SEPI), which uses renewable energy sources and new technologies to provide energy to small territories and individual consumers. SEPI is a fast-growing direction in the energy sector, has high economic efficiency and contributes to reducing emissions into the atmosphere. However, there are problems with the instability of the output power and the limited service life of the system, which are solved with the help of energy saving and energy storage systems.

Keywords: small electric power industry, renewable energy sources, new technologies, economic efficiency, harmful emissions, instability, limited service life, energy saving systems, energy storage

В условиях растущей экономики и населения во всем мире, повышение потребления электроэнергии является одним из главных факторов, влияющих на экологическую обстановку на планете. В свою очередь, для обеспечения устойчивого развития необходимо постоянное повышение энергоэффективности и уменьшение загрязнения окружающей среды. В данном контексте малая электроэнергетика (МЭЭ) оказывается достаточно перспективным направлением, обеспечивающим более

эффективное использование ресурсов и существенное сокращение выбросов в атмосферу.

МЭЭ – это инновационные энергетические системы, созданные для обеспечения электроэнергией небольших территорий или отдельно взятых потребителей таких, как небольшие предприятия, дома и коттеджи. МЭЭ использует возобновляемые источники энергии, такие как солнце, ветер, гидроэнергетика и геотермальная энергия, что позволяет снизить уровень выбросов в атмосферу. Также в МЭЭ используются новые и эффективные технологии, например, системы энергосбережения и хранения энергии для обеспечения стабильной работы системы.

На данный момент МЭЭ является одним из самых быстрорастущих направлений в энергетике, что вызвано рядом причин. Во-первых, это связано с развитием технологий, что приводит к снижению затрат на оборудование, увеличению производительности и эффективности работы системы. Во-вторых, это связано с повышением потребления энергии на небольших территориях, вызванным ростом населения и увеличением числа предприятий. В-третьих, МЭЭ имеет высокую экономическую эффективность, что привлекает инвесторов и стимулирует развитие данной отрасли.

Одним из самых важных элементов МЭЭ является возобновляемые источники энергии, такие как солнечная, ветровая, гидроэнергетика, геотермальная и биомасса. Солнечная энергия является наиболее доступным, бесплатным и чистым источником энергии, который может использоваться в любом месте с достаточным количеством солнечного света. Ветровая энергия является наиболее доступным видом энергии врезных местах, где высокие скорости ветра предоставляют потенциальную возможность для производства электроэнергии. Гидроэнергетика – производство энергии из потока или падения воды с помощью гидротурбин, которые используют движение воды для привода генераторов. Геотермальная энергия производится из земли и используется для обогрева помещений, производства электроэнергии и промышленных целей. Биомасса представляет собой растительную и животную материю, используемую для производства топлива и генерации электроэнергии.

Важным фактором развития МЭЭ является поддержка со стороны государства и бизнеса. Во многих странах созданы программы государственной поддержки в области развития возобновляемых источников энергии и МЭЭ. Одним из примеров такой программы является европейская Feed-in tariff (Зелёный тариф)[1], предусматривающая оплату заинтересованным лицам определенной цены за каждый киловатт-

час электроэнергии произведенной на основе возобновляемых источников энергии. В нашей стране развитие зеленых тарифов началось с утверждения «Плана мероприятий по стимулированию развития генерирующих объектов на основе возобновляемых источников энергии с установленной мощностью до 15 кВт» 24 июля 2017 года Правительством РФ. Для того, чтобы участвовать в этой программе есть важное условие, которое гласит, что энергообъект должен обладать уровнем напряжения 1000 вольт и иметь мощность до 15 киловатт [2,3].

Кроме того, бизнес также активно внедряет МЭЭ в свою деятельность [4]. Многие крупные корпорации включают возобновляемую энергию и МЭЭ в свои стратегии устойчивого развития, что позволяет им не только уменьшать вредное влияние на окружающую среду, но и сокращать расходы на энергетику в долгосрочной перспективе.

Но помимо экологических и экономических показателей, МЭЭ имеет и социальное значение. В результате использования возобновляемых источников энергии и МЭЭ, местные сообщества могут получить независимость от централизованных энергосистем, увеличить устойчивость и защищенность от катастрофических событий, таких как наводнения или аварии на энергетических объектах.

Важно отметить, что развитие МЭЭ требует высокой квалификации и компетенции специалистов[5]. Однако, в настоящее время в большинстве стран отсутствуют специальные программы обучения и квалификации в области МЭЭ. Поэтому, важно развивать системы подготовки и повышения квалификации специалистов в этой области.

В целом, МЭЭ представляет собой перспективное направление в энергетике, основанное на использовании возобновляемых источников энергии и новейших технологий. Это помогает сокращать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, увеличивает устойчивость и защищенность от катастрофических событий, и экономит ресурсы на энергетику в долгосрочной перспективе. Несмотря на некоторые проблемы в области нестабильности выходной мощности и ограниченного срока службы системы, МЭЭ продолжает развиваться, подкрепленная поддержкой со стороны государственных и частных структур.

Список литературы

1. R. Haas, C. Panzer, G. Resch, M. Ragwitz, G. Reese, and A. Held, “A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries” // *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 2, pp. 1003–1034, 2011.

2. Федеральный закон от 26.03.2003 N 35-ФЗ (ред. От 11.06.2022) "Об электроэнергетике" // СПС-Консультант плюс

3. Алексеев В.А. Особенности функционирования малой распределительной энергетики в России // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2020. – № 5-2. – С. 217-222; – URL: <https://vaael.ru/ru/article/view?id=1131>, дата обращения: 15.05.23.

4. Каткова Е., 2020. Почему нефтегазовые корпорации переходят на зелёные технологии. // Ведомости // URL: <https://www.vedomosti.ru/partner/articles/2020/10/30/845036-neitralnie-uglevodorodi>, дата обращения: 15.05.23.

5. Загитова Л.Р. Проблемы подготовки специалистов в области возобновляемых источников энергии // Материалы X Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» // URL: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018000173>, дата обращения: 15.05.23.

УДК621.64.69

ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ТРАССАХ

Сафин Риназ Раисович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан,
Rinaz.Safin@yandex.ru

Аннотация: использование нетрадиционных источников электрической энергии является одним из быстроразвивающихся направлений в электроэнергетике. Они позволяют создать более развитую и автономную систему электроснабжения потребителей.

Ключевые слова: ветрогенератор, электрическая энергия, автомобильная трасса

GENERATION OF ELECTRICAL ENERGY ON HIGHWAYS

Safin Rinaz Raisovich
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
Rinaz.Safin@yandex.ru

Abstract: the use of non-traditional sources of electrical energy is one of the fastest growing areas in the electric power industry. They allow you to create a more developed and autonomous power supply system for consumers.

Keywords: wind generator, electrical energy, highway

Одной из актуальных тем современного мира является распределенная генерация электроэнергии. Этот принцип рассматривает

производство электроэнергии в непосредственной близости от потребителя. В большинстве своем это небольшие и компактные установки, рассчитанные на небольшие мощности. При этом потребитель не отключается от общей, магистральной сети с целью стабилизации дефицита энергии при отсутствии генерирующих мощностей дополнительных источников энергии. Возобновляемые источники энергии составляют основную часть дополнительных источников энергии для производства распределительной электроэнергии [1].

Словосочетание «перевозка электроэнергии» натолкнуло меня на мысль об использовании автомобильных дорог, а точнее ветровых потоков, образующихся при движении автомобилей, как возможность производства электроэнергии для обеспечения электроэнергией самой магистрали или для нужд близлежащих объектов.

Ветрогенератор – одна из установок для получения альтернативной энергии. Ветряная турбина преобразует силу ветра в электрическую энергию [2]. Так как в нашем случае нет необходимости в больших и высоких ветряках, это упрощает обслуживание, без работы на высоте.

Геликоидный ротор – это тип вертикального ветрогенератора, требующий больших усилий по установке, но вращение этого ротора более плавное и равномерное [3]. Установленные подшипники снимают дополнительную нагрузку с конструкции. Ортогональный ротор. Чтобы ветряк начал вращаться, необходима скорость ветра 0,7 м/с. Ротор со спиральными лопастями. Постоянное осевое вращение и ветровой поток не зависят друг от друга, даже при резких порывах ветра ветрогенератор будет работать с заданной начальной скоростью (как в случае с ротором Савуниса).

Существуют и другие типы вертикальных ветрогенераторов, такие как ротор Савуниса, ротор Дарье, многолопастной ротор и др. Основными критериями выбора являются:

- Продолжительность жизни,
- Цена продукта,
- Условия эксплуатации,
- Минимальная скорость воздуха, при которой может работать ветрогенератор.

Важным этапом данной проектной работы является разработка как конструкции самого ветродвигателя, так и его интеграции в рабочую среду (см. рисунок 1а., 1б.). 3D-модель была создана с помощью программного обеспечения для архитектурного проектирования SketchUP.

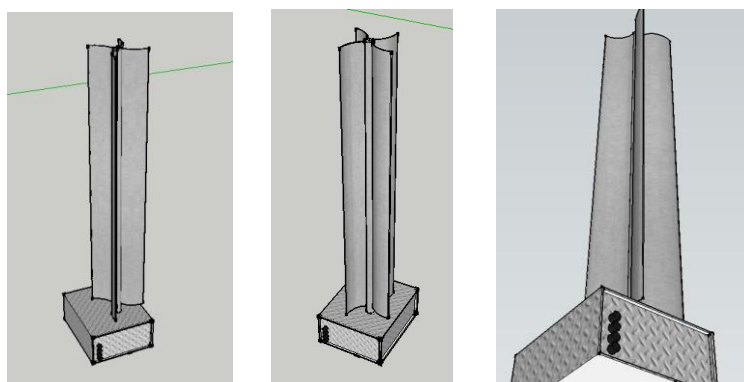


Рис.1а. Ветроустановка “WindGen”

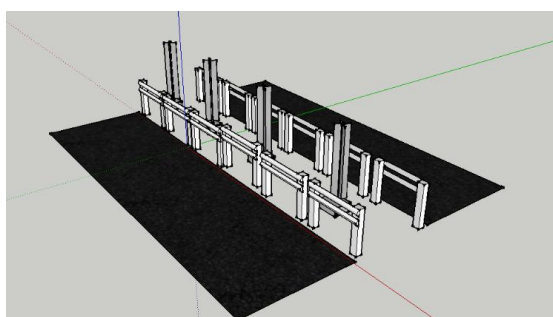


Рис. 1б. Интеграция ветроустановок в рабочую среду

Список литературы

1. Школьная наука [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://school-science.ru/2/11/30923>. – Дата обращения: 25.09.2022.

2. Экотехника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecotechnica.com.ua/energy/veter/3986-innovatsionnyj-vetrogenerator-enlil-rabotaet-ot-proezzhayushchikh-mimo-avtomobilej-video.html>. – Дата обращения: 05.10.2022.

3. Фокин Ю.А. Надежность и эффективность сетей электрических систем. М.: Высшее. школа, 1989. – 240 с.

УДК 621.311.01

ЭФФЕКТИВНАЯ И НАДЕЖНАЯ СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ СИСТЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Субханова Алина Магасумовна
 ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
alina8sub@gmail.com

Аннотация: растущий спрос на чистую и устойчивую энергию привел к быстрому распространению систем возобновляемой энергии. Однако прерывистый

и переменный характер возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия, создает серьезные проблемы для эффективного и надежного преобразования энергии. Силовые электронные преобразователи имеют решающее значение для преобразования постоянного тока в переменный для использования в домах и на предприятиях. В последние годы значительные исследования были сосредоточены на разработке новых топологий, стратегий управления и материалов для повышения эффективности и надежности силовых электронных преобразователей. Полупроводники с широкой запрещенной зоной, системы накопления энергии и передовые методы упаковки и охлаждения были определены как ключевые области для улучшения. Эти достижения помогут управлять изменчивостью возобновляемых источников энергии и поддерживать рост и интеграцию систем возобновляемой энергии в суровых условиях.

Ключевые слова: системы возобновляемой энергетики, силовая электроника, эффективные, надежные, преобразователи, топологии, стратегии управления, широкозонные полупроводники, системы накопления энергии.

EFFICIENT AND RELIABLE POWER ELECTRONICS FOR RENEWABLE ENERGY SYSTEMS

Subkhanova Alina Magasumovna
KSPEU, Kazan
alina8sub@gmail.com

Abstract: the growing demand for clean and sustainable energy has resulted in the rapid expansion of renewable energy systems. However, the intermittent and variable nature of renewable energy sources, such as solar and wind power, presents significant challenges for efficient and reliable power conversion. Power electronic converters are crucial in converting DC to AC for use in homes and businesses. In recent years, significant research has focused on the development of new topologies, control strategies, and materials to improve the efficiency and reliability of power electronic converters. Wide-bandgap semiconductors, energy storage systems, and advanced packaging and cooling techniques have been identified as key areas for improvement. These advances will help to manage the variability of renewable energy sources and support the growth and integration of renewable energy systems in harsh environments.

Keywords: renewable energy systems, power electronics, efficient, reliable, converters, topologies, control strategies, wide-bandgap semiconductors, energy storage systems.

Растущий глобальный спрос на чистую и устойчивую энергию привел к быстрому расширению систем возобновляемой энергии. Однако прерывистый и переменный характер возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия, создает серьезные проблемы для эффективного и надежного преобразования энергии. Силовая электроника играет решающую роль в преобразовании постоянного тока (DC), вырабатываемого возобновляемыми источниками энергии, в переменный ток (AC), который можно использовать для питания домов и предприятий.

Силовые электронные преобразователи должны работать в широком диапазоне рабочих условий, включая переменное входное напряжение

и ток, а также различные условия нагрузки. Эффективность и надежность силовых электронных преобразователей напрямую влияют на общую производительность системы возобновляемой энергии.

В последние годы были проведены значительные исследования по разработке более эффективной и надежной силовой электроники для систем возобновляемой энергии. Одним из ключевых направлений этого исследования была разработка новых топологий и стратегий управления силовыми электронными преобразователями. Эти новые топологии и стратегии управления могут значительно повысить эффективность и надежность силовых электронных преобразователей.

В дополнение к новым топологиям и стратегиям управления разрабатываются новые материалы и компоненты для повышения эффективности и надежности силовых электронных преобразователей. Было показано, что полупроводники с широкой запрещенной зоной, такие как карбид кремния (SiC) и нитрид галлия (GaN), обладают превосходными рабочими характеристиками по сравнению с традиционными полупроводниками на основе кремния [1]. Эти широкозонные полупроводники имеют более высокое напряжение пробоя, более низкое сопротивление в открытом состоянии и более высокие рабочие температуры, что может привести к значительному повышению эффективности и надежности силовых электронных преобразователей.

Еще одним важным направлением исследований в области разработки эффективной и надежной силовой электроники для систем возобновляемой энергетики является интеграция систем накопления энергии. Системы накопления энергии, такие как батареи и конденсаторы, используются для хранения избыточной энергии, производимой возобновляемыми источниками энергии, и ее разрядки при необходимости. Интеграция систем накопления энергии требует разработки новых стратегий управления и топологий силовых электронных преобразователей.

Одной из основных проблем при интеграции систем накопления энергии является необходимость управлять зарядкой и разрядкой системы накопления энергии, обеспечивая при этом работу силового электронного преобразователя в безопасных пределах [2]. Это требует разработки передовых стратегий управления, которые могут управлять как потоком мощности между системой хранения энергии и электросетью, так и потоком мощности между системой хранения энергии и возобновляемым источником энергии.

Разработка силовых электронных преобразователей, способных работать в суровых условиях, является еще одним важным направлением

исследований в области разработки эффективной и надежной силовой электроники для систем возобновляемой энергетики. Системы возобновляемой энергии часто устанавливаются в удаленных местах, и силовая электроника должна быть способна работать в экстремальных температурах и погодных условиях [3]. Разработка силовых электронных преобразователей, которые могут работать в этих условиях, имеет решающее значение для дальнейшего роста и интеграции систем возобновляемой энергии.

Одним из подходов к повышению надежности силовых электронных преобразователей в неблагоприятных условиях является использование усовершенствованных методов компоновки и охлаждения [4]. Использование передовых методов компоновки, таких как прямое соединение, может значительно улучшить тепловые и механические характеристики силовых электронных преобразователей. Точно так же использование передовых методов охлаждения, таких как жидкостное охлаждение, может помочь справиться с высокими рабочими температурами преобразователей силовой электроники в суровых условиях [5].

В заключение разработка более эффективной и надежной силовой электроники необходима для дальнейшего роста и интеграции систем возобновляемой энергии. В последние годы были проведены значительные исследования по разработке новых топологий, стратегий управления и материалов для повышения эффективности и надежности силовых электронных преобразователей. Было показано, что новые материалы и компоненты, такие как полупроводники с широкой запрещенной зоной, обладают превосходными характеристиками по сравнению с традиционными полупроводниками на основе кремния [6]. Интеграция систем хранения энергии и разработка силовых электронных преобразователей, которые могут работать в суровых условиях, остаются ключевыми проблемами, которые необходимо решить, чтобы полностью реализовать потенциал систем возобновляемой энергии.

Список литературы

1. Hossain MJ, Pota HR, Abu-Siada A, et al. A review of power electronic interface topologies for renewable energy sources. *Renew Sustain Energy Rev.* 58, 2019, pp. 58-98.

2. Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике / О. В. Афанасьева, И. Г. Ахметова, А. М. Ба Бораик [и др.]. Том 1. – Казань :

Казанский государственный энергетический университет, 2018. – 423 с. – ISBN 978-5-89873-533-3. – EDN GAMUCQ.

3. Gao S, Bhat AKS, Johny S, et al. Recent advances in power electronics for renewable energy systems. IEEE Trans Power Electron. 33, 2019, pp. 5-23.

4. Li Y, Bi T, Kang C, et al. Recent advances in materials and devices for power electronics in renewable energy systems. Energy Environ Sci. 12, 2019, pp. 63-90.

5. Nuhic A, Softic S, Selimovic A, et al. Power electronics in renewable energy systems – State-of-the-art and future trends. Energy Rep. 5, 2019, pp. 28-41.

6. Haque ME, Negnevitsky M, Muttaqi KM. Recent advances in power electronics for renewable energy systems: A review. Renew Energy. 132, 2019, pp. 75–88.

УДК 621.311.243

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Султанова Руфина Рафаильевна
Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань
rufinasultanova13@gmail.com

Аннотация: мы получаем огромное количество солнечной энергии от солнца каждую секунду. Солнечная энергия - это не что иное, как солнечный свет, и это абсолютно бесплатно. Солнечные панели являются самым популярным продуктом возобновляемых технологий. Они универсальны и имеют разнообразные области применения. В этой статье представлены виды использования солнечных панелей.

Ключевые слова: солнечная панель, потребление, уменьшение, применение, станции, энергоэффективность, устройства.

USING SOLAR PANELS

Sultanova Rufina Rafailievna
Kazan State Power Engineering University, Kazan
rufinasultanova13@gmail.com

Abstract: We receive a huge amount of solar energy from the sun every second. Solar energy is nothing but sunlight, and it's absolutely free. Solar panels are the most popular product of renewable technologies. They are versatile and have a variety of applications. This article presents the uses of solar panels.

Keywords: solar panel, consumption, reduction, application, stations, energy efficiency, devices.

В современном мире солнечные панели быстро стали недорогой низкоуглеродной технологией для использования возобновляемой энергии

солнца. К данному способу воспроизводства электроэнергии подключено более нескольких миллионов потребителей, а мощность фотоэлектрических электростанций общего назначения возросла в сотни мегаватт.

Первые солнечные батареи появились ещё в XIX веке. Предпосылкой этому стали революционные исследования, которые заключались в том, чтобы преобразовать энергию Солнца в более материальную составляющую.

Солнечные панели - это фотоэлектрические устройства. Основным элементом панели являются солнечные элементы представляемые в виде прямоугольных или восьмиугольных устройств, которые преобразуют свет в электричество. Остальные части панелей – стеклянное покрытие, полимерная основа и алюминиевая рама - вспомогательный материал [1].

Процесс выработки электроэнергии может осуществляться как в бытовом, так и в промышленном масштабе. Подобно удаленному источнику питания, солнечные панели можно использовать в качестве портативного решения для питания. Независимо от того, установлена ваша фотоэлектрическая система на крыше или на земле, в жилом или коммерческом помещении, принцип работы остается практически неизменным.

Солнечные панели могут использоваться для нагрева воды, это более популярно для домашних условий. Домовладельцы устанавливают эти устройства для получения горячей воды непосредственно от солнца. Поскольку горячая вода может быть востребована в загруженном домашнем хозяйстве, в дополнение к таким системам часто используются резервные нагреватели. Эти резервные обогреватели особенно полезны ночью, когда солнца недостаточно для нагрева воды [2].

Другое ключевое применение солнечных панелей – зарядка аккумуляторов. Инженеры могут усовершенствовать домашние солнечные электрические системы с помощью системы резервного аккумулятора. Затем солнечные панели могут заряжать аккумулятор в течение дня, чтобы обеспечить его источником электроэнергии на ночь или следующие сутки.

Также можно использовать солнечные панели, чтобы уменьшать наш углеродный след. При большем расходовании солнечной энергии, потребляется меньше ископаемого топлива. При сжигании ископаемого топлива производится углекислый газ, что вызывает явление парникового эффекта. Благодаря солнечным панелям, уменьшается количество углерода, который производится в результате повседневной жизни [3].

Кроме того, фотоэлектрические панели имеют широкое применение в освещении улиц и помещений, эксплуатации средств передвижения

начинания от электросамокатов и заканчивая электромоторными суднами. Также используются в детских игрушках, смартфонах и прилегающих портативных устройств. Однако, учитывая как быстро совершенствуются технологии и сферы применения солнечных панелей, в ближайшем будущем больше людей и производственных предприятий будут применять солнечную энергию [4].

Преимущества:

1. Возобновляемость и доступность ресурсов;
2. В процессе эксплуатации солнечные электростанции не выделяют вредных примесей, загрязняющих воздух;
3. Экономичность;
4. Большой срок эксплуатации. Конструкция не содержит подвижных частей, вследствие этого износ оборудования проходит медленно. Обычно такие станции могут прослужить около 30 лет.

Недостатки:

1. Дорогостоящее оборудование и прилагаемые элементы;
2. Низкий КПД;
3. Энергоэффективность зависит от времени года, погоды и месторасположения солнечных панелей;
4. Габаритность элементов [5].

Солнечная энергетика не стоит на месте, а развивается с каждым днём всё больше и больше. Составляющие элементы фотоэлектрических панелей уменьшаются в цене, а технические характеристики совершенствуются за счёт новых инженерных решений, поэтому сфера их применения расширяется. От солнечных электростанций производится электроэнергия в больших масштабах, именно поэтому промышленность, сельское хозяйство, строительство и многие другие сферы переходят на использование солнечной энергии [6].

Список литературы

1. Сидорович В. Мировая энергетическая революция. Как возобновляемые источники энергии изменят наш мир [Текст]. М.: Альпина Паблицер, 2015. С.230.
2. Нефедова Л.В. Риски развития возобновляемой энергетики в России [Электронный ресурс] // Журнал СОК. 2018. №5.
3. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии: роль и место современной и перспективной энергетике [Электронный ресурс] // Рос. хим. журн. 2008.
4. Возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] // Официальный сайт Минэнерго России. URL: <http://minenero.gov.ru/activity/vie>.

5. Сетевая солнечная электростанция [Электронный ресурс] / АльтЭКО.[М.], 2016-2020. URL: http://www.altecolgy.ru/catalog/setevaya_solnechnaya_elektrstantsiya_1_mvт.

6. Солнечная электростанция [Электронный ресурс]. [М.], 2018-2020. URL:https://electric-220.ru/news/solnechnaja_ehlektrostancija_sehs.

УДК 620.92

ОБЗОР АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Таепов Эрик Фанильевич
Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань
taepov99@mail.ru

Аннотация: статья посвящена обзору альтернативных способов очистки солнечных панелей. Рассматриваются два основных метода: роботизированные системы очистки и самоочищающиеся покрытия. Роботизированные системы обеспечивают эффективное удаление загрязнений и автоматизацию процесса очистки. Самоочищающиеся покрытия имеют гидрофобные и антиадгезионные свойства, снижая накопление пыли и улучшая долговечность панелей. Проанализированы преимущества и недостатки каждого из альтернативных методов, сделаны основные выводы. Она может быть полезна как исследователям, занимающимся солнечной энергетикой, так и широкой аудитории, интересующейся возможностями экологически чистой энергии.

Ключевые слова: солнечные панели, методы, роботы, роботизированные системы, самоочищающиеся покрытия, панели, очистка.

OVERVIEW OF ALTERNATIVE WAYS TO CLEAN SOLAR PANELS

Таепов Eik Familievich
Kazan State Power Engineering University, Kazan
taepov99@mail.ru

Abstract: the article is devoted to the review of alternative methods of cleaning solar panels. Two main methods are considered: robotic cleaning systems and self-cleaning coatings. Robotic systems ensure effective removal of contaminants and automation of the cleaning process. Self-cleaning coatings have hydrophobic and anti-adhesive properties, reducing dust accumulation and improving the durability of panels. The advantages and disadvantages of each of the alternative methods are analyzed, the main conclusions are made. It can be useful both for researchers involved in solar energy and for a wide audience interested in the possibilities of environmentally friendly energy.

Keywords: solar panels, methods, robots, robotic systems, self-cleaning coatings, panels, cleaning.

Солнечные панели – это высокоэффективные устройства, которые позволяют преобразовывать солнечный свет в электрическую энергию

с помощью фотоэлектрического эффекта. Солнечные панели являются одним из наиболее эффективных и экологически чистых способов генерации электроэнергии. На январь 2022 года, согласно информации, предоставленной Минэнерго России, в Единой энергосистеме РФ доля солнечных электростанций (СЭС) составила 1,962 ГВт, что составляет около 0,78 % от общей установленной мощности электростанций в размере 246,55 ГВт [1]. Процесс преобразования солнечного света в электрическую энергию в солнечной панели определяется множеством физических и электрохимических процессов, таких как генерация электрон-дырочных пар, диффузия носителей заряда, рекомбинация электронов и дырок, а также движение носителей заряда внутри полупроводникового материала. Однако, как и любое оборудование, солнечные батареи требуют регулярного обслуживания для поддержания работоспособности и максимальной производительности.

В зависимости от района, где установлены солнечные панели, они могут покрываться пылью, грязью и т.д. Стоит отметить, что даже тонкий слой грязи на поверхности солнечной панели может существенно ухудшить ее производительность. Традиционно, очистка солнечных панелей осуществляется при помощи воды или специальных щеток. Однако, существуют альтернативные методы, которые могут быть более эффективными в удалении устойчивых загрязнений, удобнее в использовании в отдаленных или труднодоступных местах и требовать меньше времени и ресурсов на обслуживание. В данной статье будет рассмотрено два основных альтернативных способа очистки солнечных панелей.

Роботизированные системы очистки солнечных панелей представляют собой инновационный подход, который обеспечивает автоматизированную и эффективную очистку поверхности панелей [2]. Принципы работы роботизированных систем очистки основаны на использовании специально разработанных роботов, оснащенных специализированными щетками и программным обеспечением. Роботы способны перемещаться по поверхности солнечных панелей и производить эффективную очистку, освобождая панели от пыли, грязи и других загрязнений. Роботизированные системы состоят из нескольких главных компонентов, таких как: специально разработанные механизмы (роботы), оборудованные датчиками для эффективной очистки поверхности солнечных панелей, щетки, которые могут быть оснащены механизмами вибрации или вращения для более интенсивной очистки, программное обеспечение – для управления и навигации роботов, построения маршрутов, контроля интенсивности движений и т.д. Приведенный метод

производит полную отчистку, производит автоматизацию выполнения отчистки в заданные дату и время, что упрощает процесс обслуживания и сокращает затраты на ресурсы и время. Кроме того, специализированные щетки и программное управление роботами помогают минимизировать риск повреждений поверхности панелей при очистке.

Однако, роботизированные системы очистки также имеют некоторые недостатки, включая высокие затраты на приобретение и установку роботов, а также сложности адаптации к различным типам солнечных панелей.

Еще одним из альтернативных методов отчистки солнечных панелей являются самоочищающиеся покрытия [3]. Представляют собой инновационный подход, который позволяет автоматически удалять загрязнения и облегчает обслуживание и поддержание максимальной производительности панелей. Одно из ключевых свойств самоочищающихся покрытий – гидрофобность. Это покрытиями отталкивать воду и другие жидкости, что способствует смыванию загрязнений при дожде или осадках. Гидрофобные материалы создают гладкую поверхность, на которой вода не задерживается и не образует капель, предотвращая образование пятен и осадков на поверхности панелей. Современные материалы, применяемые в самоочищающихся покрытиях, такие как фторополимеры, наноструктурированные поверхности и титановые диоксидные покрытия, обладают высокой гидрофобностью и антиадгезионностью, что обеспечивает эффективное самоочищение поверхности панелей [4].

Несмотря на преимущества самоочищающихся покрытий для солнечных панелей, они также имеют некоторые недостатки. Во-первых, эффективность самоочищения может зависеть от условий окружающей среды, таких как климатические условия и уровень загрязнения. Во-вторых, выбор и применение самоочищающихся покрытий могут быть связаны с высокими затратами, особенно при установке и обновлении покрытий на больших площадях солнечных панелей. Также возможны проблемы с долговечностью и стойкостью покрытий, которые могут потребовать регулярного обслуживания и периодической замены.

Таким образом, обзор роботизированных систем очистки и самоочищающихся покрытий солнечных панелей подчеркивает их значимость и потенциал в сфере солнечной энергетики [5]. Оба метода представляют собой перспективные способы обеспечения максимальной производительности солнечных панелей и снижения негативного влияния загрязнений. Выбор между ними должен основываться на учете конкретных условий, требований проекта и финансовых возможностей. Изучение роботизированных систем очистки и самоочищающихся

покрытий позволяет понять и выбрать оптимальный подход к поддержанию максимальной производительности солнечных панелей. Дальнейшие исследования и разработки в области обоих методов необходимы для усовершенствования их эффективности, снижения затрат и оптимизации их применения в солнечной энергетике.

Список литературы

1. Жильцов С. А. «ПОВЫШЕНИЕ КПД СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ» Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» № 4/2021
2. Исмагилов Флюр Рашитович, Вавилов Вячеслав Евгеньевич, Нургалиева Рушана Азатовна Система очистки солнечных панелей // Вестник УГАТУ = Vestnik UGATU. 2017. №3 (77).
3. Санаров, С. В. Способы очистки солнечной батареи / С. В. Санаров, Р. И. Лебедев // Введение в энергетику : сборник материалов II Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-практической конференции, Кемерово, 23–25 ноября 2016 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2016. – С. 148.
4. Цветков Александр Сергеевич, Сивеев Тихон Максимович, Груздов Андрей Геннадьевич, Пашковская Екатерина Евгеньевна. Возможные перспективы развития существующей энергосистемы в российской федерации на основе современных технологий // Столыпинский вестник. 2022. №9.
5. Haney J, Burnstein A (2013) Solar America Board for Codes and Standards Report, 2013. www.solarabcs.org. Accessed Jan 2014.

УДК 620.92

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ВЫРАБОТКУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОБЪЕКТАМИ МИКРОГЕНЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ

¹ Терентьев Павел Валерьевич, ² Шильников Сергей Владимирович,

³ Чертилов Денис Анатольевич

^{1,2,3} Нижегородский Государственный Агротехнологический Университет,
г. Нижний Новгород

¹terentyevpv@inbox.ru, ²shilnikov.serzhik2006@gmail.com, ³denismvn@gmail.com

Аннотация: в данной статье проводится исследование влияния погодных условий на выработку электроэнергии объектами микрогенерации на основе

фотоэлектрических солнечных модулей (далее ФСМ). Были оценены показатели выработки электроэнергии в ясную и пасмурную погоду. Для исследования использовались данные о погодных условиях и выработке электроэнергии, полученные с объектов микрогенерации на основе ФСМ в течение года. Результаты показали, что выработка электроэнергии существенно зависит от погодных условий, а именно, в ясную погоду выработка электроэнергии значительно выше, чем в пасмурную. Исследование позволило определить оптимальные условия для выработки электроэнергии с помощью объектов микрогенерации на основе ФСМ и может быть полезно для разработки более эффективных систем генерации электроэнергии на основе возобновляемых источников.

Ключевые слова: зеленая энергетика, микрогенерация, солнечная энергия, возобновляемые источники энергии, частная электростанция, электроэнергетика, фотоэлектрические солнечные модули, погодные условия, энергоэффективность, экологические технологии.

THE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE GENERATION OF ELECTRICITY BY MICROGENERATION FACILITIES BASED ON PHOTOVOLTAIC SOLAR MODULES

¹ Terentyev Pavel Valeryevich, ²Shilnikov Sergey Vladimirovich,

³Chertilov Denis Anatolyevich

^{1,2,3} Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod

¹terentyevpv@inbox.ru, ²shilnikov.serzhik2006@gmail.com, ³denismvn@gmail.com

Abstract: this article studies the influence of weather conditions on the generation of electricity by microgeneration facilities based on photovoltaic solar modules (hereinafter referred to as PSM). The indicators of electricity generation in clear and cloudy weather were evaluated. For the study, data on weather conditions and electricity generation obtained from microgeneration facilities based on PSM during the year were used. The results showed that electricity generation significantly depends on weather conditions, namely, in clear weather, electricity generation is significantly higher than in cloudy weather. The study made it possible to determine the optimal conditions for generating electricity using microgeneration facilities based on PSM and may be useful for developing more efficient systems for generating electricity based on renewable sources.

Keywords: green energy, microgeneration, solar energy, renewable energy sources, private power plant, electric power, photovoltaic solar modules, weather conditions, energy efficiency, environmental technologies.

В настоящее время использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечная энергия, является одним из основных способов снижения воздействия на окружающую среду и экономии нефтяных ресурсов. Солнечные панели являются одним из наиболее популярных источников возобновляемой энергии и могут устанавливаться на крышах зданий и домов. Это позволяет получать электроэнергию в личных и коммерческих целях [1, 3, 4].

Цель данного исследования - оценить влияние погодных условий на эффективность выработки электроэнергии объектами микрогенерации на

основе ФСМ в ясную и пасмурную погоду. В работе представлены результаты экспериментальных исследований, показывающие влияние различных погодных условий на выработку электроэнергии ФСМ.

По статистическим данным, средние показатели соотношения ясных, облачных и пасмурных дней в Нижегородской области: солнечные – 88 дней, облачные 77 дней, пасмурные — 197 дней (рис. 1) [5].

Из приведенных статистических данных видно, что погодные условия в Нижегородской области характеризуются высоким количеством облачных и пасмурных дней. Это может оказать существенное влияние на выработку электроэнергии фотоэлектрическими солнечными модулями [2, 5].



Рис. 1. График соотношения количества дней в году с разными погодными условиями для Нижегородской области

Для оценки влияния погодных условий на выработку электроэнергии объектами микрогенерации были использованы два типа ФСМ: монокристаллические Delta SW100-12M и поликристаллические Delta SW100-12P (рис. 2), закрепленные на экспериментальной установке.



Рис. 2. Экспериментальная установка, Delta SW-100P, Delta SW-100M

Замеры тока и напряжения проводились при выбранном угле наклона панелей 45 градусов (рис. 3) относительно поверхности земли и практически одинаковой температуре наружного воздуха.



Рис. 3. Схема расположения ФСМ относительно поверхности земли

В ходе эксперимента значения тока короткого замыкания и напряжения холостого хода на ФСМ были измерены с помощью мультиметра UNI-T UT39B. Полученные данные были занесены в таблицу 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные выработки электрической энергии при изменяющихся погодных условиях

Наименование панели	Погодные условия	Температура наружного воздуха, °С	Ток короткого замыкания, А	Напряжение холостого хода, В
Delta SW 100-12P	ясно	23,3	6,45	21,4
	облачно	23,2	1,59	21,0
	облачно, дождь	23,0	1,15	20,8
Delta SW 100-12M	ясно	23,3	6,01	21,3
	облачно	23,2	1,49	21,0
	облачно, дождь	23,0	1,06	21,0

Как видно из полученных результатов, наибольшая выработка электроэнергии была зарегистрирована при ясной погоде для обоих типов ФСМ. При этом мощность генерации электроэнергии для монокристаллических ФСМ снизилась на 75,6 % при пасмурной погоде по сравнению с ясной, а для поликристаллических ФСМ - на 75,8 %.

В то же время, при дождливой погоде, мощность генерации электроэнергии снизилась ещё значительно для обоих типов ФСМ. Так,

средняя мощность генерации электроэнергии для монокристаллических ФСМ уменьшилась на 82,6%, а для поликристаллических ФСМ - на 82,7 %.

По полученным данным был построен график пиковой мощности ФСМ в различных погодных условиях, представленный на рисунке 4.

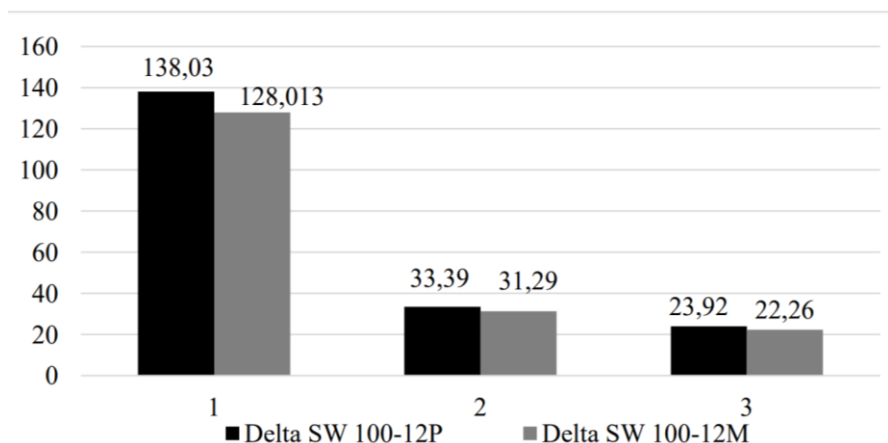


Рис. 4 График пиковой мощности ФСМ в различных погодных условиях: 1- ясно, 2 – пасмурно, 3 – пасмурно, дождь

Из проведенных исследований можно сделать вывод о том, что погодные условия оказывают значительное влияние на выработку электроэнергии солнечными панелями на основе монокристаллических и поликристаллических фотоэлектрических модулей. Показатели выработки электроэнергии при ясной погоде оказались выше, чем при облачной и пасмурной. Кроме того, у монокристаллических фотоэлектрических модулей наблюдалось меньшее снижение выработки при ухудшении погодных условий по сравнению с поликристаллическими. Полученные результаты могут быть использованы при выборе типа фотоэлектрических солнечных модулей и расчете их эффективности в зависимости от погодных условий.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на анализ более широкого спектра погодных условий и их влияние на выработку электроэнергии солнечными панелями, а также на разработку более эффективных способов увеличения выработки энергии при неблагоприятных погодных условиях.

Список литературы

1. Городов Р.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Р.В. Городов, В.Е. Губин, А.С. Матвеев. – 1-е

изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 294 с.

2. Инсоляция: - URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Инсоляция> (дата обращения: 19. 02. 2023 г.). - Текст: электронный.

3. Козелков О.В. Некоторые аспекты применения возобновляемых источников энергии в современной российской энергетической отрасли / О.В. Козелков, С. С. Усачев // Вестник КГЭУ – 2016. - № 1 (29) – С. 97-104.

4. Харисова А.З. Повышение конкурентоспособности РФ: в новый век с новой энергией / А.З. Харисова // Вестник КГЭУ 2017. № 3. (35) С. 84-90.

5. Anyroad.ru : Статистика ясных, облачных и пасмурных дней в Нижегородской области [онлайн] - URL: [https://anyroad.ru/city/weather/sunnydays/нижнийновгород, нижегородская-область](https://anyroad.ru/city/weather/sunnydays/нижнийновгород,нижегородская-область). (дата обращения: 03.04.2023). - Текст: электронный.

УДК 504.42

ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ОКЕАНА

¹Тихонов Наиль Эмильевич, ²Денисова Алина Ренатовна
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹neilkazan@mail.ru

Аннотация: в работе рассмотрены основные актуальные методы получения электроэнергии с помощью энергии океана.

Ключевые слова: океан, энергетика, возобновляемые источники энергии.

GENERATING ELECTRICITY THROUGH THE USE OF OCEAN ENERGY

¹Tihonov Nail Emilevich, ²Denisova Alina Renatovna
^{1,2}FSBEI HE «KSPEU», Kazan
¹neilkazan@mail.ru

Abstract: the paper considers the main current methods of generating electricity using ocean energy.

Keywords: ocean, energy, renewable energy sources.

Цель статьи показать эффективные способы получения электроэнергии с помощью энергии волны мирового океана и морей.

Принцип получения энергии с помощью альтернативных источников заключается в её заимствовании из среды, которая нас окружает, для дальнейшего технического применения. Генерация электроэнергии

с помощью водяной стихии крайне актуальна, так как источник получения энергии является неисчерпаемым, экологически безопасным [1].

Мировой океан занимает около семидесяти процентов поверхности всей планеты, что составляет примерно 360 млн. км². Основная часть поверхности круглогодично свободна от оков льда [2].

Наиболее мощным из существующих на данный момент источником альтернативной энергии является движение волн. Многие годы волны, отливы, приливы, а также течения волнуют умы учёных энергетиков, мотивируя их к поиску методов наиболее эффективного применения этих неисчерпаемых источников природного ресурса [4].

Реализация эффективного функционирования электростанции обусловлено силой волн на поверхности морей и океанов. Эксперты утверждают, что сила волны морей и океанов способны закрыть около одной пятой всех потребностей человечества в электроэнергии. Необходимо подметить, что на данный момент, активно идут работы по развитию приливной энергетики [3].

Энергия волн предстаёт перед учёными многообещающим направлением для генерации альтернативной энергии. Моря, океаны энергией волны, могут сгенерировать порядка 1,8 – 2 триллион ватт чистой энергии. Это в 2 раза больше всего необходимого объёма энергии на планете на данный момент. Актуальность применения силы волн заключается первоначально уникальной мощностью, которая значительно превосходит показатели альтернативной ветровой или солнечной энергетики. Например, при высоте волны в десять метров, её мощность (удельная) составит около 2 МВт.

Выработка энергии с помощью волн осуществляется особыми электрическими станциями, их располагают чаще всего в акваториях. Помимо получения энергии используют дополнительное оборудование для выработки тепла, питьевой воды O₂, H₂. А также получают множество элементов из солёной воды благодаря химическому электролизу [5].

Волны воздействуют на поплавки, что позволяет станции функционировать круглосуточно, в роли основных элементов, чаще всего, применяют поплавки, лопастные турбины, волноотбойники, волноприёмники. Энергия волны вращает лопасти турбины генератора при помощи цепных, а также зубчатых передач. По итогу получаемая механическая энергия преобразуется в электрическую, а после передаётся с помощью кабелей источнику потребления [6].

Работа волновой станции заключается в поплавковой качке на волнах, с последующей закачкой воды в резервуар. Он располагается на

определенной высоте над поверхностью воды. С помощью труб вода поступает обратно в водоём и по мере продвижения назад, она вращает турбину. Расположенные между буйками поршень закачивает воду – одна его часть зафиксирована под водой, другая плавает на поверхности воды [7].

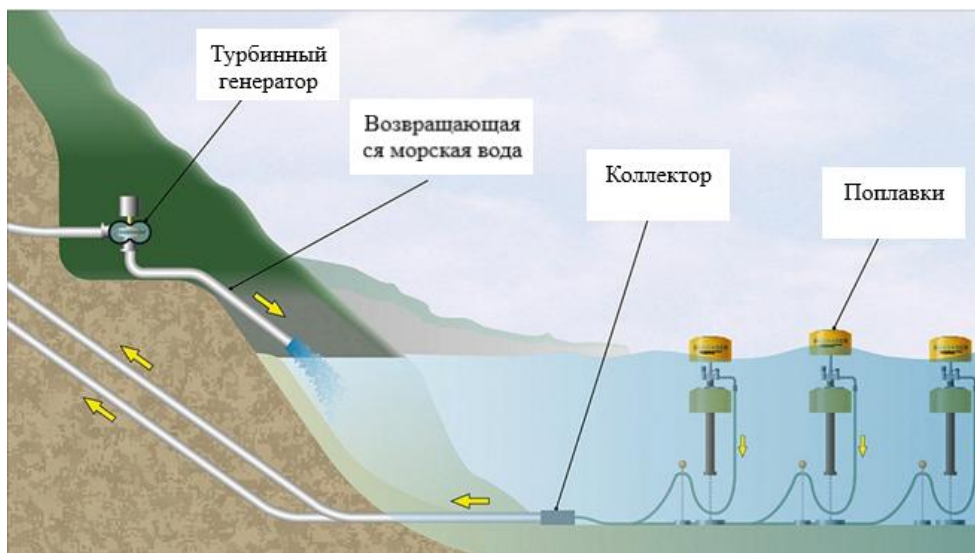


Рис. 1. Пример работы электростанции

В заключении хотелось бы заметить огромный потенциал получения энергии с помощью волн морей и океанов, не стоит останавливаться на достигнутом, а продолжать развивать столь перспективную область энергетики.

Список литературы

1. Городов, Р.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Р.В. Городов, В.Е. Губин, А.С. Матвеев. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 294 с
2. Коробков, В.А. Преобразование энергии океана / В.А. Коробков. - Л.: Судостроение, 1986. - 280 с.
3. Твайделл, Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. / Дж. Твайделл, А. Уэйр - М. Энергоатомиздат, 1990. - 392 с.
4. Абук Магомедов. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Махачкала: Издательско-полиграфическое объединение "Юпитер", 1996. - 245с.
5. Сичкарев В.И. Волновые энергетические станции в океане / В.И. Сичкарев, В.А. Акуличев. - М.: Наука, 1989. - 132 с.

6. Бернштейн Л.Б. Приливные электростанции в современной энергетике/ Л.Б. Бернштейн и др.; Под ред.Л.Б. Бернштейна. - М.:, 1961. - 256 с.

7. Усачев И.Н. Приливные электростанции. - М.: Энергия, 2002. - 288 с.

УДК 621.311.243:697.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Умурзаков Азамат Кенесович

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
e-mail: azamatumurzakov552@gmail.com

Аннотация: в данной работе рассмотрены конструктивные особенности вакуумных и плоских солнечных коллекторов. Разобран принцип работы солнечного коллектора, проанализированы положительные и отрицательные стороны различных способов его технического исполнения. Дана оценка эффективности использования данного оборудования.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, энергоэффективность, солнечный коллектор.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOLAR COLLECTORS

Umurzakov Azamat Kenesovich

FSBEI HE «Kazan State Power Engineering University»
azamatumurzakov552@gmail.com

Annotation: in this paper, the design features of vacuum and flat solar collectors are considered. The principle of operation of the solar collector is disassembled, the positive and negative aspects of various ways of its technical execution are analyzed. An assessment of the effectiveness of the use of this equipment is given.

Keywords: renewable energy sources, energy efficiency, solar collector.

Развитие возобновляемой энергетики является перспективным направлением развития энергетической отрасли. Существующие на сегодняшний день экологические проблемы все чаще заставляют задумываться о развитии и использовании менее вредных источников энергии. Одним из перспективных направлений альтернативной энергетики является солнечная энергетика, предоставляющая возможность генерации как электрической энергии за счет использования фотоэлектрических модулей, так и тепловой энергии за счет использования коллектора солнечной энергии [1, 2].

Солнечный коллектор представляет собой устройство, преобразующее энергию солнечного излучения в тепловую. Данное устройство имеет несколько видов, наибольшее распространение на практике получили плоские и вакуумные коллекторы.

Плоский солнечный коллектор является наиболее простым по конструкции солнечным коллектором. Данное устройство состоит из следующих элементов: улавливателя и накопителя солнечной энергии абсорбера, представляющего собой металлическую пластину, имеющую специальное покрытие, обеспечивающее наиболее эффективное поглощение солнечной энергии (выкрашивается в черный цвет или покрывается специальным селективным слоем), корпуса, термоизолирующего слоя, системы циркулирования теплоносителя, представленной медными или алюминиевыми трубками (Рис. 1).

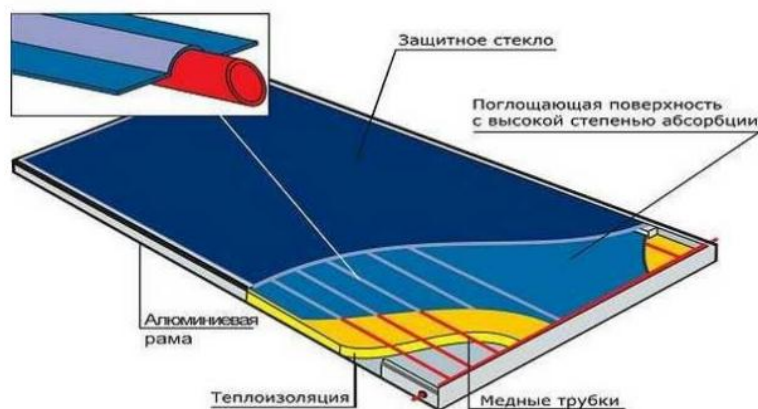


Рис. 1. Конструкция плоского солнечного коллектора

Вакуумный солнечный коллектор представляет собой систему трубок, в которой каждая медная трубка (абсорбер) заключена в стеклянную трубку, между трубками находится теплоизоляция, представленная вакуумом. Главным преимуществом данного вида солнечного коллектора является минимально возможное значение тепловых потерь в виду высокой эффективности изоляции. Теплоносителем выступают пары низкокипящей жидкости (рис. 2).

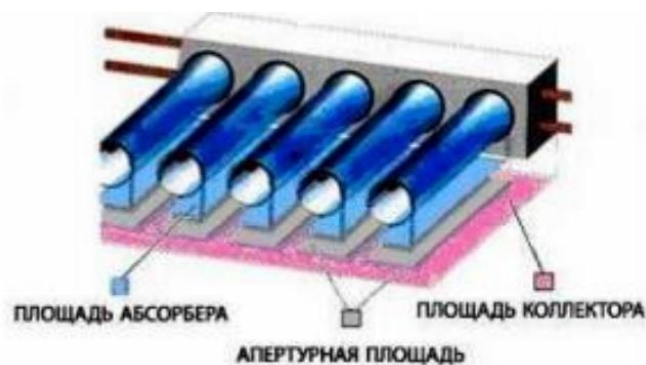


Рис. 2. Конструкция вакуумного солнечного коллектора.

Плоские коллекторы имеют сравнительно низкую стоимость, просты в установке, имеют высокий коэффициент полезного действия при перпендикулярном расположении к падающим солнечным лучам. Данный тип коллекторов необходимо использовать в теплое время года, и в южных частях нашей страны, так как при понижении температуры окружающей среды и уменьшении интенсивности солнечного излучения у данных коллекторов значительно уменьшается КПД [2, 3, 4, 5].

Вакуумные солнечные коллекторы имеют более стабильную производительность тепла, так как менее зависимы от условий окружающей среды, данный преобразователь энергии эффективно работает и в условиях малого количества солнечного лучей, так как для его эффективной работы достаточно рассеянного света. Использование вакуумной изоляции позволяет устанавливать данные коллекторы в любой точке нашей страны, в то числе на северных территориях, где данный вид солнечного коллектора не имеет альтернатив.

Как показывают ранее проведенные исследования стоимость солнечных коллекторов у зарубежных стран выше, чем у отечественных, но срок службы больше в среднем на пять лет, при этом КПД установок отличаются не значительно [3].

Подводя итоги, можем утверждать, что выбор солнечного коллектора напрямую зависит от территории, на которой он будет эксплуатироваться и графика его работы. В южных районах или любых других районах, при необходимости работы солнечного коллектора только в летний период, эффективнее будет использование плоских коллекторов, данное решение будет более простым в осуществлении и экономически более выгодным. Вакуумные коллекторы могут использоваться на северных территориях, при условии соответствия предоставленных производителем технических характеристик фактическим характеристикам установки в данных суровых условиях. Использование вакуумных коллекторов в южных районах может быть не выгодным ввиду их высокой стоимости.

Список литературы

1. Лялюев, М. В. Сравнительный анализ плоских и вакуумных коллекторов солнечной энергии / М. В. Лялюев // Инженерные и социальные системы : Сборник научных трудов института архитектуры, строительства и транспорта ИВГПУ. Том Выпуск 4. – Иваново : Ивановский государственный политехнический университет, 2019. – С. 97-101. – EDN UTDNWX.

2. Якунинский, В. Е. Сравнительный анализ солнечных коллекторов, используемых в целях теплоснабжения и горячего водоснабжения / В. Е. Якунинский, С. В. Угорова // Инновации. Наука. Образование. – 2022. – № 50. – С. 1632-1637. – EDN HUGVLW.

3. Возжанникова, Ю. А. Сравнительный анализ плоских и вакуумных солнечных коллекторов по их техническим и конструктивным особенностям / Ю. А. Возжанникова, А. С. Ижевский // Актуальные проблемы энергетики АПК : Материалы IX международной научно-практической конференции, Саратов, 15–16 апреля 2018 года / Под общ. ред. Трушкина В.А.. – Саратов: ООО "Центр социальных агроинноваций СГАУ", 2018. – С. 25-26. – EDN VSWXYZ.

4. Моделирование систем электроснабжения для улучшения качества электроэнергии отдельной территории / М. Ф. Агзамов, М. Н. Симонова, Э. Ф. Хакимзянов [и др.] // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 77-82. – EDN ZVKPFH.

5. Агзамов, М. Ф. Моделирование системы электроснабжения для анализа условий перспективного развития отдельной территории / М. Ф. Агзамов, Э. Ф. Хакимзянов, Р. Р. Гибадуллин // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 167-169.

УДК 620.98:72.012.1:631.145

ПОСТОРЕНИЕ МИКРОСЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Умурзаков Азамат Кенесович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
e-mail: azamatumurzakov552@gmail.com¹

Аннотация: в данной работе рассматриваются особенности построения микросетей с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Анализируются различные аспекты данного решения, приводятся условия к работе микросетей, а также обозначены условия, необходимые для эффективной эксплуатации ВИЭ. Сделаны выводы о целесообразности данного решения, также определены условия применения данных микросетей.

Ключевые слова: электроснабжение, микросеть, возобновляемые источники энергии, удаленные изолированные территории, сельская местность.

BUILDING MICROGRIDGING WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

Umurzakov Azamat Kenesovich
FSBEI HE «Kazan State Power Engineering University», Kazan
azamatumurzakov552@gmail.com^{1,2}

Abstract: this paper discusses the features of building microgrids using renewable energy sources (RES). Various aspects of this solution are analyzed, the conditions for the operation of microgrids are given, and the conditions necessary for the efficient operation of renewable energy sources are indicated. Conclusions are drawn about the feasibility of this solution, and the conditions for the use of these microgrids are also determined.

Keywords: power supply, microgrid, renewable energy sources, remote isolated areas, rural areas.

Сегодня особенно актуально развитие и модернизация микросетей сельского электроснабжения. В «Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации до 2030 года» одними из обязательных к достижению целей установлены следующие:

- повышение надежности электроснабжения потребителей электрической энергии первой категории путем использования независимых источников генерации, обеспечением минимум двумя источниками питания;
- интеграция в сети комбинированных установок производства тепла и электроэнергии, использование возобновляемых источников энергии [1].

Как показывает практика, в изолированных сельских местностях широкое распространение получили дизельные электрические станции (ДЭС), тепло вырабатывается посредством использования котельных, работающих на дизеле, угле или мазуте. Однако эксплуатация данного оборудования сопряжена рядом трудностей и проблем, а именно:

- нерациональное использование горючего топлива;
- низкая эффективность;
- быстрый износ частей оборудования;
- высокая стоимость топлива;
- проблемы с логистикой, в результате которых снижается надежность электроснабжения.

Таким образом, можно определить одну из главных задач, решение которой будет определять эффективность микросети, а именно достижение оптимального соотношения показателей стоимости энергии и показателей бесперебойности и качества поставляемой энергии [2].

При построении микросети с использованием возобновляемых источников энергии первоочередной и важной задачей является выбор наиболее эффективного состава генерирующего блока, который позволит покрывать максимально возможную часть нагрузок, при этом используя

минимальное количество дополнительного оборудования, необходимого для аккумуляирования и резервирования, с минимальным количеством средств затрачиваемых на капитальные и эксплуатационные расходы. Различные виды возобновляемых источников энергии имеют разные графики производства электроэнергии в зависимости от внешних условий, вследствие чего предлагается использования одновременно нескольких видов альтернативных источников энергии, данное решение позволит стабилизировать график выработки электроэнергии, минимизировав проседание генерации электроэнергии. На данный момент доказана эффективность совместного использования ветроэнергетических установок и фотоэлектрических модулей, также на практике применяются гибридные станции на основе дизельной и ветровой или солнечной генерации, данное решение позволяет повысить эффективность использования топлива, продлить срок службы элементам дизельной установки, повысить надежность электроснабжения, данные проекты уже доказали свою целесообразность [3,4].

Не менее важной задачей является расчет наиболее оптимального количества установленной мощности ВИЭ, на данный параметр можно повлиять посредством использования автоматизированных систем управления нагрузками микросети, использование балластных сопротивлений, накопителей энергии. Однако стоит отметить, что использование накопителей электрической энергии существенно повысит стоимость данной системы и электроэнергии. Для уменьшения затрат на накопители энергии применяются следующие решения:

- оптимизация технологических режимов работы электропотребителей, например, набор воды в резервуары для полива полей в период минимального потребления энергии;

- организация выдачи избыточной электрической энергии в единую энергетическую систему, т.е. подключение микросетей к объектам распределенной генерации, данное решение позволит существенно уменьшить емкость накопителей электрической энергии микросети.

Экономичность и бесперебойность работы микросети зависит от скорости и точности работы автономного оперативно-технического управления. В его задачи входит управление изменениями режима работы микросети, изменение схемы сети, конфигурации оперативного состояния ее основных элементов в зависимости от различных условий:

- оперативных возмущений;
- диспетчерского центра распределенной электрической сети;
- параметров режима электрической сети;

- тарифов на электроэнергию;
- режима работы потребителей электрической энергии;
- параметров теплового режима микросети.

Решение данных задач можно увидеть в использовании мульти-контактных коммутационных систем, которые представляют собой коммутационные аппараты, имеющие минимум две контактные группы, каждая группа имеет независимое управление [3,4,5].

Подводя итоги, можем утверждать, что включение возобновляемых источников энергии в микросети сельских систем электроснабжения, будет способствовать повышению уровня надежности электроснабжения, а также снижению тарифов на электроснабжение, будет активно способствовать развитию инфраструктуры в сельской местности, а также розничным рынкам электроэнергии.

Список литературы

1. Стратегия устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года (утверждено распоряжением правительства РФ № 151-р от 02.02.2015 г.). URL: <http://government.ru/docs/16757/> (дата обращения 18.05.2023).

2. Сейфуллин, А. Ю. Задачи и стратегия управления конфигурацией сельской микросети, содержащей возобновляемые источники энергии / А. Ю. Сейфуллин, А. В. Виноградов, А. В. Виноградова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16, № 3(63). – С. 90-97. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-90-97. – EDN ANMPSE.

3. Виноградов, А. В. Актуальные вопросы развития электроснабжения АПК / А. В. Виноградов // Агротехника и энергообеспечение. – 2022. – № 1(34). – С. 5-15. – EDN ODWFGD.

4. Моделирование систем электроснабжения для улучшения качества электроэнергии отдельной территории / М. Ф. Агзамов, М. Н. Симонова, Э. Ф. Хакимзянов [и др.] // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 77-82. – EDN ZVKPFH.

5. Агзамов, М. Ф. Моделирование системы электроснабжения для анализа условий перспективного развития отдельной территории / М. Ф. Агзамов, Э. Ф. Хакимзянов, Р. Р. Гибадуллин // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : Сборник статей

по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 167-169. – EDN HLIDES.

УДК 628.931

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Урманчеева Алсина Айратовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
alsina17.11@mail.ru

Аннотация: в статье рассматривается энергоэффективность системы освещения городских территорий. Предложены технические мероприятия по повышению энергоэффективности систем наружного освещения. Статья может быть полезна для специалистов в области энергетики.

Ключевые слова: энергоэффективность освещения, система освещения, электроэнергия.

ENERGY-EFFICIENT LIGHTING SYSTEMS FOR URBAN AREAS

Urmancheeva Alsina Airatovna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
alsina17.11@mail.ru

Abstract: the article discusses the energy efficiency of the lighting system in urban areas. Technical measures are proposed to improve the energy efficiency of outdoor lighting systems. The article may be useful for specialists in the field of energy.

Keywords: lighting energy efficiency, lighting system, electricity.

Тема энергоэффективности в освещении городских территорий становится все более актуальной. Не только с экономической точки зрения, но и с позиции экологической безопасности. Существует множество энергоэффективных систем освещения, которые позволяют значительно снизить потребление энергии, повысить уровень безопасности и комфорта граждан, а также уменьшить вредное воздействие на окружающую среду. В данной статье мы рассмотрим несколько примеров таких систем и их преимущества.

Одним из самых распространённых способов уменьшения энергопотребления в городском освещении является использование светодиодных ламп. Светодиодные лампы являются более энергоэффективными, по сравнению с традиционными лампами накаливания и люминесцентными лампами. Они потребляют меньше электроэнергии

и имеют более высокий КПД, что означает, что большая часть потребляемой энергии превращается в свет, а не тепло. Это помогает снизить потребление электроэнергии и сэкономить средства. Еще одним преимуществом светодиодных ламп является возможность управления яркостью и цветовой температурой света. Это позволяет создавать различные эффекты освещения и адаптировать его под различные условия, например, увеличивать яркость в темное время суток или снижать ее в периоды низкой активности на улицах. Кроме того, светодиодные лампы не содержат опасных веществ, таких как ртуть, которые могут загрязнять окружающую среду при утилизации. Это делает их более экологически чистыми и безопасными для использования.

А в некоторых городах используются специальные LED-панели, которые позволяют создать визуальный эффект лунного света. Это эффективный способ сохранить комфорт и безопасность на улицах ночью при минимальном потреблении электроэнергии.

Одним из примеров использования светодиодных ламп в городском освещении является «умная» система управления освещением, которая позволяет контролировать яркость освещения, управлять его включением и выключением в определенное время, а также автоматически реагировать на изменения внешних условий, таких как наличие дождя или снега.

Другим энергоэффективным способом управления освещением в городе является система управления по датчикам движения и освещенности. Использование датчиков в городском освещении может помочь значительно снизить затраты на энергию, так как освещение будет использоваться только тогда, когда это действительно необходимо, а не весь день. Датчики движения могут быть установлены на фонарных столбах, чтобы освещение было включено только тогда, когда кто-то проходит мимо и нуждается в свете. Это может помочь сократить потребление энергии на освещение дорог и улиц в городе. Такой подход к освещению города позволяет снизить потребление электроэнергии на 30-50 %.

Освещение города с помощью солнечных батарей является одним из наиболее эффективных и экологически чистых способов. Солнечные батареи преобразуют солнечную энергию в электрическую, которая затем используется для питания светильников. Это позволяет существенно снизить затраты на электроэнергию и уменьшить нагрузку на энергосистему города. Кроме того, солнечные батареи не требуют подключения к сети электропитания, что делает их идеальным решением для освещения удаленных и труднодоступных территорий. Они также не

выделяют вредных веществ в окружающую среду и не требуют дополнительных эксплуатационных расходов, достаточно надежны в эксплуатации. С помощью солнечных батарей в городском освещении может быть реализована более точная регулировка яркости, что также позволяет экономить энергию.

В итоге, использование энергоэффективных систем освещения в городской среде позволяет существенно сократить расходы на электричество, улучшить комфорт и безопасность жизни граждан, а также уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Использование светодиодных ламп, датчиков движения, солнечных батарей и управляемых систем освещения позволяет достичь максимальной эффективности и экономии энергии. Естественно, каждый город должен выбрать те решения, которые наиболее подходят для его условий и потребностей, но использование энергоэффективных систем освещения всегда является актуальной темой для размышлений и реализации.

Список литературы

1. Алексеев, Е.Г. Интеллектуальные системы на примере уличного освещения / Е.Г. Алексеев, С.А. Шиков, С.Н. Ивлиев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2017. – № 1 – С. 439–442.

2. Вагин, Г.Я. Анализ критериев выбора энергоэффективных и высококачественных источников света и светильников / Г.Я. Вагин, Е.Б. Солнцев, О.Ю. Малафеев // Светотехника. – 2017. – №5 – С. 34–38.

3. Валиуллин, К. Р. Качественная оценка энергоэффективности систем уличного освещения / К. Р. Валиуллин // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Международной научно- практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 11–15 декабря 2017 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2017. – С. 112 – 115.

4. Валиуллин, К.Р. Оптимизация параметров элементов сети уличного освещения / К.Р. Валиуллин, Н.Г. Семенова // Электротехнические системы и комплексы. – 2018. – №3(40). – С. 34 – 41.

5. Вязигин, В.Л. Экономические критерии выбора источников света для улицы / В.Л. Вязигин, А.В. Легостаев // Современный взгляд на будущее науки. – 2016. – С. 66 – 69.

СИСТЕМЫ «УМНЫХ ДОМОВ» И ИХ РОЛЬ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Урманчиева Алсина Айратовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
alsina17.11@mail.ru

Аннотация: в статье рассматривается актуальная проблема повышения эффективности потребления энергии в домашнем хозяйстве. Представлены результаты исследования системы умного дома, которая позволяет существенно снизить расходы на энергопотребление в условиях быстрого развития технологий и сокращения ресурсов. Статья может быть полезна для специалистов в области энергетики.

Ключевые слова: умный дом, эффективность энергопотребления, энергоэффективность умных домов.

SMART HOME SYSTEMS AND THEIR ROLE IN IMPROVING ENERGY EFFICIENCY

Urmancheeva Alsina Airatovna
FSBEI HE «KSPEU», Kazan
alsina17.11@mail.ru

Abstract: the article deals with the actual problem of increasing the efficiency of energy consumption in the household. The article presents the results of a study of a smart home system, which can significantly reduce energy consumption costs in the face of rapid technology development and resource reduction. The article may be useful for specialists in the field of energy.

Keywords: smart home, energy efficiency, smart home energy efficiency.

Каждый день мы используем множество устройств, например, свет, кондиционер, плита, стиральная машина и т.д., которые требуют энергии, и наш дом является крупным потребителем электроэнергии. Вместе с развитием новых технологий, стали появляться новые возможности для использования энергии более эффективно. Речь идет о системах умных домов, которые могут эффективно управлять потреблением электроэнергии, что приводит к снижению затрат на энергию.

Система умного дома - это набор современных технологий, которые можно использовать для автоматического управления домашней электросетью. Такие системы позволяют управлять электропотреблением, как в автоматическом режиме, так и в ручном. Пользователи могут управлять системой умного дома с помощью интерфейса, либо приложения на смартфоне, позволяющего контролировать все устройства, подключенные к системе.

Одним из главных преимуществ использования систем умных домов является возможность эффективного управления потреблением электроэнергии. Система умного дома может автоматически отключать некоторые устройства, которые не используются в данный момент, что помогает сократить затраты энергии.

Система умного дома также помогает в улучшении качества жизни. Она может контролировать влажность, температуру и даже состояние воздуха внутри дома. Так же помогает вовремя детектировать протечки газа, воды и так далее. Все это призвано обеспечить комфорт и безопасность для жильцов.

Системы умных домов также способствуют использованию возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия. Они могут автоматически переключать потребление на ветровые и солнечные батареи, использовать энергию солнечных ламп или термических бойлеров.

Системы умных домов важны также и с точки зрения экологии. Они помогают сократить потребление электроэнергии, что оказывает положительный вклад на экологию планеты.

Однако система умного дома имеет и ряд недостатков, о которых не стоит забывать:

1. **Стоимость:** Системы умных домов могут быть довольно дорогими, особенно если вы хотите установить систему по всему дому.

2. **Необходимость высоких технических знаний:** Установка и настройка системы умного дома может быть сложной и требует достаточных знаний в области электроники и информационных технологий.

3. **Несовместимость с существующими устройствами:** Некоторые системы умных домов могут быть не совместимы с существующими устройствами или требовать их замены.

4. **Неправильное функционирование:** Если система умного дома не настроена правильно или произошел сбой, это может привести к ошибкам в управлении вашим домом и создать проблемы.

5. **Проблемы с безопасностью:** Система умного дома может представлять угрозу для безопасности. Взломщики могут использовать эту систему для доступа к вашему дому, ваши личные данные могут быть украдены при нарушении безопасности сети.

Системы умных домов являются эффективным инструментом для повышения эффективности энергопотребления. Они позволяют автоматизировать управление энергопотреблением в доме, оптимизировать

расход энергии и снизить затраты на электроэнергию. Благодаря использованию систем умных домов можно значительно сократить негативное воздействие на окружающую среду и снизить расходы на коммунальные услуги. Однако не стоит забывать и о минусах. В целом, системы умных домов являются важным шагом в направлении устойчивого развития и экологической ответственности.

Список литературы

1. Аверин А. И. Интеллектуальное управление домом. «Умный дом» // European science. 2015. No 4. С. 5 – 7. (Averin A. I. Intelligent management of the house. Smart House // European science. 2015. No 4. P. 5 – 7.)

2. Водянова С. А., Пупенцова С. В., Пупенцова В. В. Механизмы развития и внедрения технологии «умный дом» // Инновации. 2018. No 7. С. 83 – 90 (Vodianova S. A., Pupentsova S. V., Pupentsova V. V. Innovative technologies in construction // Innovacii. 2018. No 7. P. 83 – 90.)

3. Li M., Gu W. Smart Home: Architecture, Technologies and Systems // Proceedings of the 8th International Congress of Information and Communication Technology, 2018. P. 393 – 400.

4. Система «Умный дом» – особенности и преимущества [Электронный ресурс]: комплексные инженерные решения Кэлектро: – URL: <https://freehomeabb.ru/info/umnyy-dom-osobennosti-i-preimushchestva/> (дата обращения: 24.05.2023).

5. Что такое умный дом? [Электронный ресурс]: intelvision.ru : – URL: <https://www.intelvision.ru/blog/what-is-smarthome> (дата обращения: 24.05.2023)

УДК 628.9

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ОСВЕЩЕНИЯ

¹Хабиров Тимур Айдарович, ²Мухаметова Азалия Ренатовна,

³Гусамов Данияр Ильнарлович

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, ³МБОУ «Лицей №10», г. Елабуга

¹timhab777@mail.ru, ²mailto:mukhametova.15@mail.ru, ³gusamovdaniar@gmail.com

Аннотация: в статье представлена модель автоматизированной гибридной системы освещения, которая объединяет в себе преимущества естественного и искусственного освещения, что позволяет существенно сократить расходы на электроэнергию и улучшить комфортность проживания или работы в помещении. Система автоматически регулирует яркость света в зависимости от уровня естественного освещения, что позволяет достичь оптимального баланса между

энергосбережением и комфортом. Полые трубчатые световоды обеспечивают равномерное распределение света в помещении, что позволяет избежать теней и создать приятную атмосферу. Автоматизированная гибридная система освещения на основе полых трубчатых световодах является эффективным решением для различных типов помещений - от жилых до офисных и промышленных.

Ключевые слова: автоматизированная гибридная система освещения, полые трубчатые световоды, освещенность, искусственный свет.

AUTOMATED HYBRID LIGHTING SYSTEM

¹Khabirov Timur Aidarovich, ²Mukhametova Azaliya Renatovna,

³Gusamov Daniyar Ilnarovich

^{1,2}FSBEI HE "KSPEU", Kazan, ³MBOU «Liceum №10», Elabuga

¹timhab777@mail.ru, ²mailto:mukhametova.15@mail.ru, ³gusamovdaniyar@gmail.com

Abstract: the article presents a model of an automated hybrid lighting system that combines the advantages of natural and artificial lighting, which can significantly reduce energy costs and improve the comfort of living or working indoors. The system automatically adjusts the brightness of the light depending on the level of natural light, which allows you to achieve the optimal balance between energy saving and comfort. Hollow tubular light guides provide an even distribution of light in the room, avoiding shadows and creating a pleasant atmosphere. An automated hybrid lighting system based on hollow tubular light guides is an effective solution for various types of premises - from residential to office and industrial.

Key words: natural mixed lighting system, hollow tubular light guides, exotic, artificial light.

Целью работы в данной работе стало изучение и исследование возможности улучшения световых условий и микроклимата в жилых домах с помощью инновационной автоматизированной гибридной системы освещения (АГСО) на основе полых трубчатых световодов. Так, был выбран объект исследования, которым стал жилой одноэтажный дом на 90 квадратных метров. Сейчас систему освещения на данном объекте формируют 20 линейных электрических светильника мощностью около 9 Вт каждый. Основными недостатками текущей системы освещения являются короткий срок службы, низкое качество искусственного света, что приводит к снижению производительности и уменьшению устойчивости к стрессу. Поэтому в этой статье представлена автоматизированная гибридная система освещения, которая формируется и искусственными светильниками и световодами. При этом данная система автоматически регулирует яркость света в зависимости от уровня естественного освещения, что позволяет достичь оптимального баланса между энергосбережением и комфортом (рис.1).

Световод - это устройство, которое передает свет из внешней среды внутрь помещения. В работе выбран световод компании *Velux* модели *Velux TWR*, характеристики которого подходят под параметры дома. Он

может освещать до 9 м² с учётом норм освещенности 300 люмен и пропускной способностью до 99 %.

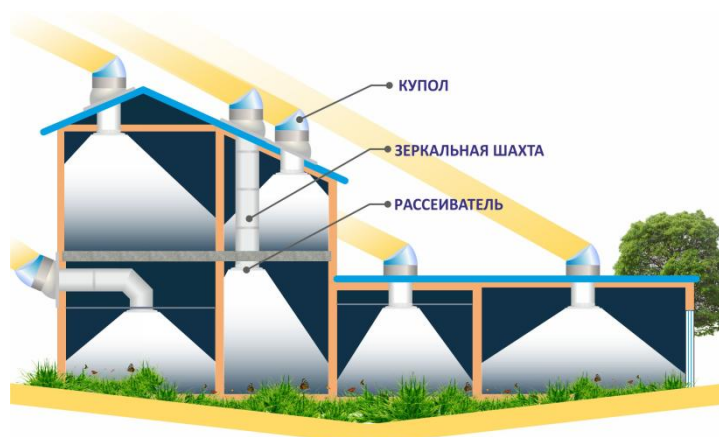


Рис. 2. Схема установки световодов

Чтобы обеспечить достаточное освещение в доме в течение дня, было решено использовать гибридную систему, состоящую из 12 светильников и 6 световодов. При расчете освещенности учитывались неблагоприятные погодные условия, которые могут снизить световой поток, доставляемый световодами. Однако, это компенсируется использованием электрических светильников.

Также в проекте подразумевается внедрение автоматизированной системы на основе гибридной системы освещения. Но перед выбором автоматизированной системы, рассмотрим виды системы автоматического управления (САУ), виды датчиков и алгоритмов.

САУ могут быть различных типов в зависимости от их назначения и применения. Из наиболее распространенных видов САУ можно выделить более подходящие под назначения проекта. Например, регулирующие системы, которые используются для поддержания заданного значения параметра (например, температуры, давления, скорости) в определенных условиях или управляющие системы, которые контролируют работу оборудования или процесса и позволяют изменять его параметры для достижения требуемых результатов. Также стоит упомянуть системы автоматического управления зданиями, которые контролируют работу систем отопления, вентиляции, кондиционирования и системы автоматического управления технологическими процессами, которые используются для управления производственными процессами и технологическим оборудованием.

Так, с помощью регулирующей и управляющей систем на основе фотодатчиков и датчиков движения можно собрать полноценную

автоматизированную гибридную системы освещения. Автоматическое управление осуществляется с помощью фотодатчика, который в зависимости от уровня освещённости выбирает, как включать искусственное освещение в зависимости от комнаты и попадающего в неё естественного света. Преимуществами автоматической гибридной системы освещения: большое количество естественного света, польза для физического и психологического состояния человека, отсутствие необходимости в постоянном обслуживании светильников, исключение затемнений в зимнее время и переизбытка света в помещениях летом.

Вдобавок к фотодатчикам планируется устанавливать и датчики движения, которые будут контролировать движения людей в помещениях и своевременно включать и выключать искусственное освещение, что ещё больше сократит затраты на электроэнергию и повысит качество и комфорт световой среды.

Следует отметить, что для того, чтобы всё работало исправно нужно создать алгоритм, подобрать датчики и собрать блок-схему (рис. 2).

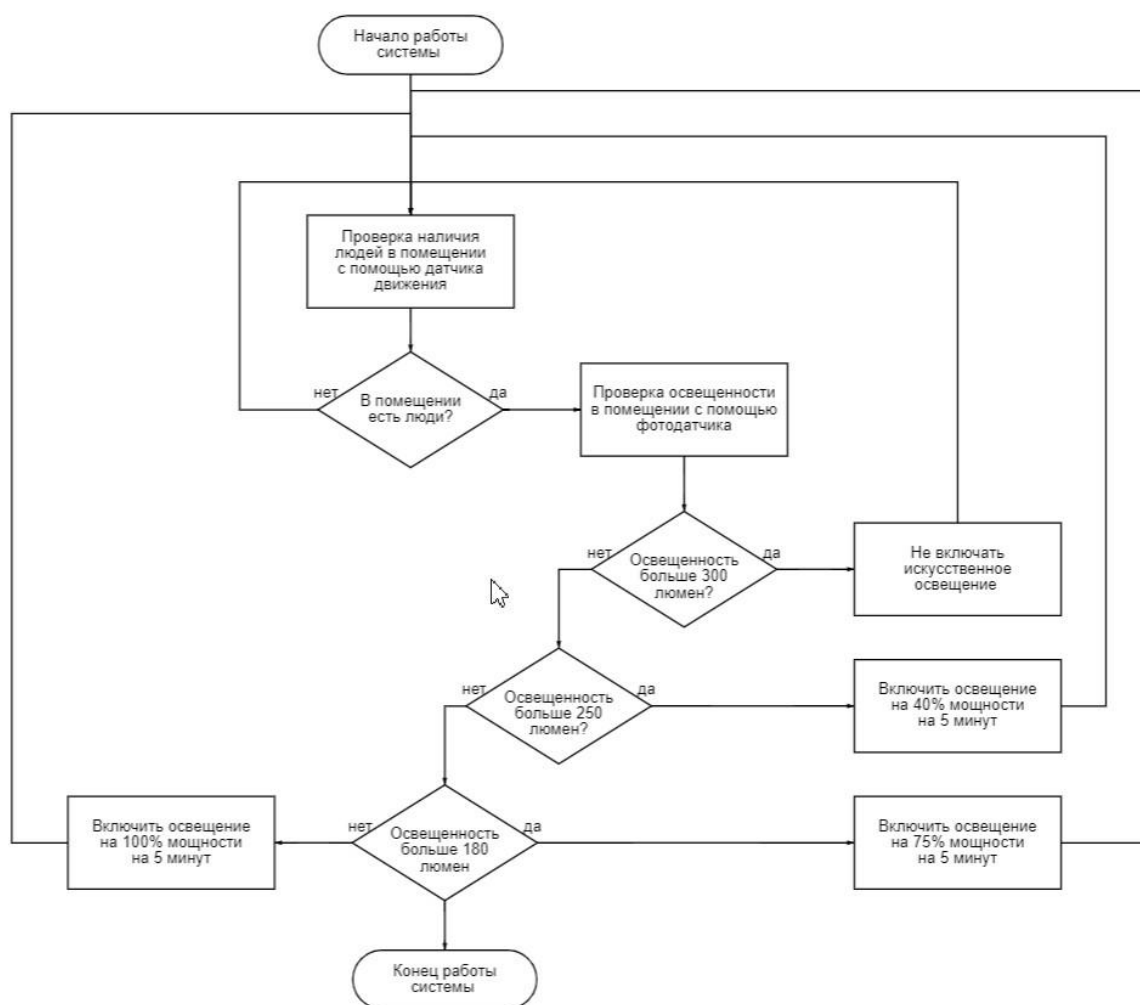


Рис. 2. Алгоритм АГСО

Рассмотрим принцип действия алгоритма.

1. Начало работы программы. При запуске программы происходит инициализация всех необходимых компонентов и установка начальных значений.

2. Программа инициализирует датчик движения для определения наличия движения в помещении.

3. Программа получает данные с фотодатчика для анализа текущей ситуации в помещении.

4. Если есть движение, то свет включается в зависимости от уровня освещенности.

5. Конец работы программы. При завершении работы программы происходит выключение всех компонентов и сохранение результатов работы.

Таким образом мы составили модель автоматизированной гибридной системы освещения на жилом объекте с использованием полых трубчатых световодов, рассчитали необходимое количество искусственного света, создали алгоритм системы освещения. Вследствие этого можно добиться значительно энергетической и экономической пользы.

Список литературы

1. Айзенберг, Ю.Б. Полые световоды, или свет по трубам / Ю.Б. Айзенберг // Иллюминатор. - С.[134-141];

2. Соловьёв А.К. Полые трубчатые световоды и их применение для естественного освещения зданий. // Промышленное и Гражданское Строительство. 2007. №2. – С.53-55;

3. Комплексное сравнение систем естественного освещения / И.Ю. Лошкарев, Е.В. Корепанов, А.И. Стерхов [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. 2019. № 45. С. 37-47;

4. Опыт применения полых трубчатых световодов для естественного освещения в России / А.Л. Кузнецов, Е. Ю. Оселедец, А. К. Соловьёв, М. В. Столяров // Светотехника. 2011. № 6. С. 4-11;

5. Иванова, В.Р. Инновационная система управления внутренним освещением с использованием нейросетевого алгоритма / В.Р. Иванова, М.Ф. Садыков, Р.Р. Шириев // Новые материалы и технологии в условиях Арктики: Материалы международного симпозиума, Якутск, 25-27 июня 2014 года / Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова. Якутск: Центр научного знания "Логос", 2014. С. 304-308;

6. Иванова, В. Р. Разработка системы интегрированного освещения / В. Р. Иванова, Т. А. Хабиров, Д. И. Гусамов // Геоэнергетика-2022 : Коллективная монография по материалам V-й Международной научно-практической конференции / Научные редакторы С.В. Алексеенко, М.Ш. Минцаев, И.А. Керимов. – Грозный : Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, 2022. – С. 77-82. – DOI 10.34708/GSTOU.2022.51.34.013.

УДК 620.93:681.527

КОНТРОЛЛЕР ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

¹Чжан Ханьян, ²Груздев Александр Станиславович, ³Лю Жуньда, ⁴Фан Юйхэн
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург
²gruzdev@cee.spbstu.ru

Аннотация: ветровая энергия, как чистый и возобновляемый источник энергии, становится все более важным в мировом развитии энергетики. Однако эффективность использования ветроэнергии и стабильность выходной мощности ветроэлектростанций всегда были сложными задачами для управления. С развитием технологий, ветрогенераторы с переменным углом атаки лопастей становятся основным направлением ветроэнергетики. Они могут контролировать эффективность использования ветроэнергии и выходную мощность путем изменения угла атаки лопастей. В данном исследовании разработан нечеткий контроллер для оптимизации регулирования угла атаки лопастей с целью повышения эффективности преобразования ветроэнергии и стабильности выходной мощности.

Ключевые слова: нечеткое управление, ветроэнергетика, синхронный генератор с постоянными магнитами, моделирование Simulink, ПИД регулирование

WIND ENERGY SYSTEM CONTROLLER BASED ON FUZZY LOGIC

¹Zhang Hanyang, ²Gruzdev Alexander Stanislavovich, ³Liu Runda, ⁴Fang Yuheng
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg
²gruzdev@cee.spbstu.ru

Abstract: wind energy, as a clean and renewable source of energy, is becoming increasingly important in global energy development. However, achieving efficient utilization of wind energy and maintaining stable output power in wind power plants has always been a challenging task for control systems. With the advancement of technology, variable pitch angle wind turbines have emerged as a primary direction in wind energy systems. They can control the efficiency of wind energy utilization and output power by adjusting the pitch angle of the turbine blades. In this study, a fuzzy controller is developed to optimize the regulation of the pitch angle, aiming to improve the efficiency of wind energy conversion and ensure stable output power [1].

Keywords: fuzzy control, wind energy, permanent magnet synchronous generator, Simulink modeling, PID regulation.

Ветроэнергетическая установка с переменным шагом лопастей позволяет свободно вращать лопасти на втулке. При скорости ветра ниже номинальной, но выше стартовой скорости, лопасти настраиваются на угол около 0° для максимального поглощения энергии ветра. При скорости ветра выше номинальной, энергия ветра может быть ограничена путем изменения угла наклона лопастей, чтобы поддерживать стабильность выходной мощности. При превышении предельной скорости ветра или в случае аварийной остановки ветроэнергетической установки лопасти поворачиваются в нейтральное положение, ограничивая поглощение энергии ветра и обеспечивая безопасность работы установки. Поскольку ветроэнергетические установки с переменным шагом лопастей обладают стабильной выходной мощностью и хорошей безопасностью, а также с развитием установок более крупного масштаба, они постепенно заменяют установки с фиксированным углом лопастей.

Традиционный контроллер использует ПИД контроль, который хорошо подходит для линейных систем управления, но ветрогенераторная установка является большой инерционной, сильно связанной нелинейной системой, поэтому использование ПИД-регулятора в качестве контроллера переменного шага имеет некоторые недостатки.

С развитием технологии интеллектуального управления, в управлении углом поворота лопастей ветрогенераторов применяются интеллектуальные методы управления, такие как нечеткий контроль, нейронные сети, адаптивный контроль, робастный контроль, скользящий режим контроля, которые показали хорошие результаты [2].

Преимущество нечеткого контроля заключается в том, что он не требует точной математической модели объекта управления и позволяет достичь хороших результатов в нелинейных и многомерных системах управления, а также обладает хорошей устойчивостью. Однако определение нечетких правил требует большого количества практического опыта, и из-за ограниченного количества нечетких правил существует определенная статическая ошибка при стабилизации системы.

Поэтому мы разработали нечеткий контроллер с ПИД-компенсацией, чтобы устранить статические ошибки традиционных нечетких контроллеров.

Модель ветрогенератора с постоянными магнитами состоит из моделей ветроколеса, генератора с постоянными магнитами, редуктор и механизмов управления углом атаки лопастей. Блок-схема предлагаемой модели показана на рис.1 [3-5].

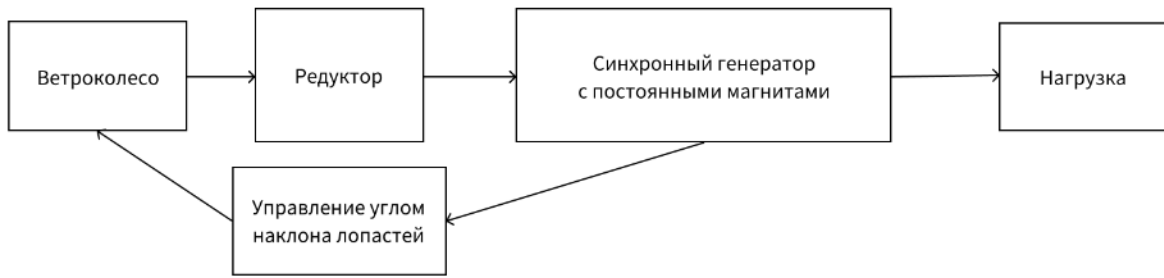


Рис. 1. Блок-схема ветроэнергетической установки на основе генератора с постоянными магнитами

Моделирование системы ветровой энергетики показано на рисунке 2. В нем содержатся пять режимов управления: режим без какого-либо контроллера, режим с ПИД-регулятором, режим с нечетким контроллером на основе изменения выходной мощности, режим с нечетким контроллером на основе изменения скорости вращения ротора, режим с нечетким контроллером с ПИД компенсацией.

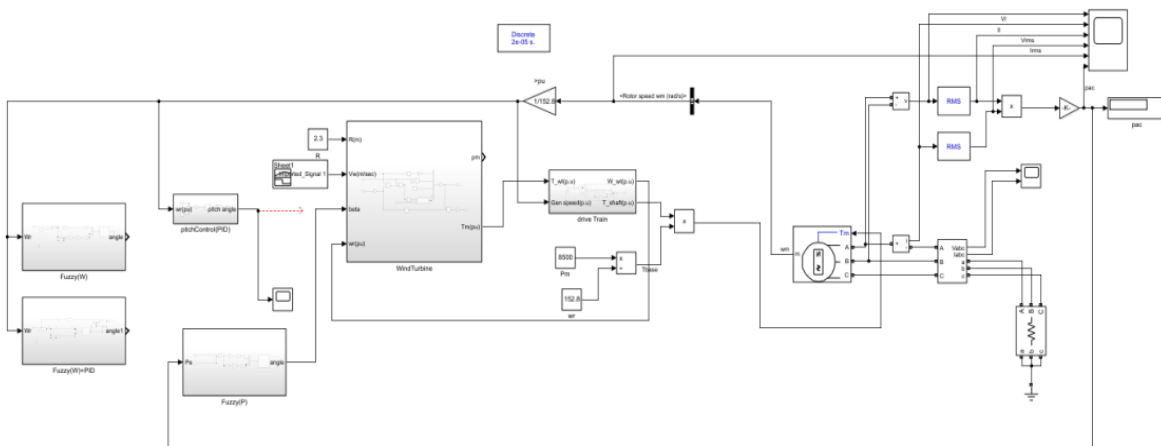


Рис. 2. Моделирование системы ветровой энергетики

Далее мы сравним и проанализируем изменения выходной мощности, скорости вращения ротора и угла атаки лопастей ветрогенераторов с различными контроллерами.

На приведенных графиках сплошная кривая представляет случай без какого-либо контроллера, толстая сплошная кривая представляет случай с ПИД-регулятором, точечная кривая представляет случай с нечетким контроллером на основе ошибки мощности, штрих-точечная кривая представляет случай с нечетким контроллером на основе ошибки скорости вращения ротора, а штриховая кривая представляет случай с нечетким контроллером с ПИД компенсацией.

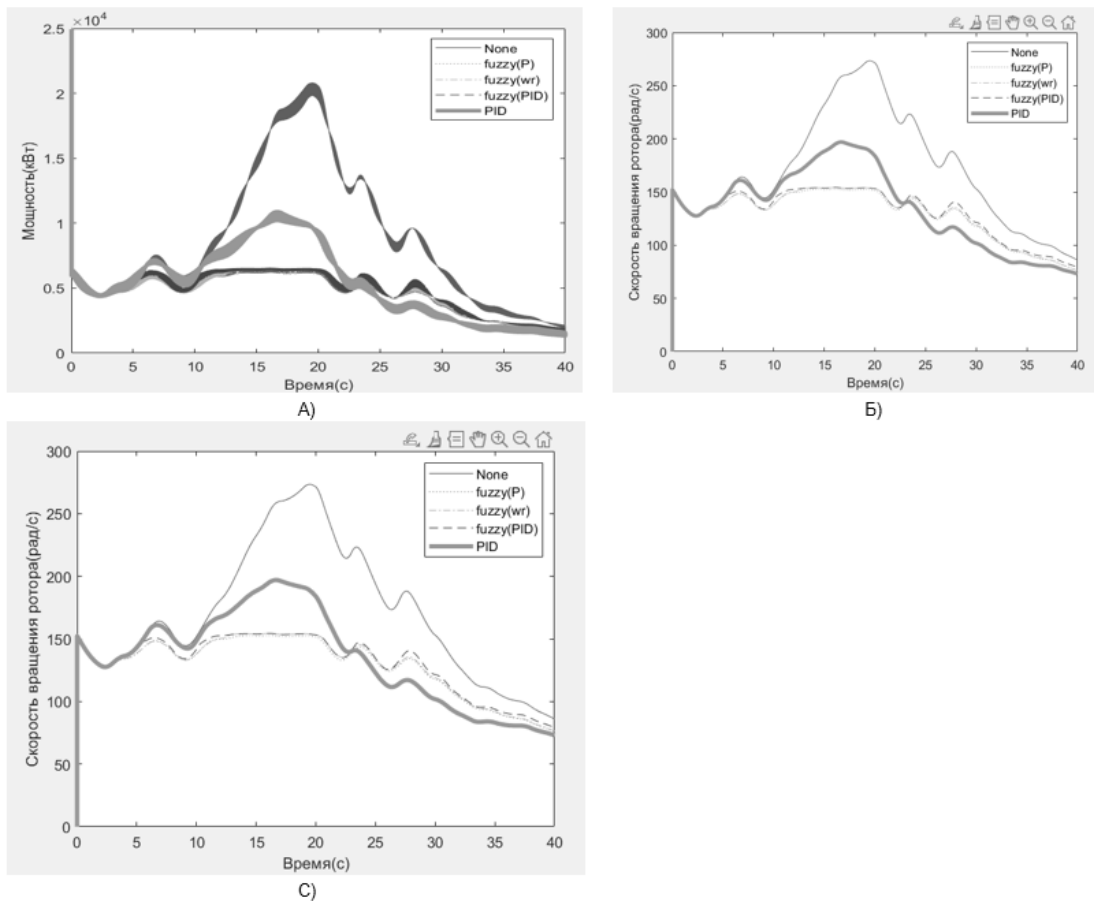


Рис. 3. а) Выходная мощность ветрового генератора; б) Скорость вращения ротора; с) Скорость вращения ротора

Большая часть сплошной линии намного превышает номинальную мощность и номинальную частоту вращения ротора. Это показывает, что при отсутствии контроллера ветрогенератор подвергается опасности перегрузки при высоких скоростях ветра.

Часть толстой сплошной кривой также превышает номинальную мощность и скорость вращения ротора. Это показывает, что ПИД-регулятор эффективно, но имеет определенные ограничения.

Точечная кривая и штрих-точечная кривая примерно одинаковы с точки зрения выходной мощности и частоты вращения ротора. Однако амплитуда угла атаки лопастей на точечной кривой слишком велика, а частота слишком высока. Такая ситуация затрудняет внедрение нечеткого контроллера на основе мощности в реальной инженерной деятельности. Штрих-точечная кривая является относительно плавной с точки зрения изменения угла атаки лопастей, что можно применять на практике.

Штриховая кривая является результатом добавления ПИД компенсации к нечеткому контроллеру черной кривой. Мы можем видеть, что штриховая кривая немного больше штрих-точечной кривой с точки

зрения выходной мощности и частоты вращения ротора, но она не превышает номинального значения. Это означает, что нечеткий контроллер с ПИД компенсацией может обеспечить более высокий коэффициент использования энергии ветра ветрогенераторы.

Таким образом, нечеткое управление с ПИД компенсацией способно лучше использовать ветровую энергию, обеспечивая защиту ветроэнергетического оборудования от перегрузки. Данная технология имеет широкие перспективы применения в условиях постоянно растущего спроса на ветроэнергию.

Список литературы

1. Юэчунь И. Текущая ситуация, перспективы развития и анализ рынка ветроэнергетики // Международная энергетика. 2004. №5. Р. 18-22. doi: CNKI: SUN: GJDL.0.2004-05-005.

2. Пэнфэй Ц. Исследование по регулированию шага ветряной турбины с прямым приводом на постоянных магнитах / Дисс. Шанхайский институт электротехники, 2018.

3. Manwell J. F., McGowan J. G. Wind energy explained: theory design and Application – Wiley, 2009. – 705 p.

4. Martinez Tossas L.A., Leonardi S. Wind Turbine Modeling for Computational Fluid Dynamics / National Renewable Energy Laboratory, 2013. Denver West Parkway Golden, CO 80401, NREL/SR-5000-55054.

5. Цзюньчэн Л. Исследование системы малой ветроэнергетики, основанной на нечетком управлении / Дисс. Ляонинский технологический университет, 2021. DOI: 10.27211/d.cnki.glngc.2021.000044.

УДК 620.921

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

¹Шаймарданов Ильназ Инсафович, ²Писковацкий Юрий Валерьевич

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

¹ilnazshai@mail.ru

Аннотация: в этой статье рассматриваются проектирование и эксплуатация малых энергообъектов, которые имеют решающее значение для удовлетворения энергетических потребностей сельских общин, отдаленных населенных пунктов и районов, не подключенных к электросетям. В статье рассматриваются возобновляемые источники энергии, такие как солнечные панели, ветряные турбины и гидроэлектростанции, а также конструктивные особенности каждого из них.

Ключевые слова: малые энергетические объекты, возобновляемые источники энергии, солнечные панели, ветряные турбины, гидроэлектростанции.

DESIGN AND OPERATION OF SMALL POWER FACILITIES

¹Shaimardanov Inaz Insafovich, ²Piskovatsky Yuri Valerevich

^{1,2}FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

¹ilnazshai@mail.ru

Abstract: this article discusses the design and operation of small power facilities, which are critical in meeting the energy needs of rural communities, remote locations, and off-grid areas. The article explores renewable energy sources such as solar panels, wind turbines, and hydroelectric power and the design considerations for each.

Keywords: small power facilities, renewable energy sources, solar panels, wind turbines, hydroelectric power.

Малые энергообъекты являются важным компонентом энергетического ландшафта, обеспечивая электроэнергией сельские районы, отдаленные населенные пункты и места, находящиеся вне сети. В отличие от крупномасштабных электростанций, небольшие энергетические объекты должны проектироваться и эксплуатироваться таким образом, чтобы они эффективно функционировали при ограниченных ресурсах и в суровых условиях окружающей среды. В этой статье будет рассмотрено проектирование и эксплуатация малых энергетических объектов с особым акцентом на возобновляемые источники энергии.

При проектировании объектов малой энергетики необходимо учитывать несколько факторов, включая тип топлива или источника энергии, размер объекта и местоположение. Наиболее распространенными типами малых энергетических установок являются дизельные генераторы, солнечные панели и ветряные турбины. Выбор технологии зависит от наличия топлива или возобновляемых ресурсов, а также от стоимости и надежности системы [1].

Дизельные генераторы. Дизельные генераторы являются наиболее широко используемой технологией для небольших энергетических объектов, особенно в районах, где нет подключения к электросети. Размер генератора зависит от энергетических потребностей сообщества или местоположения, и генератор может работать как автономная система или подключаться к небольшой электросети. Недостатком дизельных генераторов является то, что они требуют постоянной подачи топлива и генерируют выбросы парниковых газов.

Солнечные панели. Солнечные панели являются еще одной популярной технологией для небольших энергетических объектов, особенно в районах с обильным солнечным светом. Размер системы

солнечных панелей зависит от энергетических потребностей конкретного места и доступного бюджета. Солнечные панели могут быть установлены на крышах или на земле, и они не производят выбросов парниковых газов. Однако им требуются батареи для накопления энергии для использования в периоды слабого солнечного света.

Ветряные турбины. Ветряные турбины встречаются реже, чем дизельные генераторы и солнечные панели, но они являются жизнеспособным вариантом в районах с сильными ветрами. Размер ветряной турбины зависит от энергетических потребностей сообщества или местоположения, и турбина может эксплуатироваться как автономная система или подключаться к небольшой электросети. Недостатком ветряных турбин является то, что они могут быть шумными и требовать регулярного технического обслуживания [2].

В дополнение к типу технологии важным фактором является размер объекта. Небольшие энергообъекты, как правило, рассчитаны на удовлетворение потребностей конкретного населенного пункта, их мощность варьируется от нескольких киловатт до нескольких мегаватт. При проектировании должны учитываться энергетические потребности сообщества или местности, а также изменчивость источника энергии.

Местоположение является еще одним важным фактором при проектировании малых энергетических объектов. В удаленных или отключенных от электросети местах установка должна быть спроектирована таким образом, чтобы работать с ограниченным доступом к ресурсам и в суровых условиях. Для этого может потребоваться использование усиленного оборудования, специализированных систем охлаждения и резервных источников питания.

Эксплуатация небольших энергообъектов требует иного подхода, чем к крупномасштабным электростанциям. Эти объекты должны быть способны эффективно функционировать при ограниченных ресурсах и в различных условиях. Это требует использования интеллектуальных технологий и систем энергоменеджмента для оптимизации использования энергии и обеспечения надежной работы.

Эффективность является важным фактором при эксплуатации небольших энергетических установок. Это включает в себя максимальное использование имеющихся ресурсов и сведение к минимуму отходов и выбросов. Это также включает оптимизацию использования энергии с помощью систем энергоменеджмента и программ реагирования на спрос.

В дополнение к эксплуатации объекта важным фактором также является техническое обслуживание. Регулярные проверки и ремонт

необходимы для предотвращения простоев и обеспечения эффективной работы. В отдаленных местах для этого может потребоваться использование специализированных ремонтных бригад или оборудования.

Проектирование и эксплуатация объектов малой энергетики с использованием возобновляемых источников энергии

Возобновляемые источники энергии становятся все более популярным выбором для небольших энергетических объектов. Наиболее распространенными видами возобновляемых источников энергии являются солнечные панели, ветряные турбины и гидроэлектростанции. Эти технологии не производят выбросов парниковых газов и являются устойчивыми в долгосрочной перспективе.

Солнечные панели являются одним из самых популярных видов небольших энергетических установок, особенно в районах с обильным солнечным светом. Конструкция солнечной панели система для небольшого энергообъекта включает в себя выбор соответствующей технологии солнечных панелей, системы хранения аккумуляторных батарей и инвертора. Размер системы солнечных панелей зависит от энергетических потребностей конкретного места, количества доступного солнечного света и бюджета. Системы солнечных панелей могут быть сконструированы для работы как автономные системы или подключены к небольшой электросети [3].

Ветряные турбины также являются жизнеспособным вариантом для небольших энергетических объектов в районах с сильными ветрами. Проектирование ветротурбинной системы включает в себя выбор соответствующей технологии ветротурбины, системы хранения аккумуляторных батарей и инвертора. Размер ветротурбинной установки зависит от потребностей в энергии в конкретном месте, условий ветра и бюджета. Ветротурбинные установки также могут быть сконструированы для работы как автономные системы или подключены к небольшой электросети.

Гидроэлектростанция - это еще один возобновляемый источник энергии, который может быть использован для небольших энергетических объектов. Проектирование гидроэлектростанции включает в себя выбор соответствующей технологии гидротурбины, генератора и системы управления. Размер гидроэлектростанции зависит от расхода воды, доступного напора и потребностей в энергии в данном месте. Гидроэлектростанции также могут быть сконструированы для работы как автономные системы или подключены к небольшой сети.

В дополнение к проектированию небольших энергетических объектов, использующих возобновляемые источники энергии, эксплуатация этих объектов требует иного подхода, чем традиционные системы, работающие на ископаемом топливе. Эксплуатация малых энергетических установок, основанных на возобновляемых источниках энергии, требует тщательного управления источником энергии для обеспечения надежной работы и оптимальной эффективности. Это предполагает использование интеллектуальных технологий и систем энергоменеджмента для мониторинга и управления системой, а также для оптимизации использования энергии на основе спроса и имеющихся ресурсов [4].

Малые энергообъекты играют решающую роль в удовлетворении энергетических потребностей сельских общин, отдаленных населенных пунктов и районов, отключенных от электросетей. Проектирование и эксплуатация этих установок требуют тщательного рассмотрения типа источника энергии, размера установки и местоположения. Возобновляемые источники энергии, такие как солнечные панели, ветряные турбины и гидроэлектростанции, становятся все более популярным выбором для небольших энергетических объектов благодаря их устойчивости и экологическим преимуществам. Эксплуатация небольших энергообъектов требует использования интеллектуальных технологий и систем энергоменеджмента для обеспечения надежной работы и оптимальной эффективности. При тщательном планировании и управлении небольшие энергообъекты могут обеспечивать надежной и устойчивой энергией населенные пункты по всему миру [5].

Список литературы

1. Минин В.А., Дмитриев Г.С. Перспективы освоения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на Кольском полуострове [Электронный ресурс] URL: bellona.ru/filearchive/fil_fil_BB_rus-1.pdf
2. Global Wind Report 2013 [Электронный ресурс] URL: gwec.net/wpcontent/uploads/2014/04/GWEC-Global-Wind-Report_9-April-2014.pdf.
3. World Energy Outlook 2013 (Renewable energy outlook) [Электронный ресурс] – URL: [worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2013/WEO2013_Ch06_Renewables.p df](http://worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2013/WEO2013_Ch06_Renewables.pdf).
4. СО 153-34.20.118-2003. Методические рекомендации по проектированию развития энергосистем. // Москва, ФГУП НТЦ "Промышленная безопасность", 2006. 22 с

5. Колосов Р.В, Пученкин А.В., Титов В.В., Титов В.Г. Возобновляемые источники энергии в системах малой генерации // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2013, № 3 (100). С.207-211.

УДК 621.311

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ (IoT) В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Шарифуллин Булат Рустамович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
sharifullin.00@inbox.ru

Аннотация: целью данной работы стало исследование возможного применения технологии интернета вещей в сфере электроэнергетики и решение актуальных проблем при помощи данной технологии.

Ключевые слова: электроэнергетика, интернет вещей (IoT), система, технология, процесс.

PROSPECTS FOR USING THE INTERNET OF THINGS (IoT) TECHNOLOGY IN THE POWER INDUSTRY

Sharifullin Bulat Rustamovich,
FSBEI HE KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan,
sharifullin.00@inbox.ru

Abstract: the purpose of this work was to study the possible application of the Internet of Things technology in the electric power industry and solve urgent problems using this technology.

Keywords: power industry, internet of things (IoT), system, technology, process.

В последние годы интернет вещей (IoT) стал все более популярным и широко используемым технологическим решением в различных отраслях, включая электроэнергетику. Интернет вещей (IoT) - это технология, которая позволяет связывать физические объекты и устройства в единый сетевой экосистему для обмена данными и контроля. Система IoT (Internet of Things, Интернет Вещей) представляет собой сеть устройств, которые могут обмениваться данными и взаимодействовать друг с другом через интернет [1]. Эти устройства могут быть различными по своей функциональности и назначению - от бытовых и промышленных устройств до транспорта и медицинских

приборов. Система IoT позволяет собирать, анализировать и использовать данные, полученные от устройств, для улучшения качества жизни, эффективной работы бизнеса и принятия оптимальных решений. IoT позволяет коллективно управлять большим количеством устройств и сенсоров, что обеспечивает более эффективное использование ресурсов и повышает качество обслуживания. В электроэнергетике IoT может быть использован для сбора и анализа данных, управления системами и снижения затрат.

Одной из основных проблем в электроэнергетике является неэффективное распределение энергии и недостаточное управление оборудованием. Это приводит к потере энергии, высоким расходам и непредсказуемым авариям [2]. С помощью IoT можно решить эти проблемы, обеспечив более точный и детальный мониторинг энергосистем и оперативное управление ими. Ниже приведены некоторые примеры перспективного применения IoT в электроэнергетике:

1. Системы управления энергосистемами на базе IoT предоставляют возможность получать информацию о потреблении энергии в режиме реального времени. Это позволяет оптимизировать расходы на энергию и повысить эффективность работы системы в целом. Сенсоры, установленные на оборудовании, могут автоматически регулировать его работу в зависимости от текущих условий, таких как температура и влажность [3].

2. Предсказательное обслуживание и мониторинг сетей электроснабжения: IoT-системы могут синхронизировать данные о работе оборудования в реальном времени, что позволит предоставлять предсказательное обслуживание и улучшать эффективность работы оборудования [5]. При этом IoT-устройства могут собирать данные о работе сетей электроснабжения, что позволит быстро выявлять и устранять неисправности, улучшать производительность и повышать безопасность. Что в свою очередь, позволяет предотвращать аварии и сбои в работе энергосистем [4]. Системы мониторинга могут определять возможные проблемы с оборудованием заранее и предупреждать о них операторов системы. Это позволяет устранить проблему до ее возникновения и избежать потерь энергии.

3. Управление энергопотреблением: IoT-системы могут автоматически управлять энергопотреблением в зданиях и на производственных площадках, что позволит снизить затраты на энергию. Также к примеру, с помощью IoT можно создать сеть умных домов, которая будет регулировать потребление энергии в режиме реального времени. Это

позволит более эффективно использовать энергоресурсы и снизить расходы на электроэнергию.

4. Автоматическая оптимизация: IoT-технологии позволяют автоматически оптимизировать использование энергии в отдельных устройствах и системах, что позволяет снизить риск перегрева и повысить энергоэффективность.

5. Интеграция с возобновляемыми источниками энергии: IoT-технологии могут использоваться для управления системами, которые обеспечивают возобновляемые источники энергии, такие как солнечные панели и ветрогенераторы.

В целом, IoT предоставляет множество новых возможностей и имеет большой потенциал для развития и оптимизации электроэнергетики. Однако, использование этой технологии требует высокой квалификации персонала и организации безопасности данных, чтобы обеспечить надежность и безопасность системы, поскольку такие системы зачастую уязвимы для кибератак [6,7].

Список литературы

1. Иванова В.Р., Гусамов Д.И. Аналитический обзор *IOT* технологии // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VII Национальной научно-практической конференции. Казань, 2021.

2. Иванова В.Р. Об актуальности современных информационных и телекоммуникационных технологий в образовании // Стратегические ориентиры развития высшей школы: Сб. научных трудов участников II Национальной научно-практической конференции (г. Москва, 25 ноября 2020 года). М., 2020. С. 95-102.

3. Иванова В.Р. О принципах построения цифровых промышленных сетей // *Novum*. 2020. № 25. С. 7-9.

4. Обзор сетевых протоколов и протоколов обмена сообщениями для *IoT*. <https://clck.ru/et2wp>.

5. Иванова, В. Р. Разработка алгоритма для эффективного управления технологическим процессом промышленного предприятия на базе программируемого логического контроллера TM171PDM27S Schneider Electric / В. Р. Иванова, В. В. Новокрещенов, Н. В. Роженцова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 75-85. – DOI 10.30724/1998-9903-2020-22-2-75-85.

6. Моделирование систем электроснабжения для улучшения качества электроэнергии отдельной территории / М. Ф. Агзамов, М. Н. Симонова, Э. Ф. Хакимзянов [и др.] // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 77-82.

7. Что такое интернет вещей и как он устроен
<https://trends.rbc.ru/trends/industry/5db96f769a7947561444f118>

УДК 629.064.5

АВТОНОМНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЧАСТНОГО ДОМА

Юнусова Лиана Ильдаровна
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия
liana_yunusova_03@mail.ru

Аннотация: в статье рассматриваются варианты использования источников энергии для обеспечения работы автономной системы электроснабжения (АЭС) с использованием генераторов, аккумуляторных батарей, инверторов и других устройств, входящих в их состав. Эти системы позволяют использование альтернативных источников электроэнергии для повышения надежности энергосистемы потребителя и снижения затрат на закупки у энергетических организаций.

Ключевые слова: электроснабжение, система питания, источники электроэнергии, система автономного электроснабжения дома, централизованное электроснабжение, солнечные батареи, генераторы.

AUTONOMOUS POWER SUPPLY OF A PRIVATE HOUSE

Yunusova Liana Ildarovna
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
liana_yunusova_03@mail.ru

Abstract: the article discusses options for using energy sources to ensure the operation of the NPP power supply system using generators, batteries, inverters and other devices included in their composition. These systems allow the use of alternative sources of electricity to improve the reliability of the consumer's power system and reduce the cost of purchasing from energy organizations.

Keywords: power supply, power supply system, power sources, autonomous power supply system at home, centralized power supply, solar panels, generators.

Автономное электроснабжение (АЭС) дает возможность применять электрическую энергию в зонах, никак не подсоединенных к единой электросети, за пределами связи с колебаний в сети.

В стране большое количество малодоступных заселенных мест, по этой причине обеспечивать их электричеством, в случае если это совершается то вместе с перебоями, что затруднительно. Данный проект станет актуален для подобных регионов. Автономное электроснабжение допускается использовать в электрифицированных населенных пунктах с целью экономии денег.

Электроснабжение актуально для людей, проживающих вдали от городской жизни. Такая необходимость может возникнуть по ряду причин: сложность подключения к существующей электрической сети, отсутствие стабильности подаваемого напряжения, отключение электричества. Людям часто необходимо электричество.

Жизнь в загородном доме должна развиваться бесконечно независимо от внешних факторов. При выборе источника энергии следует отдавать предпочтение возобновляемому и экологически чистому варианту.

Для создания такой системы необходимо принять решение технические характеристики, на основе которых будет строиться домашняя система автономного электроснабжения. Они зависят от того, какую функцию выполняет система автономного электроснабжения (САЭ): полностью автономного источника питания или резервного энергоснабжения. Если система должна выполнять роль «резервной» по обеспечению энергоресурсами, то необходимо установить продолжительную работу электростанции при отсутствии централизованной установки [1-3].

Важным фактором при планировании автономной системы электроснабжения частного дома являются финансовые возможности владельца дома. Бюджет проекта определит, сколько будет стоить приобретаемое оборудование и сколько работы нужно будет сделать вручную. Известно, что выполнить работу самостоятельно намного дешевле, чем платить за услуги. При этом необходимо учитывать наличие необходимого оборудования и навыков работы с ним, а также уровень технических знаний владельца дома.

Одним из основных преимуществ САЭ является отсутствие платы за потребление энергии. Это дает значительную экономию при проживании в пригороде. В отличие от централизованного электроснабжения, автономное бытовое электроснабжение не имеет социальных норм в отношении потребления энергии.

Оборудование САЭ достаточно надежно и редко выходит из строя. Это преимущество поддерживается надлежащим обслуживанием

и правильной эксплуатацией всех компонентов системы. Независимое электропитание имеет еще одно неоспоримое преимущество: полная независимость. Независимо от потребления электроэнергии, домовладелец всегда имеет собственное энергоснабжение.

Однако у САЭ есть и свои недостатки. Она не только дорогостоящая, но и имеет высокие расходы в эксплуатации. Прежде чем выбрать оборудование и материалы, необходимо хорошо их рассчитать, чтобы они не сломались до того, как вы их окупите. В случае поломки собственной системы выработки электроэнергии в частном доме, вы не сможете дождаться электрика на подстанции. Придется разбираться самостоятельно, включая вызов специалиста и оплату ремонта. Чтобы этого избежать и чтобы ваше оборудование прослужило как можно дольше, необходимо регулярно обращаться к специалистам для проведения профилактических осмотров и обслуживания частной электроустановки.

Выбор альтернативных источников энергии важен для автономного энергоснабжения дома. Обычно рассматриваются бензиновые и дизельные генераторы, солнечные батареи, энергия ветра, гидроэлектроэнергия и аккумуляторы. Каждый из этих источников энергии имеет свои особенности и должен быть тщательно рассмотрен.

Генераторы – самый простой и дешевый способ обеспечить дом необходимой электроэнергией. Это устройство работает по принципу сжигания топлива. Когда речь идет об автономном снабжении дома электроэнергией, генератор должен иметь соответствующую базу для хранения топлива. В этом случае преимущество имеют генераторы, работающие на газе. Для обеспечения стабильной работы газовые генераторы требуют подключения к газовой магистрали. Подключение к газовой магистрали также является необходимым условием для непрерывной работы и позволяет избежать проблемы автоматического хранения топлива.

Аккумулятор не подходит для полномасштабного электроснабжения жилых домов. Батареи используются в качестве аварийного источника энергии или как дополнение к альтернативным источникам энергии. Пока в сети есть электричество, аккумулятор заряжается. Если подача электроэнергии прерывается, аккумулятор теряет свой заряд.

САЭ дома, работающая на солнечной батарее, является наиболее распространенным вариантом в странах с высокой солнечной активностью. Комплект такого оборудования прослужит не менее 40 лет без ремонта. Однако, иногда погодные условия могут нарушать подачу электричества.

Это наиболее распространенные варианты обеспечения АЭС дома. Однако их стоимость значительно выше, если принять во внимание расходы на топливо для генераторов. В этом отношении наиболее приемлемыми считаются бесплатные источники энергии, такие как солнечная, ветровая и гидроэнергия. Стоимость такого оборудования значительно выше, но оно быстро окупается и может использоваться в течение многих лет. Установить собственную систему солнечной энергии относительно просто. Нужно лишь следовать инструкциям и схеме. Частные дома могут нуждаться в выработке собственной электроэнергии по разным причинам, например, может быть сложно подключиться к существующей электросети или в районе, где расположен дом, нет централизованного электроснабжения.

Чтобы обеспечить удаленные от сети постройки энергией, оповестить возможные проблемы из-за перебоев централизованного снабжения электричеством владельцы домов часто устанавливают автономные системы электроснабжения. Используется несколько разновидностей, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Выбор наиболее подходящего из них зависит от таких важных факторов, как будущее местоположение установки и климат конкретного региона. Также следует обратить внимание на стоимость оборудования, комплектующих и регулярного обслуживания. Проанализировав собранную информацию, можно принять решение о целесообразности приобретения такого оборудования. В любом случае, автономное электроснабжение – это возможность избежать зависимости от центральной сети и сэкономить на стоимости электроэнергии.

Список литературы

1. Афоничев Д.Н. Малые электростанции в системах электроснабжения сельскохозяйственных потребителей // Воронеж: Воронежский ГАУ. 2016 . С. 116–121.
2. Афоничев Д.Н. Система управления комбинированной энергетической установкой для автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей // Воронеж: Воронежский ГАУ .2017.– С. 112–117
3. Телегин В. В. Оптимизация структуры и параметров автономных электрогенерирующих комплексов // Научный журнал «Фундаментальные исследования» – Пенза: ИД «Академия Естествознания». 2013. № 8(2) . с. 312 - 317.

СЕКЦИЯ 5. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

УДК 621.311

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ НА ВИЭ И D-STATCOM

¹Аккад Ахмад Ферас, ²Соснина Елена Николаевна,
³Эрдили Наталья Игоревна

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
г. Нижний Новгород

¹feras1992@ yandex.ru, ²sosnyna@yandex.ru, ³erdili.ni@yandex.ru

Аннотация: внедрение энергоустановок на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) с инверторным подключением вносит в сеть высшие гармоники и колебания напряжения. Применение D-STATCOM позволяет решить проблему низкого качества электроэнергии. Его быстроедействие зависит от заложенных алгоритмов управления. Исследования посвящены разработке алгоритма на нечеткой логике, позволяющего повысить скорость отклика D-STATCOM. Для оценки эффективности алгоритма необходимо его сравнить с традиционным подходом. На первом этапе разработана MATLAB-модель электрической сети с распределенной генерацией на ВИЭ и D-STATCOM и получены результаты моделирования без регулирования напряжения в сети и с его регулированием с использованием традиционного алгоритма.

Ключевые слова: распределенная генерация, ВИЭ, гармоники, колебания напряжения, D-STATCOM, алгоритм, нечеткая логика.

SIMULATION OF ELECTRIC NETWORK WITH DISTRIBUTED GENERATION ON RES AND D-STATCOM

¹Akkad Ahmad Feras, ²Sosnina Elena Nikolaevna,
³Erdili Natalya Igorevna

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod

¹feras1992@ yandex.ru, ²sosnyna@yandex.ru, ³erdili.ni@yandex.ru

Abstract: the penetration of renewable energy sources (RES) with an inverter connection introduces higher harmonics and voltage fluctuations into the network. The use of DSTATCOM allows you to solve the problem of low quality of electricity. Its performance depends on the embedded control algorithms. The research is devoted to the development of an algorithm based on fuzzy logic, which allows to increase the response speed of D-STATCOM. To evaluate the effectiveness of the algorithm, it is necessary to compare it with the traditional approach. At the first stage, a MATLAB model of an electric network with distributed generation on RES and D-STATCOM was developed and simulation results were obtained without voltage regulation in the network and with its regulation using a traditional algorithm.

Keywords: distributed generation, RES, harmonics, voltage fluctuations, DSTATCOM, algorithm, fuzzy logic.

С ростом электрических нагрузок важной частью энергосистем становится распределенная генерация на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Как правило, солнечные и ветровые энергоустановки присоединяются к распределительным электрическим сетям через инверторы, являющиеся источниками высших гармоник тока и напряжения [1]. Генерация в сеть высших гармоник ведет к добавочным электрическим потерям.

Вместе с тем, стохастический характер ВИЭ вызывает колебания генерируемой мощности, а следовательно, и колебания напряжения в точке подключения потребителей электроэнергии к сети [2]. Фликер, вызванный колебаниями напряжения, отрицательно сказывается на здоровье человека.

Проблему высших гармоник и колебаний напряжения позволяет решить *D-STATCOM* – трехфазный твердотельный преобразователь напряжения на управляемых силовых тиристорах (транзисторах), позволяющий выполнить фильтрацию высших гармоник и подавить колебания напряжения в сети [3]. Производительность *D-STATCOM* зависит от алгоритмов управления, задачей которых является определение эталонных токов. Традиционные методы управления основаны на теориях мгновенной мощности, синхронной системы отсчета и др. Разработка настроек ПИ-регулятора, используемого в схемах, – сложная задача. Настройки определяются методом проб и ошибок. Недостатком традиционного PI-регулятора является относительно медленная реакция на динамическое изменение параметров ВИЭ, для которых характерно быстрое и внезапное изменение генерации по причине зависимости от солнечной радиации и скорости ветра.

Целью исследований является разработка алгоритма на основе искусственного интеллекта, позволяющего повысить скорость отклика *D-STATCOM* при динамическом изменении параметров электрической сети и обеспечить качество электроэнергии, поставляемой от источников РГ.

Проведено сравнение двух подходов к построению алгоритма: на основе искусственной нейронной сети и на основе нечеткой логики. Сравнение выявило преимущество подхода на нечеткой логике (простота, система не требует обучения, легко модифицируема и др.), поэтому он был взят за основу [4].

Для проверки эффективности разрабатываемого алгоритма для *D-STATCOM* на основе нечеткой логики поставлена задача сравнить работу *D-STATCOM*, использующего традиционные алгоритмы, с регулятором на основе нечеткой логики.

Разработана *MATLAB*-модель электрической сети напряжением 380 В и частотой 50 Гц с источниками распределенной генерации на ВИЭ

(солнечной и ветроэлектрической энергоустановками), нагрузкой и *D-STATCOM*. Солнечные панели подключены к распределительной сети через инвертор, генерирующий высшие гармоники, вызываемые процессом ШИМ. Модель ветроэлектрической установки состоит из ветротурбины и асинхронного генератора, подключенного непосредственно к распределительной сети. При работе ВЭУ быстрое изменение скорости ветра вызывает колебания напряжения в электрической сети. Модель позволяет исследовать взаимосвязь между изменением интенсивности солнечного излучения и значением высших гармоник, а также изменением скорости ветра и колебаниями напряжения (рис. 1).

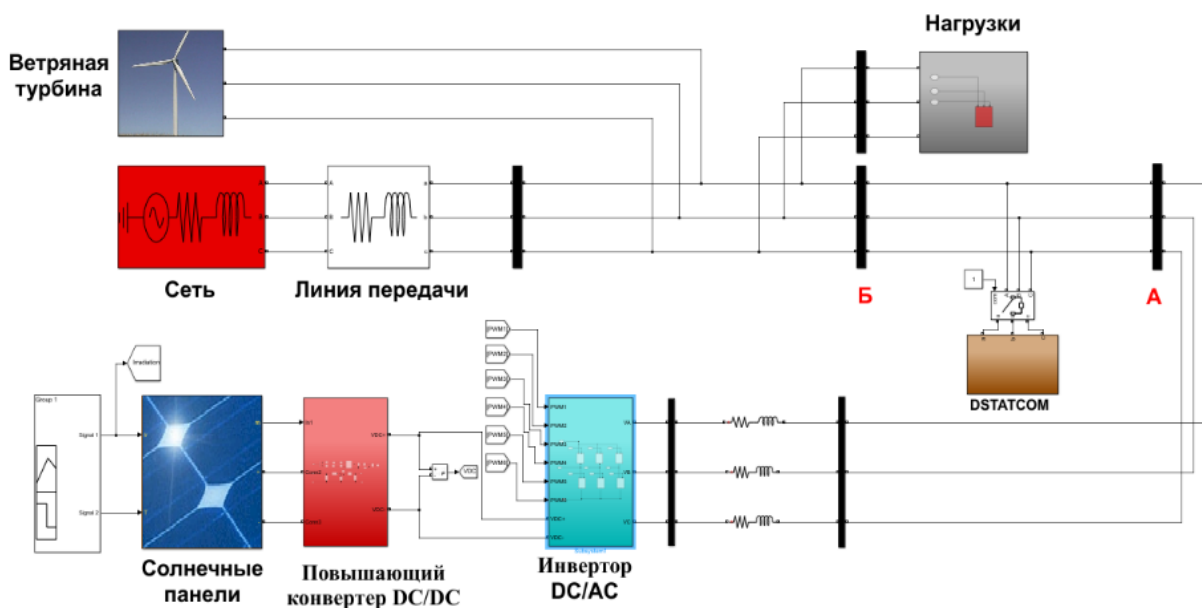


Рис. 1. Модель электрической сети с распределенной генерацией на ВИЭ и *D-STATCOM*

На рис. 2 показана *MATLAB*-модель *D-STATCOM*, элементами которой являются: автономный инвертор напряжения *VSC*, конденсатор звена постоянного тока, *LC*-фильтр, трансформатор связи и система управления. Параметры *D-STATCOM* настроены для снижения гармонических составляющих и колебаний напряжения, для чего использован алгоритм *pq* (*IRP*-теория) на основе ПИ-регулятора. Получены результаты моделирования без регулирования напряжения в сети и с его регулированием с использованием традиционного алгоритма.

Следующий этап исследований заключается в моделировании регулирования напряжения на основе алгоритма, построенного на нечеткой логике, обеспечивающего быстроту и точность реакции *D-STATCOM* [5].

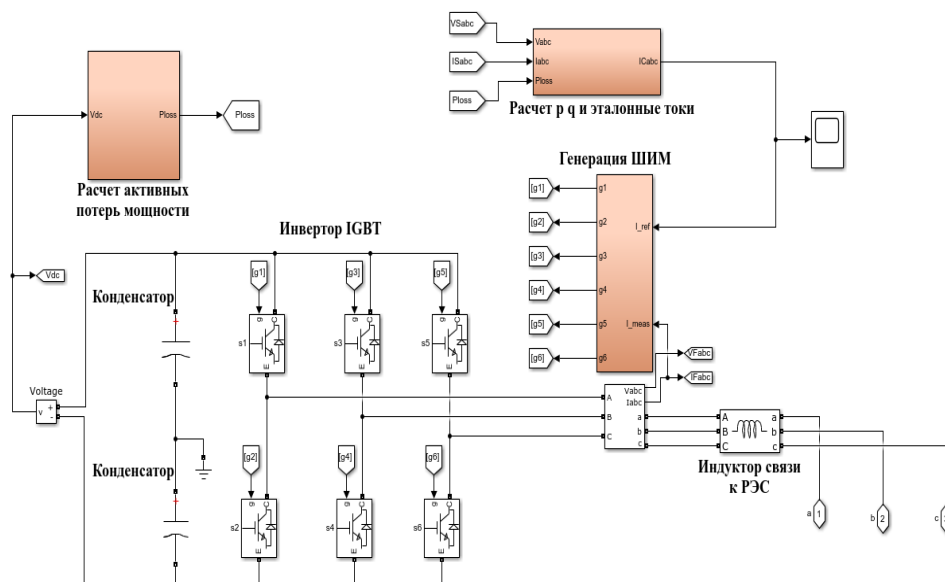


Рис. 2. Модель D-STATCOM

Список литературы

1. Matre M. Harmonics in Photovoltaic Inverters and Mitigation Techniques, 2020.
2. Hanaa K., Maha M. and Madiha S. Flicker in distribution networks due to photovoltaic systems // 24th CIRED 12-15 June, 2017.
3. Madhusudan R., Reddy P. Control Strategies for DSTATCOM – A Comprehensive Review // IJITEE, 2019. Vol. 8, Iss. 5.
4. Akkad A., Erdili N., Sosnina E. Application of a Fuzzy Logic Controller in a D-STATCOM in an Electrical Network with Distributed Generation // SmartIndustryCon, 2023. P. 650–654.
5. Pushparajesh V., Narayana S. Artificial Intelligent Controller-Based Speed Control of Switched Reluctance Motor // IJOEI, 2021.

УДК 321.728

ОСВОЕНИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПУТЁМ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

¹Абдуллина Лилия Венеровна, ²Бакирова Рузиля Ралифовна, ³Герасюнин Максим Андреевич, ⁴Карташов Даниил Леонидович, ⁵Денисова Алина Ренатовна

Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань

¹Lili6_93@mail.ru, ²r.bakirova2017@yandex.ru, ³gerich193@mail.ru,

⁴karta.shov00@mail.ru

Аннотация: В статье рассмотрены возможности использования гидроэнергетических ресурсов путем строительства ГАЭС, ее принцип работы, а также изучены

факторы, влияющие на место возведения гидроаккумулирующей станции и предложены варианты местностей для строительства на территории Российской Федерации.

Ключевые слова: гидроэлектростанция, энергетика, возобновляемые источники энергии, ГАЭС, ГЭС, аккумулирование энергии, гидроагрегаты.

DEVELOPMENT OF HYDROPOWER RESOURCES THROUGH THE CONSTRUCTION OF LARGE-CAPACITY HYDROPOWER FACILITIES

¹Abdullina Liliya Venerovna, ²Bakirova Ruzilya Ralifovna, ³Gerasyunin Maxim Andreevich, ⁴Kartashov Daniil Leonidovich, ⁵Denisova Alina Renatovna
Kazan State Power Engineering University, Kazan
¹Lili6_93@mail.ru, ²r.bakirova2017@yandex.ru, ³gerich193@mail.ru, ⁴karta.shov00@mail.ru

Abstract: the article discusses the possibility of using a pumped-storage station in the electric power system, the principle of operation, as well as the place and factors for the construction of a pumped-storage station on the territory of the Russian Federation.

Keywords: hydroelectric power station, energy, renewable energy sources, pumped-storage station, pumped storage power plant, hydroelectric power station, energy storage, hydroelectric units.

В настоящее время «безуглеродная энергетика» набирает свои обороты и идет замена органического и ядерного топлива, в пользу возобновляемых источников энергии. С точки зрения экономики, использование ископаемых топлив является наиболее выгодным способом получения электроэнергии. В частности, использование гидроэнергетических ресурсов, которые способны с избытком обеспечить внутренний спрос страны. Стоит отметить, что наиболее эффективным мероприятием по увеличению гидроэнергетического потенциала является строительство ГАЭС, которые являются не только источником чистой генерации, но и покрывают пиковые нагрузки.

Принцип работы гидроаккумулирующей станции (Далее – ГАЭС) и назначение чем-то схожи с принципом работы и назначением обычной ГЭС. Электроэнергия вырабатывается при движении воды за счет перепада высот между верхним и нижним бьефами. Отличие в принципе работы ГАЭС в том, что, когда электростанция переходит в турбинный режим, она сбрасывает воду из верхнего бассейна в нижний, а при насосном режиме насосами вода перекачивается заново из нижнего бьефа в верхний, тем самым аккумулируя энергию.

ГАЭС позволит решить такие проблемы, как:

- возникновение пиковых нагрузок в дневное время суток;
- изменение частоты энергосистемы более чем на 0,2 Гц в обе

стороны.

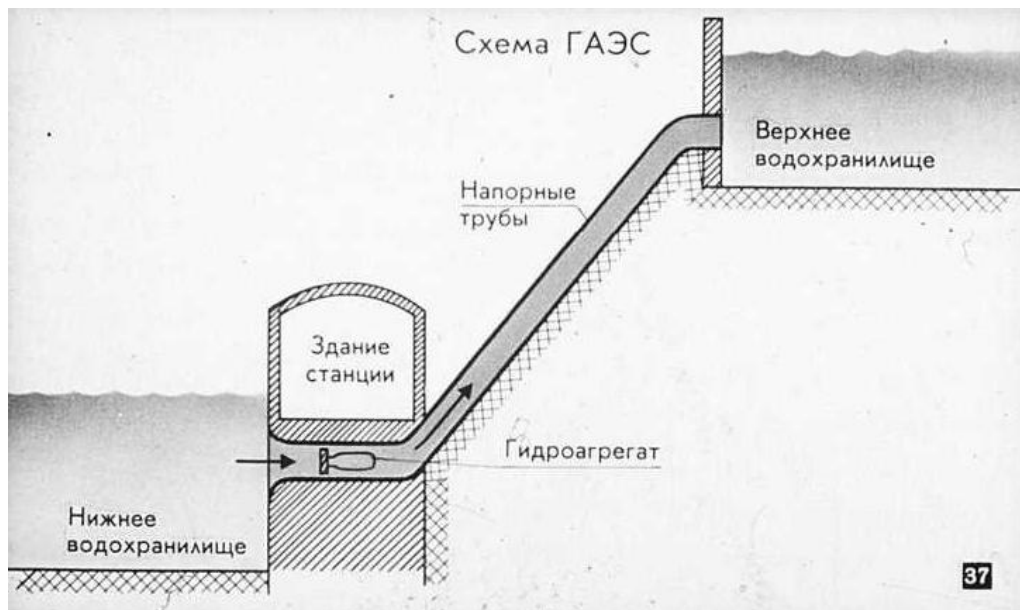


Рис. 1. Основные элементы ГАЭС

В работе энергетических систем нет определенной стабильности в обеспечении потребителей электричеством. В дневное время часто возникают пиковые нагрузки, а ночью потребление снижается, и себестоимость электроэнергии возрастает. В такие периоды требуется быстрый переход из одного рабочего режима в другой. Однако имеющиеся виды тепловых и атомных установок не способны в короткий срок снизить свою мощность при резком спаде потребления. Разрешить эту проблему может гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС), накапливающая энергию в период низкого потребления и возвращающая ее при пиковых нагрузках. Подобная схема способствует повышению поставок электричества, позволяет избежать резких скачков энергоснабжения в разное время суток.

Единая энергетическая система России (ЕЭС России) состоит из 7 объединённых энергосистем (ОЭС): Северо-Запада, Центра, Средней Волги, Юга, Урала, Сибири и Востока. У России есть огромный потенциал в использовании гидроэнергетических ресурсов. При анализе всех факторов, влияющих на выбор места строительства, были выделены такие критерии, как:

1. Динамика потребления электроэнергии
2. Мощность Гидроэлектростанций в ОЭС
3. Гидроэнергетический потенциал и процент освоения региона
4. Наличие благоприятных условий для строительства
5. Коэффициент использования установленной мощности
6. Показатель частоты

В результате анализа нами были выбраны две зоны:

1. По статистике, в Ленинградской области с каждым годом увеличивается количество потребленной электроэнергии. Большинство этой электрической энергии приходится на пиковые часы электропотребления. Проанализировав статистику за год, мы видим, что в летние месяцы выработка электроэнергии падает по сравнению с другими месяцами. Это связано с уменьшением выработки электроэнергии АЭС и ТЭС.

2. ОЭС Востока лидирует по динамике потребления электроэнергии среди всех ОЭС России. Проанализировав ежедневную статистику изменения частоты в ОЭС Востока, мы обнаружили превышение допустимого значения изменения частоты в пиковые часы электропотребления. Это происходит за счет переизбытка выработанной электроэнергии, т.е. электроэнергии произведено больше, чем система может потребить в данный период времени. Данную проблему можно решить при помощи строительства ГАЭС.

Конечно, для развития гидроэнергетики не маловажным является освоение территорий ГЭС, а в некоторых случаях это имеет даже больше плюсов. Но строительство крупных ГАЭС является первостепенной задачей развития ЕЭС России.

Список литературы

1. Nabijonovich J. A. Renewable energy sources in Uzbekistan // ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. - 2020. - Т. 10. - №. 11. - С. 769-774.

2. Аккумулирующие электростанции. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://pue8.ru/gidroenergetika/376-akkumuliruyushchie-elektrostantsii.html>. (дата обращения: 10.05.2023).

3. Наримонов Б. А., Саъдуллаев Т. М. ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ПОМОЩИ ВОДЫ //ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ФИЗИКО. - 2020. - С. 38.

4. Ильенко А. Системный оператор считает необходимым увеличение доли ГАЭС в структуре установленной мощности ЕЭС России // электрон. научн. журн. 2005. – URL: <https://www.so-ups.ru/news/press-release/press-release-view/news/5009/> (дата обращения: 11.05.2023).

5. Ильенко А. Программа комплексной модернизации (ПКМ)// РусГидро // электрон. научн. журн. 2006. – URL: <http://www.rushydro.ru/activity/cmp> (дата обращения: 13.05.2023).

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

¹Агеев Вадим Александрович, ²Репьев Дмитрий Сергеевич,
³Казачков Дмитрий Владимирович
^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск
¹ageyevva@mrsu.ru, ²was23101@mail.ru, ³kazakovdv@mail.ru

Аннотация: предлагается применение специализированного программного комплекса для решения задачи определения мощности, оптимальной загрузки и местоположения трансформаторных подстанций системы электроснабжения микрорайона города с учетом ограничений на их взаимное расположение с иными элементами план-схемы городских распределительных сетей и автоматизированного определения местоположения трасс линий электропередачи. Представлен пример расчета и показана целесообразность применения предлагаемого подхода при проектировании и реконструкции систем электроснабжения городов.

Ключевые слова: городские распределительные сети, трансформаторная подстанция, центр электрических нагрузок, линия электропередачи, генетический алгоритм, программный комплекс.

APPLICATION OF A SPECIALIZED SOFTWARE PACKAGE IN THE DESIGN OF URBAN DISTRIBUTION POWER GRIDS

¹Ageev Vadim Aleksandrovich, ²Repyev Dmitrii Sergeevich, ³Kazakov Dmitrii Vladimirovich
^{1,2,3}Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Ogarev Mordovia State University», Saransk, Russia
¹ageyevva@mrsu.ru, ²was23101@mail.ru, ³kazakovdv@mail.ru

Abstract: the application of a specialized software package is proposed to solve the problem of determining the capacity, optimal load and location of transformer substations of the power supply system of the city's microdistrict, taking into account restrictions on their mutual location with other elements of the city distribution network layout and automated location determination of power transmission lines. An example of calculation is presented and the expediency of using the proposed approach in the design and reconstruction of urban power supply systems is shown.

Keywords: urban distribution power grids, transformer substation, electric load center, power transmission line, genetic algorithm, software package.

Система электроснабжения города представляет собой сложное инженерное сооружение, состоящее из трансформаторных подстанций (ТП), питающих и распределительных линий электропередачи и коммунально-бытовых, промышленных и транспортных потребителей электроэнергии [6]. При проектировании системы электроснабжения первоочередной задачей является определение мощности и место-

положения ТП. Местоположение ТП выбирается не просто в центре электрических нагрузок (ЦЭН) [3, 5], а с учетом распределения потребителей по ТП при значении коэффициента загрузки трансформаторов $K_3^H = 0,6 \div 0,9$ и минимальной протяженности линий электропередачи 0,4 кВ до потребителей. В такой постановке задача может быть решена с применением генетических алгоритмов [2, 4].

В задаче распределения потребителей по ТП и определения местоположения последних генотип представляет набор генов, количество которых равно количеству потребителей, а значение каждого гена соответствует номеру ТП, к которой подключен потребитель. В случае расположения ТП на занятой территории выполняется корректировка местоположения ТП с учетом ограничений на взаимное расположение иными элементами план-схемы городских электрических сетей. Коррекция выполняется в пределах заданного радиуса коррекции положений ТП $R_{ТП}$. В случае пересечения или несоответствия расстояний между ТП и иными объектами вводится штрафная функция $F_{ТП}$, пропорциональная $R_{ТП}$. В случае, если расстояние от ТП до каждого подключенного к ней потребителя больше рекомендованного радиуса обслуживания ТП $R_{ТП0}$, вводится штрафная функция $F_{штп}$, равная произведению превышения расстояния на весовой коэффициент $k_{R_{ТП}}$ [7].

Поскольку городскую распределительную сеть можно представить в виде взвешенного неориентированного графа, то формирование начальных линий 10 кВ, соединяющих ТП между собой и с центрами питания, и линий 0,4 кВ, соединяющих потребителей между собой и с ТП, выполняется как построение минимального остовного дерева с применением алгоритма Прима [1]. Сформированные линии представляют собой прямые и могут пересекаться с иными объектами и их трасса должна быть скорректирована. Для коррекции трасс линий с применением генетического алгоритма каждая линия электропередачи представляется в виде соединенных между собой отрезков. Генотип представляет множество координат коррекции точек, соответствующих началам и концам отрезков линии, показывающих, в какую точку план-схемы необходимо сместить рассматриваемую точку. Коррекция выполняется в пределах заданного радиуса коррекции положений линий $R_{Л}$, м [8].

В случае попадания конца или начала отрезка на иные объекты вводится штрафная функция $F_{ЛТ}$, равная произведению радиуса коррекции

положений линий на весовой коэффициент при попадании точки на объект $k_{ЛТ}$. В случае пересечения отрезка линии с иными объектами вводится штрафная функция $F_{ЛП}$, равная произведению радиуса коррекции положений линий на весовой коэффициент при пересечении линии с объектом $k_{ЛП}$. При вычислении целевой функции оценки приспособленности генотипов учитывается расстояние от прежнего положения точки на прямой линии до скорректированного местоположения и штрафные функции $F_{ЛТ}$ и $F_{ЛП}$. Таким образом, линии электропередачи разных классов напряжения будут скорректированы с минимальным удалением от предварительно рассчитанного местоположения.

На примере план-схемы распределительных сетей микрорайона города рассмотрим работу предложенных алгоритмов. На рисунке 1 показаны ТП микрорайона в первоначальном и скорректированном местоположении. Линия 10 кВ напрямую соединяет ТП с центром питания. Линии 0,4 кВ соединяют потребителей с ТП в соответствии с предварительным распределением. На рисунке 2 показаны скорректированные трассы линий 10 кВ и 0,4 кВ.

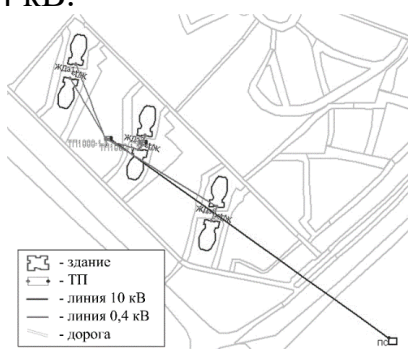


Рис. 1. Расположение ТП и линий 10 кВ и 0,4 кВ до коррекции



Рис. 2. Расположение ТП и линий 10 кВ и 0,4 кВ после коррекции

Предложено применение генетического алгоритма в программном комплексе для расчета мощности и местоположения трансформаторных

подстанций системы электроснабжения микрорайона города и автоматизированного определения местоположения трасс линий электропередачи. Показана возможность коррекции местоположений ТП и трасс линий в зависимости от пересечений с иными элементами план-схемы городских распределительных сетей и учетом ограничений на взаимное расположение.

Список литературы

1. Ахо, А. В. Структуры данных и алгоритмы / Альфред В. Ахо, Джон Э. Хопкрофт, Джеффри Д. Ульман ; [пер. с англ. и ред. А. А. Минько]. – Москва : Вильямс, 2010. – 391 с. – ISBN 978-5-8459-1610-5.

2. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям «Информатика и вычисл. Техника» и «Информ. Системы» / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик ; под ред. В. М. Курейчика. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Москва : Физматлит, 2006. – 319 с. – ISBN 5-9221-0510-8.

3. Горячев, В. Я. Математические методы определения центра распределенных по поверхности нагрузок / В. Я. Горячев, С. А. Михайлов // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 4-2. С. 276–280.

4. Косяков, С. В. Проектирование размещения электрических подстанций с использованием средств трассировки в ГИС / С. В. Косяков, А. Б. Гадалов // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2019. № 4. С. 75-83. doi: 10.17588/2072-2672.2019.4.075-083.

5. РД 34.20.185–94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. Взамен ВСН 97–83 «Инструкция по проектированию городских и поселковых электрических сетей»; введ. 1995–01–01. М., 1994. – 31 с.

6. Шведов, Г. В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети / Г. В. Шведов. – Москва : Издательский дом «МЭИ», 2012. – 268 с. – ISBN 978-5-383-00743-3.

7. Ageev V. A., Dushutin K. A., Kazakov D. V., Golobokov S. V. Approach to determining the power and location of transformer substation. 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/REEPE53907.2022.9731365.

8. Ageev V. A., Dushutin K. A., Repeyev D. S., T. Y. Brostilova. Application of the genetic algorithm in urban distribution networks tracking. 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/REEPE53907.2022.9731380.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАФИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОДСТАНЦИИ «КАБУН-1» СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

¹Альзаккар Ахмад, ²Грачева Елена Ивановна, ³Николай Петрович Местников

^{1,2}Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия.

³Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия.

¹Ahmadalzakkar86@gmail.com, ²Grachieva.i@bk.ru, ³Sakhacase@bk.ru

Аннотация: мониторинг состояния силовых трансформаторов имеет определяющее значение при исследовании показателей надежности и безопасности в энергосистеме. Термическое напряжение является одним из основных параметров, который необходимо контролировать. Резкие колебания температуры обмотки трансформатора, масла, изолирующей среды и т. д. влияют на условия эксплуатации, срок службы и безопасность эксплуатации трансформаторов. Целью является определение вида функциональных зависимостей температуры нагрева обмоток и масла силовых трансформаторов от их загрузки в подстанции «Кабун-1».

Ключевые слова: масла, обмотки, трансформатор, температура.

STUDY OF TEMPERATURE GRAPHS OF TRANSFORMER ELEMENTS OF SUBSTATION "KABUN-1" IN THE SYRIAN ARAB REPUBLIC

¹Alzakkar Ahmad, ²Elena Gracheva, ³Nikolai Petrovich Mestnikov

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

³North-Eastern Federal University Yakutsk, Russia.

¹Ahmadalzakkar86@gmail.com, ²Grachieva.i@bk.ru, ³Sakhacase@bk.ru

Abstract: monitoring the state of power transformers is of decisive importance in the study of reliability and safety indicators in the power system. Thermal stress is one of the main parameters to be controlled. Sharp fluctuations in the temperature of the transformer winding, oil, insulating medium, etc. affect the operating conditions, service life and operational safety of transformers. The purpose of article is to determine the type of functional dependences of the heating temperature of the windings and oil of power transformers on their load in the substation "Kabun-1".

Keywords: oil, windings, transformer, temperature.

Коэффициент детерминации (R^2) – это мера, которая предоставляет информацию о соответствии модели. В контексте регрессии это статистическая мера того, насколько хорошо линия регрессии аппроксимирует фактические данные [1, 2]. Поэтому важно, когда статистическая модель используется либо для прогнозирования будущих результатов, либо для проверки гипотез.

Коэффициент (R^2) лежит в диапазоне от 0 до 1. Чем ближе значение коэффициента к единице, тем существеннее зависимость [3]. В нашем исследовании независимой переменной является температура ($y=t_{\text{сред}}$), а зависимой переменной является коэффициент нагрузки ($x=K_{\text{зг}}$).

Коэффициент R^2 вычисляется [4] по данному уравнению (1):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y})^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

где y_i — фактические значения;

\hat{y} — расчетные значения исследуемой величины;

$\bar{y} = \frac{\sum_i y_i}{n}$ — среднее значение исследуемой величины;

$\sum_i (y_i - \hat{y})^2$ — сумма квадратов ошибок регрессии;

$\sum_i (y_i - \bar{y})^2$ — сумма квадратов отклонений точек данных от среднего значения.

Средняя ошибка аппроксимации вычисляется по выражения (2):

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_i \left| \frac{(y_i - \hat{y})}{y_i} \right| \quad (2)$$

n — Количество фактических значений.

Аппроксимирующие функции можно представить следующими таблицами:

Таблица 1

Уравнения аппроксимации температуры перегрева от коэффициентов загрузки трансформаторов

Аппроксимирующая функция		R^2	$\bar{A}\%$
t_1 (°C)			
Экспоненциальная	$t_1 = 2,7697e^{1,9146K_{3z}}$	0,711	9,97%
Линейная	$t_1 = 41,182K_{3z} - 85,455$	0,945	85,16%
Полиномиальная	$t_1 = 17,541K_{3z}^2 + 6,1K_{3z} + 1,979$	0,998	7,2%
t_2 (°C)			
Экспоненциальная	$t_2 = 3,5496e^{2,127K_{3z}}$	0,50	16,61%
Линейная	$t_2 = 73,5K_{3z} - 16,864$	0,947	161,81%
Полиномиальная	$t_2 = 30,798K_{3z}^2 + 11,903K_{3z} + 1,6154$	0,999	4,49%
t_3 (°C)			
Экспоненциальная	$t_3 = 4,0746e^{2,208K_{3z}}$	0,292	21,41%
Линейная	$t_3 = 94,5K_{3z} - 21,591$	0,952	205%
Полиномиальная	$t_3 = 35,111K_{3z}^2 + 24,279K_{3z} - 0,5245$	0,993	13,84%
t_4 (°C)			
Экспоненциальная	$t_4 = 6,456e^{2,1634K_{3z}}$	0,127	41,49%
Линейная	$t_4 = 129,23K_{3z} - 22,955$	0,968	218%
Полиномиальная	$t_4 = 41,171K_{3z}^2 + 46,885K_{3z} + 1,7483$	0,999	6,3%

На рис.1 приведены графики аппроксимирующих функций для 4 значения температуры перегрева обмотки и масла трансформаторов.

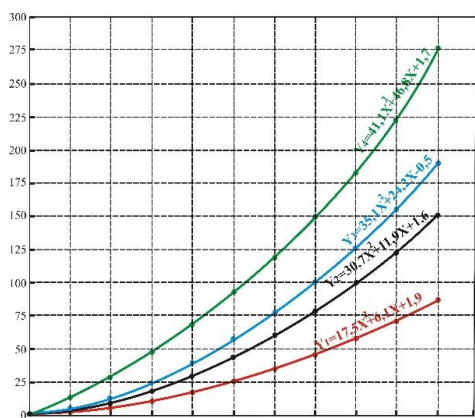


Рис. 1. Графики аппроксимирующих функций (полиномиальные)

$t_1(^{\circ}\text{C})$ — значение температуры среднего перегрева обмотки сверх температуры масла.

$t_2(^{\circ}\text{C})$ — значение температуры среднего перегрева масла сверх температуры охлаждающего воздуха.

$t_3(^{\circ}\text{C})$ — значение температуры перегрева масла сверх температуры охлаждающего воздуха.

$t_4(^{\circ}\text{C})$ — значение температуры перегрева наиболее нагретой точки сверх температуры охлаждающего воздуха.

По итогам исследования мы заметили, что полиномиальная функция является лучшей, чем остальные (экспоненциальная и линейная), потому что, чем ближе коэффициент детерминации к единице и процент средней ошибки аппроксимации самый маленький.

Список литературы

1. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Альзаккар А., Низамиев М.Ф., Шумихина О.А., Valtchev S. Прогнозирование и анализ электропотребления и потерь электроэнергии на промышленных объектах. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022;24(6):3-12. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-6-3-12>.

2. N. Mestnikov, P. Vasiliev and A. Alzakkar, “Development of Method of Protection of Solar Panels Against Dust Pollution in the Northern Part of the Russian Far East,” International Ural Conference on Measurements (UralCon), 2021. DOI: 10.1109/UralCon52005.2021.9559596.

3. N. Mestnikov, A. Alzakkar, I. Valeev, “Assessment of the Performance of the Solar Power Plant with a Capacity 150W,” International Russian

Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE, pp. 404–408, 2021. DOI: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537318.

4. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Альзаккар А.М. Анализ и исследование электропотребления объектов промышленной зоны г. Адра-Сирия. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2023;25(1):118-129. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2023-25-1-118-129>.

УДК: 621.31.243

АНАЛИЗ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

¹Белов Олег Евстафьевич, ²Бондарев Владимир Владимирович ³Пиунов Алексей Алексеевич, ⁴Шадрухин Егор Романович

^{1,2,3,4} Военный институт (инженерно-технический) федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В.Хрулева»
МО РФ, г. Санкт-Петербург.

¹belov19681@yandex.ru, ²romchik2001b@vk.com, ³bombidilo@yandex.ru,
⁴shadrukhin1990@mail.ru

Аннотация: в статье авторы рассматривают вопрос применения гибридных источников электроэнергии для обеспечения качественного и надежного электро-снабжения потребителей. В качестве гибридных источников рассматриваются электростанции, в составе которых применяются как традиционные источники электроэнергии на основе ископаемых видов энергии, так и источники, использующие возобновляемую энергию (солнечную и ветровую).

Ключевые слова: электроэнергия, возобновляемый источник электроэнергии, дизель генераторная установка, солнечная энергия, ветровая энергия.

ANALYSIS OF HYBRID POWER PLANTS BASED ON RENEWABLE ELECTRICITY SOURCES AND DIESEL-GENERATOR SETS

¹Belov Oleg Evstafievich, ²Bondarev Vladimir Vladimirovich

³Piunov Alexey Alekseevich, ⁴Shadrukhin Egor Romanovich,

^{1,2,3,} Military Institute (engineering and Technical) of the Federal state state-owned military Educational Institution of Higher Education "Military Academy of Logistics named after Army General A.V.Khrulev" of the Ministry of Defense of the Russian Federation,
St. Petersburg

¹belov19681@yandex.ru, ²romchik2001b@vk.com, ³bombidilo@yandex.ru,
⁴shadrukhin1990@mail.ru

Abstract: in the article, the authors consider the issue of application to ensure high-quality and reliable power supply to consumers using hybrid power sources. As hybrid

sources, power plants are considered, which include both traditional sources of electricity based on fossil fuels, and sources using renewable energy (solar and wind).

Keywords: electric power, renewable energy source, diesel generator set, solar energy, wind energy.

На сегодняшний день использование традиционного топлива для выработки энергии ведет к серьезным проблемам глобального характера. Один из актуальных и развивающихся способов решения данного вопроса является применение новых энергосберегающих технологий, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Преимущества данных технологий энергоснабжения, использующих возобновляемые источники энергии, по сравнению с их традиционными аналогами связаны не только со значительными сокращениями затрат энергии, но и с их экологической чистотой, а также с новыми возможностями в области повышения степени автономности систем жизнеобеспечения [1].

Актуальность систем обуславливается еще и тем, что экологически чистая энергетика является сейчас одним из наиболее важных направлений развития энергетических систем России. Однако, как показали проведенные исследования применение только ВИЭ, не позволяет обеспечить надежное электроснабжение. Исходя из этого наиболее перспективным направлением авторы считают применение в составе электростанции как возобновляемых, так и традиционных источников энергии, что предполагает создание гибридных электростанций, которые позволяют распределить нагрузку между источниками энергии и обеспечить требуемую надежность электроснабжения.

Основная задача, в рамках которой авторы проводили исследования, заключалась в повышении надежности электроснабжения потребителей, которые расположены в районах децентрализованного электроснабжения, где отсутствует возможность обеспечения потребителей электроэнергией от внешних сетей.

Проведенные исследования показали, что наиболее перспективными для решения данной задачи в настоящее время являются два основных варианта схемного построения гибридных источников электроэнергии:

1. Первый вариант предполагает, что в качестве основного производителя электроэнергии выступают, например, дизель-генераторную установку (ДГУ), а ВИЭ являются вспомогательной установкой в пике потребления мощности потребителей при максимальных нагрузках.

2. Второй вариант предполагает, что ДГУ и ВИЭ соединены последовательно, это позволяет им работать одновременно на общую нагрузку. Главный недостаток такой схемы будет являться долевая

нагрузка, при неправильно выбранном двигателе, которая приводит к ухудшениям характеристик ДГУ, решением будет аккумулирование электроэнергии, что усложнит конструкцию и приведет к ухудшению показателей надежности схемы. При этом в качестве основного источника электроэнергии выступает ВИЭ, а ДГУ является резервным источником питания, включающийся в пики потребления электроэнергии

Как показал анализ конструктивно, в самом общем случае, гибридные электростанции могут включать до четырех модулей:

1. Модуль, отвечающие за выработку электрической энергии от ветра;
2. Модуль солнечных электростанций или тепловых коллекторов;
3. Модуль аккумуляторных батарей для накопления энергии и отдачи энергии;
- 4 Модуль дизельного или газового генераторы, которые выполняют роль резервного источника питания.

Для обеспечения наилучшего качества работы гибридной станции все они соединены между собой линиями постоянного тока. Батареи обязательно защищены от перезаряда и полной выработки заряда (глубокого разряда), что не дает им прийти в негодность раньше срока. Вырабатываемое напряжение, передаваемое потребителям, трансформируется в переменное и приводится к необходимому напряжению [2, 3].

Однако, следует отметить, что основными проблемами, которые не позволяет существенно расширить применение гибридных источников электроэнергии на основе ДГУ и ВИЭ, заключаются [4, 5]:

1. Пока ещё достаточно высокая стоимость капитальных затрат на создание данного источника.
2. Существующие ограничения по мощности генерации, связанные в первую очередь с невозможностью управлять потоком возобновляемой энергии. Мы можем только на основании климатических данных региона прогнозировать возможность или отсутствие таковой по использованию солнечной или ветровой энергии. В условиях эксплуатации приходится работать по факту наличия или отсутствия энергии солнца или ветра.
3. Существующее некоторое ограничение по мощностному ряду таких источников, которое постепенно решается.
4. Трудности в оценке затрат по утилизации элементов, в первую очередь это оборудование ВИЭ.

Тем не менее авторы считаю, что гибридные электростанции, использующие для выработки энергии как ВИЭ, так и традиционный вариант генерации на основе ДГУ, являются одним из наиболее

перспективных способов обеспечения электричеством удаленных объектов. Также они используются в качестве дополнительных в общих сетях и могут применяться во время пиковых нагрузок.

Список литературы

1. Возобновляемые источники электроэнергии: монография / О. В. Григораш, Ю. П. Степура, Р. А. Сулейманов [и др]; Кубанский государственный аграрный университет – Краснодар, 2012. – 272с. ISBN: 978-5-94672-581-1.

2. Лукутин Б. В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении / Б. В. Лукуин, О. А. Суржикова, Е. Б. Шандарова; -М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231с. ISBN 978-5-283-032772-9

3. Пиляева О.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении // Эпоха науки № 23. - Ачинск 2020 – с. 30-32.

4. Белов О.Е., Павленок А.М. Автономные фотоэлектрические системы электроснабжения на основе генераторов с водородным первичным двигателем // Материалы VII Международной молодёжной научно-технической конференции 19–23 сентября 2016 «Электроэнергетика глазами молодежи – 2016». - 2016., - Том III – С. 98-103.

5. Белов О.Е., Сухарь Г.А., Сергеев Р.Д. Основные проблемы и перспективы применения гелиоэнергетических (солнечных) источников для электроснабжения зданий и сооружений объектов военной инфраструктуры // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Карбышевские чтения». 2021., - Том 3 – С. 227-231.

УДК 621.316.13

РАЗМЕЩЕНИЕ РЕЗЕРВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С УЧЁТОМ ТРЕБОВАНИЙ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКЕ

¹Белов Олег Евстафьевич, ²Сухарь Геннадий Анатольевич

^{1,2}Военный институт (инженерно-технический) федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В.Хрулева»
МО РФ г. Санкт-Петербург

¹belov19681@yandex.ru, ²g-suxar@mail.ru

Аннотация: в данной статье авторами рассматривается вопрос размещения резервных дизельных электростанция для повышения надежности электроснабжения

потребителей в условиях существующей застройки населенных пунктов с учетом необходимости обеспечения требований противопожарной безопасности. На основании проведенных исследований авторами сформулированы основные рекомендации и подходы по обеспечению пожарной безопасности при выборе места размещения дизельных электростанций.

Ключевые слова: система электроснабжения, дизельная электростанция, резервный источник электроэнергии, степень огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности, радиус пожарной безопасности

PLACEMENT OF BACKUP POWER SOURCES TAKING INTO ACCOUNT FIRE SAFETY REQUIREMENTS IN EXISTING BUILDINGS

¹Belov Oleg Evstafievich, ²Sukhar Gennady Anatolyevich

^{1,2}Military Institute (engineering and Technical) of the Federal state state-owned military Educational Institution of Higher Education "Military Academy of Logistics named after Army General A.V.Khrulev" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg

¹belov19681@yandex.ru, ²g-suxar@mail.ru

Annotation: In this article, the authors consider the issue of placing backup diesel power plants to increase the reliability of power supply to consumers in the conditions of existing development of settlements, taking into account the need to ensure fire safety requirements. Based on the conducted research, the authors formulated the main recommendations and approaches for ensuring fire safety when choosing the location of diesel power plants.

Keywords: power supply system, diesel power plant, backup power source, degree of fire resistance, class of constructive fire hazard, fire safety radius.

Основное предназначение любой системы электроснабжения объекта – обеспечение потребителей электрической энергией в заданном объеме и требуемого качества [2, 6, 7]. При этом решение первой составляющей (обеспечение электрической энергией), как правило, реализуется принятием технических решений, обеспечивающих системе электроснабжения требуемый уровень тактического и технического совершенства при условии приемлемых финансовых вложений. Одним из таких решения является, размещение рядом со зданием или сооружением резервных источников электроэнергии. Наиболее широкое применение получили мобильные дизельные электростанции контейнерного типа или на колесной базе.

Практика показывает, что на этапе проектирования, данная задача решается комплексно с учетом все действующих требований нормативно-технических документов [1, 2, 6] и особенностей планировки территории участка строительства, а в процессе прохождения экспертизы, устраняются

возможные недостатки по принятым решениям. В условиях же текущей эксплуатации, когда в уже существующей застройке необходимо разместить дополнительный резервный источник электроэнергии (дизельная электростанция далее ДЭ), решение может быть принято, как показывает практика, либо без учета требований нормативных документов или с учетом, но с некоторыми существенными отступлениями или допущениями. Как правило, такие отступления связаны с уменьшением расстояний от площадки, предназначенной для установки мобильной дизельной электростанции до существующего здания.

На основании исследований, проведенных авторами, а также с учетом рекомендаций специалистов противопожарной службы при принятии решений по размещению ДЭ в условиях существующей застройки следует руководствоваться следующими подходами:

1. Для зданий расположенных вблизи площадки, планируемой для размещения дизельной электростанции следует определить степень огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности в соответствии с СП 2.13130.2020 исходя из определенных параметров здания и сооружения (функциональное назначение, высота, этажность, площадь этажа в пределах пожарного отсека, категория по взрывопожарной и пожарной опасности, число мест и т.д.).

На основании требуемой степени огнестойкости здания следует определить (при необходимости) минимально требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций и минимально необходимые классы пожарной опасности строительных конструкций. В дальнейшем при принятии решения следует учитывать, что требования пожарной безопасности будут выполнены только в том случае, если строительные конструкции будут соответствовать и по требуемому пределу огнестойкости, и по требуемому классу пожарной опасности одновременно.

2. Выполнить аналогичную оценку в части ДЭ, в соответствии с п. 5.1.5 [4]. Следует отметить, что в соответствии с п.6.9.2. [4] для ДГУ степень огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности принимается в соответствии с требованиями для зданий производственного назначения.

Проведенные расчеты для основных типов мобильных контейнерных дизельных электростанций в части оценки пределов огнестойкости защитных кожухов показали, что она соответствует времени не более 5-10 минут (R10), что является очень невысоким значением. При этом следует отметить, что значительная часть контейнерных дизель-

генераторных станций конструктивно выполнены, так что обслуживание предусматривается с улицы (помещения для персонала не предусмотрены). Таким образом в части обеспечения огнестойкости мобильных контейнерных дизельных электростанций в большинстве случаев стоит задача конструктивными и компенсирующими мероприятиями обеспечить такой предел огнестойкости, который позволит сохранить установку до момента ее эвакуации или до момента локализации и тушения пожара близлежащих зданий.

3. С учетом оценки огнестойкости зданий и дизель-генераторной станции определить радиусы допустимого сближения (радиус пожарной безопасности) с учетом, которых определить площадки, возможного размещения электростанции. Из полученного перечня выбрать наилучшую с учетом других критериев (удаленность, возможность подъезда и т.п.).

Однако, возможны варианты, при которых противопожарные расстояния между зданием и ДЭ нормироваться не будут:

1. вариант. Здание и ДЭ являются сооружениями IV степени огнестойкости, класса пожарной опасности С1, категорий "В" по взрывопожарной и пожарной опасности и общая площадь сооружений не превышает допустимую площадь пожарного отсека для производственного сооружения IV степени огнестойкости, класса конструктивной пожарной опасности С1, категорий "В", согласно п.6.1.1, таблицы 6.1 СП 2.13130.2020. Кроме того если застройка одноэтажная то в соответствии с п.6.1.1, таблицей 6.1 [5] для одноэтажных сооружений категории "В", высотой до 18 м площадью этажа в пределах пожарного отсека не более 25000 кв.м. допускается принимать степень огнестойкости IV и класс конструктивной пожарной опасности С1. А при условии, если сумма площадей полов сооружений IV степени огнестойкости, класса пожарной опасности С1, категории "В" не превышает 25000 кв.м., то расстояние между данными сооружениями не нормируется.

2 вариант. Между местом размещения дизельной электростанции и существующим зданием имеется противопожарная стена 1-го типа (REI 150), как правило, это наружная стена здания раздел 5.4 [5].

В заключение хотелось бы отметить, что для повышения показателей огнестойкости целесообразно применять комплекс компенсирующих мероприятий, позволяющих повысить степень огнестойкости как здания, так и контейнера с дизельной электростанцией, таких как покрытие огнезащитными составами (с расчетом требуемой толщины покрытия) и применение средств автономного пожаротушения.

Список литературы

1. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ – Интернет, портал gost-info, 2015.
2. Правила устройства электроустановок, седьмое издание – СПб.: Издательство Деан, 2010.
3. Свод правил СП 6.13130.2021 «Системы противопожарной защиты. Электроустановки низковольтные. Требования пожарной безопасности» - М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2021.
4. СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» - М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2013.
5. СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2020.
6. Белов О. Е., Сухарь Г.А., Брусакова И.В. Принципы построения электрических сетей населенных пунктов // Актуальные научные проблемы военных исследований. 2019. № 2 (2). С. 182-189.

УДК: 621.314.6

ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА НЕСИММЕТРИЧНОГО МАГНИТНОГО РЕЖИМА ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

¹Богимова Анастасия Александровна, ²Меньшов Евгений Николаевич,

³Гаврилова Светлана Владимировна.

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск.

¹bogimovaa@inbox.ru.

Аннотация: в данной статье рассматриваются проблемы расчета несимметричного магнитного режима трехфазных трансформаторов. Описываются особенности работы трехфазных трансформаторов и причины возникновения несимметричного магнитного режима. Анализируются методы расчета несимметричного магнитного поля и предлагаются пути оптимизации расчетов, учитывающие несимметричность магнитного поля.

Ключевые слова: магнитный режим, трансформатор, несимметричный режим, магнитное поле.

PROBLEMS OF CALCULATING THE ASYMMETRIC MAGNETIC MODE OF THREE-PHASE TRANSFORMERS

¹Menshov Evgeny Nikolaevich, ²Bogimova Anastasia Alexandrovna,

³Gavrilova Svetlana Vladimirovna.

^{1,2,3}Ulyanovsk State Technical University. Ulyanovsk.

²bogimovaa@inbox.ru.

Abstract. This article deals with the problems of calculating the asymmetrical magnetic mode of three-phase transformers. The peculiarities of three-phase transformers and causes of asymmetric magnetic mode are described. Methods of asymmetric magnetic field calculation are analyzed and ways of calculations optimization that take into account asymmetry of magnetic field are suggested.

Keywords: magnetic mode, transformer, unbalanced mode, magnetic field.

Магнитный режим работы трехфазных трансформаторов связан с изменением магнитного поля в сердечнике трансформатора, что приводит к индукции напряженности магнитного поля в обмотках трансформаторах [4].

Электрический режим работы трехфазных трансформаторов связан с преобразованием электрической энергии от одной формы к другой. Три фазы трансформатора имеют обмотки, в которых с помощью магнитного поля наводятся ЭДС, направленные в стороны, противоположные друг другу. Электрический режим работы трехфазного трансформатора приводит к преобразованию электрической энергии от одной формы к другой, например, от высокого напряжения к низкому напряжению или наоборот.

Понимание магнитного и электрического режимов работы трехфазных трансформаторов является важным для рассмотрения проблем, связанных с расчетом несимметричного магнитного режима трехфазных трансформаторов, которые могут возникать в реальных электроэнергетических системах.

Актуальность темы, связанной с исчислением магнитного режима трехфазных трансформаторов, обусловлена несколькими факторами. Прежде всего, это необходимость в использовании эффективных методов расчета магнитных полей и параметров трансформаторов, чтобы избежать возможных проблем и повреждений оборудования.

В современных электроэнергетических системах нередко возникают несимметричные магнитные режимы, которые могут приводить к нестабильности работы трансформаторов и другого электрооборудования,

а также к повреждению материалов и компонентов трансформаторов. Поэтому было бы целесообразно разработать новые методы расчета несимметричных магнитных режимов трехфазных трансформаторов.

Такие методы позволяют повысить эффективность работы электроэнергетических систем, обеспечить надежность оборудования и обеспечить безопасность энергосистем в целом. Исследования в этой области могут привести к созданию новых технологий, учитывающих несимметричные магнитные режимы в трехфазных трансформаторах, и к дальнейшему улучшению эффективности электроэнергетических систем.

Распределение магнитного поля в электротехнических устройствах должно быть симметричным относительно центра, однако встречаются случаи, когда такой режим не соблюдается. Исходя из этого, проведение расчета несимметричного магнитного режима является важным этапом в работе электротехнических инженеров [1].

Существует несколько методов для расчета несимметричного магнитного режима, одним из наиболее распространенных является метод конечных элементов (МКЭ). Он предполагает разбиение проектируемого устройства на конечные элементы, каждый из которых имеет определенные параметры, такие как коэффициенты перевода или ток намагничивания. Используя данную методику, решается система уравнений, позволяющая определить напряженность магнитного поля для каждого из элементов [2].

Еще одним методом, используемым для расчета несимметричного магнитного режима, является метод симметричных компонентов. Рассмотрение несимметричного магнитного поля в данном случае происходит посредством разложения его на три симметричных компонента: прямую, обратную и нулевую. При этом каждая компонента вычисляется отдельно, что упрощает процесс расчетов.

Для проведения расчета несимметричного магнитного режима требуются точные данные о геометрии устройства и его свойствах, включая геометрию сердечника, величину магнитной проницаемости материала, количество витков провода и другие параметры.

Для того, чтобы получить данные могут быть использованы экспериментальные данные или разработаны теоретические модели. Какие бы методы расчета ни были выбраны, точность данных о геометрии и свойствах устройства остается необходимой предпосылкой для эффективного решения задачи.

Расчет несимметричного магнитного режима является сложной задачей, на решение которой требуется достаточный объем рабочих

ресурсов. Однако благодаря современным методам расчета, сегодня инженеры способны решать эту задачу эффективно, что позволяет создавать более эффективные и надежные электротехнические устройства.

Если говорить о проблемах, то стоит начать с того, что трехфазный трансформатор – это статический аппарат с тремя парами обмоток, предназначенный для преобразования напряжения при передаче электрического тока на дальние дистанции и при их эксплуатации возникает проблема несимметричного магнитного режима, которая может привести к перегреву обмоток трансформатора и даже его поломке из-за увеличения нагрузки на трансформатор. Для решения этой проблемы необходимо учитывать несимметричность в процессе проектирования, расчета и эксплуатации трансформатора. В основе работы трансформатора находится явление электромагнитной индукции [5].

При проектировании и расчете трехфазных трансформаторов следует учитывать несимметричность токов и напряжений, а также использовать математические модели и специальные программы для расчета магнитных полей и потоков в трансформаторе. Кроме того, можно использовать меры, направленные на снижение несимметричности в системе питания, например установку компенсирующих устройств и применение симметричных цепей питания.

Таким образом, решение проблемы несимметричного магнитного режима трехфазных трансформаторов требует индивидуального подхода к каждому конкретному случаю, и может быть достигнуто за счет совместных усилий инженеров и специалистов в области электротехники.

Список литературы

1. Александров Г.Н. Трансформаторы и реакторы: новые идеи и принципы: учеб. пособие / Г.Н. Александров, М.А. Шакиров. Санкт-Петербург: Политехнический ун-т, 2006. 204 с.

2. Бычков Ю.А. Основы теоретической электротехники: учеб. пособие / Бычков Ю.А., Золотницкий В.М., Чернышев Э.П. 2-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2008. 592 с.

3. Нефедцев Е.В. Электроника твердого тела: учеб. пособие / Е.В. Нефедцев; ФАНО России, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. 183 с.

4. Сотников В.В. Электрические машины: в 2 ч. Ч. 1. Трансформаторы. Общие вопросы теории электрических машин. Асинхронные двигатели: учеб. пособие / В.В. Сотников. Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. 160 с.

5. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование: учебник / В.П. Шеховцов. 3-е изд. Москва: ИНФРА-М, 2004. 407 с.

УДК 621.311

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КВАЗИПОСТОЯННЫХ ТОКОВ

¹Вахнина Вера Васильевна, ²Черненко Алексей Николаевич,
³Кретов Дмитрий Алексеевич
^{1,2,3}Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия
¹VVVahnina@yandex.ru

Аннотация: в статье выполнено экспериментальное исследование функционирования дифференциальной токовой защиты силовых трансформаторов при насыщении магнитной системы в результате воздействия квазипостоянных токов. На примере тестирования терминала микропроцессорной релейной защиты БЭ2704 производства ООО НПП «ЭКРА» показано, что происходит блокировка дифференциальной токовой защиты по 2-й гармонике, и поэтому силовой трансформатор не может быть отключен для предотвращения его повреждения.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, силовой трансформатор, квазипостоянный ток, дифференциальная токовая защита.

FUNCTIONING FEATURES OF DIFFERENTIAL CURRENT PROTECTION OF POWER TRANSFORMERS WHEN EXPOSED TO QUASI-DC CURRENTS

¹Vakhnina Vera Vasilievna, ²Chernenko Alexey Nikolaevich, ³Kretov Dmitry Alekseevich
^{1,2,3}Togliatti State University, Togliatti, Russia
¹VVVahnina@yandex.ru

Abstract: the article carried out an experimental study of the functioning of the differential current protection of power transformers when the magnetic system is saturated as a result of the impact of quasi-direct currents. Using the example of testing the BE2704 microprocessor relay protection terminal manufactured by EKRA, it is shown that the differential current protection is blocked by the 2nd harmonic, and therefore the power transformer cannot be turned off to prevent its damage.

Keywords: electric power system, power transformer, quasi-direct current, differential current protection.

Функционирование силовых трансформаторов при воздействии квазипостоянных токов (КПТ) может быть непредсказуемым из-за различных факторов и связано в первую очередь с насыщением их магнитной системы [1, 2]. Признаком насыщения магнитной системы силового трансформатора является повышение уровня высших гармоник тока [3], что может оказать влияние на срабатывание устройств релейной защиты трехфазных силовых трансформаторов с бронестержневой конструкцией магнитной системы (обычно номинальной мощностью более 80÷100 МВА) и однофазных трансформаторов с броневой конструкцией магнитной системы силовых трансформаторов, которые наиболее восприимчивы к воздействию КПТ [4]. Поэтому, задача определения реакции устройств релейной защиты силовых трансформаторов на возникающий режим насыщения их магнитных систем с учетом фактора воздействия КПТ является актуальной. Поставленная задача решается в данной работе.

Для решения поставленной задачи использовался программно-аппаратный комплекс моделирования в реальном времени RTDS. На Рис. 1 показана тестовая модель фрагмента электроэнергетической системы (ЭЭС), которая содержит силовые трансформаторы Т1 и Т2 типа ТДЦ-125000/220/13,8 с бронестержневой конструкцией магнитопровода. Связь Т1 и Т2 выполнена по воздушной линии электропередачи ВЛ напряжением 220 кВ протяженностью 100 км. Нейтрали обмоток высокого напряжения (ВН) силовых трансформаторов Т1 и Т2 заземлены. Последнее обстоятельство обуславливает уязвимость рассматриваемой ЭЭС к воздействию КПТ.

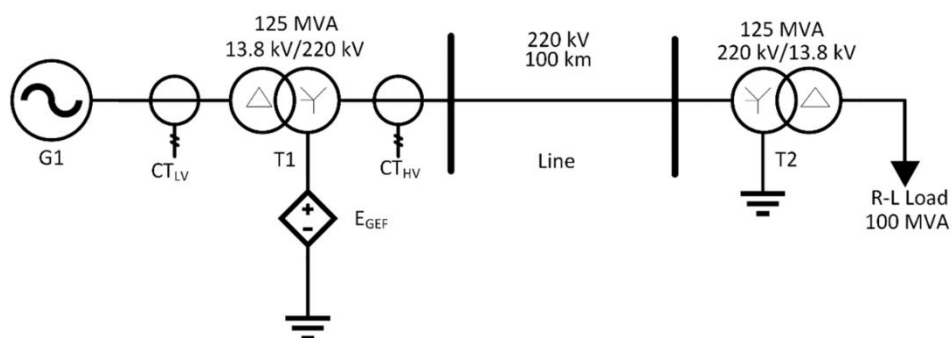


Рис. 1. Тестовая модель фрагмента ЭЭС

Стандартная модель силового трансформатора в программно-аппаратном комплексе RTDS позволяет учитывать режим насыщения за счет моделирования намагничивающей характеристики стали магнитопровода силового трансформатора. Для этого в нейтрали обмотки ВН силового трансформатора Т1 для моделирования протекания КПТ

в электрической сети установлен однофазный источник постоянного напряжения (E_{GEF}). Напряжение источника E_{GEF} определялось исходя из наблюдаемых значений напряженностей геоэлектрического поля при геомагнитных бурях, при моделировании напряженность принята равной 30 В/км.

Задачей эксперимента являлось определение условий срабатывания микропроцессорной релейной защиты силового трансформатора при протекании через обмотки ВН силового трансформатора КПТ. Для этого в тестовой модели с помощью цифрового протокола сигналы с выходов измерительных трансформаторов тока CT_{HV} и CT_{LV} ($TT_{ВН}$ и $TT_{НН}$), установленных на Т1, через усилители передавались на терминал микропроцессорной релейной защиты БЭ2704 производства ООО НПП «ЭКРА», который реализует функции основных и резервных защит, а также функции автоматики для различного энергетического оборудования (включая силовые трансформаторы) напряжением от 110 до 1150 кВ.

Одной из основных защит силовых трансформаторов является продольная дифференциальная токовая защита (ДЗТ), которая должна удовлетворять требованиям быстродействия и надежного срабатывания при внутренних повреждениях и надежного несрабатывания при внешних коротких замыканиях [5].

Предварительно проведенный анализ микропроцессорных терминалов разных производителей микропроцессорных устройств релейной защиты показал, что в логике работы микропроцессорных терминалов релейной защиты силовых трансформаторов предусмотрена блокировка действия продольной дифференциальной токовой защиты силового трансформатора при броске тока намагничивания (БТН) при включении силового трансформатора. Количественным признаком БТН является наличие 2-й гармоники в дифференциальном токе. Поэтому для реализации этого алгоритма в микропроцессорных терминалах используется блокировка по 2-й гармонике тока. Для микропроцессорных устройств релейной защиты значения уставки блокировки от БТН в зависимости от производителя рекомендуется принимать от 10 % до 15 %. Для исследуемого терминала микропроцессорной защиты минимальная уставка блокировки по 2-й гармонике $k_{бл.БТН} = 10 \%$.

Выполненные замеры токов на входе и выходе силового трансформатора через измерительные трансформаторы $TT_{ВН}$ и $TT_{НН}$ приведены на Рис. 2. Так как при воздействии КПТ на Т1 наблюдается переход его в режим насыщения, то происходит также увеличение тока на стороне НН силового трансформатора Т1 и уменьшение тока на стороне ВН.

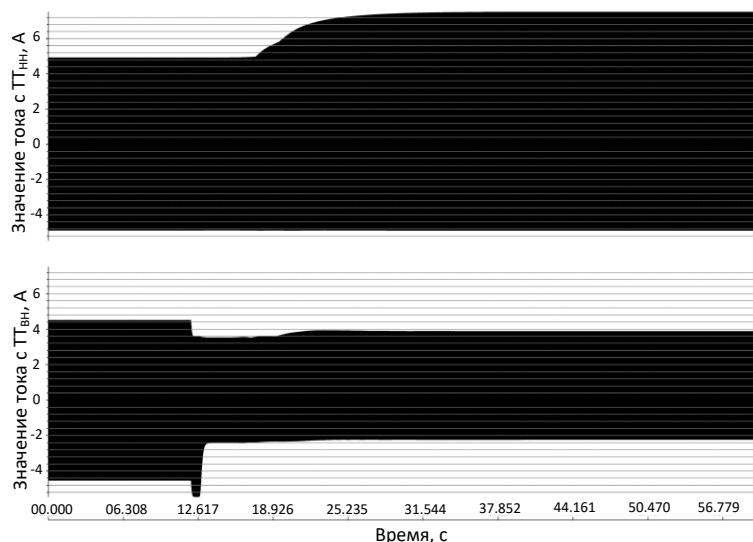


Рис. 2. Мгновенные значения тока с измерительных трансформаторов ТТ_{НН} и ТТ_{ВН} для трансформатора Т1 при воздействии геоэлектрического поля напряженностью 30 В/км

На Рис. 3 приведены полученные результаты замера состояния блокировки ДЗТ при воздействии геоэлектрического поля с напряженностью 30 В/км. Полученные результаты эксперимента позволяют сделать вывод, что действие ДЗТ силового трансформатора Т1 при протекании КПП по заземленным обмоткам ВН блокируется, и поэтому Т1 не может быть отключен для предотвращения его повреждения.

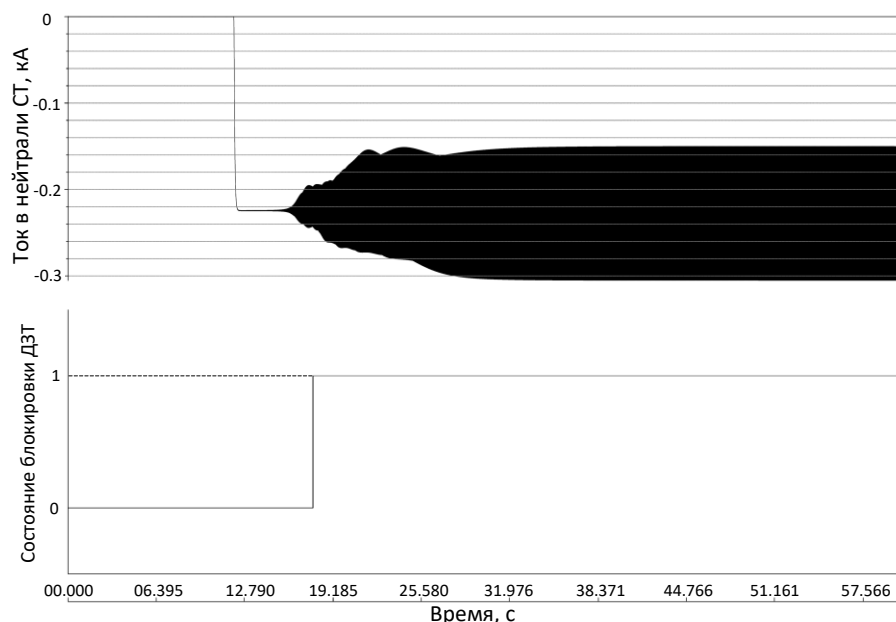


Рис. 3. Состояние блокировки ДЗТ по 2-й гармонике дифференциального тока при воздействии геоэлектрического поля напряженностью 30 В/км

Таким образом, для повышения надежности защиты силовых трансформаторов ЭЭС при воздействии КПП требуется синтез новых

алгоритмов ДЗТ. Реализация нового алгоритма функционирования дифференциальной токовой защиты силового трансформатора, например, в случае идентификации системой мониторинга насыщения магнитной системы при одновременной регистрации протекания КИТ в нейтрали, позволит минимизировать время действия блокировок ДЗТ, и даст возможность защите силового трансформатора сработать, и тем самым повысить устойчивость функционирования ЭЭС и снизить риски повреждения силового трансформатора при воздействии квазипостоянных токов.

Список литературы

1. Wik M., Viljanen A., Pirjola R., Pulkkinen A., Wintoft P., Lundsted H. Calculation of geomagnetically induced currents in 400 kV power grid in southern Sweden // Space weather. 2008. Vol. 6. S07005. doi:10.1029/2007SW000343.

2. Pirjola R. Effect of interaction between stations on the calculation of geomagnetically induced currents in an electric power transmission systems //Earth Planet Space. 2008. №60. P.743-751.

3. Сивоконь В.П., Сероветников А.С., Писарев А.В. Высшие гармоники как индикатор геомагнитно-индуцированных токов // Электро. 2011. № 3. С. 30- 34.

4. Nobuo T., Tetsuo O., Fumihiko M., Sadamu S., Yasuo F. An experimental analysis of DC excitation of transformers by geomagnetically induced currents // IEEE Transaction on Power Delivery. 1994. Vol.9. № 2. P.1173-1179.

5. Киреева Э.А., Цырук С.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. М.: Академия. 2017.

УДК 621.311.4

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНФРАКРАСНОГО КОНТРОЛЯ

¹Величко Владислав Алексеевич, ²Чернова Анастасия Дмитриевна
^{1,2}ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург
¹velchkovladslav@gmail.com

Аннотация: в статье представлена информация о критериях оценки теплового состояния электроустановок электрических станций и подстанций, а также прочего

высоковольтного электрооборудования по результатам инфракрасного контроля. Подробно рассмотрены браковочные нормативы из действующего на территории Российской Федерации документа по тепловизионной диагностике. Приведены замечания к формулам указанного руководящего документа. Рассмотрены зарубежные аналоги систем оценки теплового состояния электрооборудования подстанций. Приведена характеристика и особенности использования каждого из критериев «дельта Т» и «пересчета по значениям из стандартов». Выдвинуты предложения о необходимости усовершенствования существующей нормативной базы в области тепловизионной диагностики, действующей на территории России.

Ключевые слова: инфракрасная диагностика электрооборудования, ИК-контроль, оценка теплового состояния, превышение температуры, избыточная температура, коэффициент дефектности.

PROPOSALS FOR IMPROVING THE CRITERIA SYSTEM FOR ASSESSING THE CONDITION OF ELECTRICAL EQUIPMENT BASED ON THE RESULTS OF INFRARED CONTROL

¹Velichko Vladislav Alexeevich, ²Chernova Anastasia Dmitrievna
^{1,2}FSBEI HE «Orenburg State University», Orenburg, Russian Federation
¹velchkovladslav@gmail.com

Abstract: the article provides information about the criteria assessing criteria of the thermal state of electrical installations of power stations and substations, as well as other high-voltage electrical equipment based on the results of infrared monitoring. The rejection standards from the current on the territory of the Russian Federation document on thermal imaging diagnostics are considered in detail. Remarks are given to the formulas of the said guidance document. Foreign analogues of systems for assessing the thermal state of electrical equipment of substations are considered. The characteristics and features of the use of each of the criteria "Delta-T Temperature Rating System" and "Standards-Based Temperature Rating System" are given. Proposals have been put forward on the need to improve the existing regulatory framework in the field of thermal imaging diagnostics in force in Russia.

Keywords: infrared diagnostics of electrical equipment, IR control, assessment of the thermal state, temperature rise, excess temperature, defectiveness coefficient.

Современную систему оценки состояния электрооборудования подстанций сложно представить без методов диагностики, позволяющих производить диагностирование без вывода электроустановок из работы. Одним из методов неразрушающего контроля, позволяющего снизить затраты на техническое обслуживание электрооборудования за счет прогнозирования сроков и объемов ремонтных работ, является тепловизионная диагностика. Она позволяет производить диагностирование дистанционно – тем самым повышает безопасность проведения работ для оператора тепловизора. По сравнению с другими методами неразрушающего контроля электроустановок подстанций, такими как, например, хроматографический анализ растворенных газов или метод измерения частичных разрядов в изоляции, инфракрасному контролю

(далее ИК-контроль) не требуется больших трудозатрат на проведение диагностики одной единицы электрооборудования. Если в качестве объекта диагностирования рассмотреть силовой трансформатор класса напряжения 110 кВ, то станет очевидно, что эффективнее по времени и дешевле произвести съемку ИК-изображений и их обработку, нежели соблюсти все требования по отбору масла и дождаться завершения исследования проб в лаборатории или же проанализировать в ретроспективе информацию с нескольких дорогостоящих датчиков, которые установлены далеко не на всех единицах этого типа оборудования. К достоинству ИК-контроля электрооборудования подстанций относится его универсальность – диагностирование можно произвести для широкого спектра объектов электроэнергетики: как для маслонаполненного, так и сухого электрооборудования, а также токоведущих частей и контактных соединений. Безусловно, у ИК-контроля есть ряд недостатков, связанных с влиянием факторов окружающей среды на результаты исследования, а также затраты времени на проведение обработки термограмм.

В качестве нормативной базы для ИК-контроля электроустановок на территории Российской Федерации используется документ РД 153-34.0-20.363-99 «Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ» [1] (далее РД) – введен в действие 1 июня 2000 года. Наибольший интерес с точки зрения анализа методов оценивания состояния электрооборудования вызывает раздел №4 РД «Нормы оценки теплового состояния электрооборудования». В нем приведена система критериев оценивания теплового состояния контактов и болтовых контактных соединений. В качестве основных браковочных нормативов для оценки теплового состояния электрооборудования и токоведущих частей предлагается использовать: нормированные значения температуры нагрева (превышения температуры), избыточную температуру и коэффициент дефектности. Рассмотрим подробнее систему критериев из РД 153-34.0-20.363-99.

1) Превышение температуры – разность между измеренной температурой нагрева и значением температуры окружающего воздуха.

Критерий применяется при токе $(0,6 - 1,0) \cdot I_{\text{НОМ}}$:

$$\frac{\Delta T_{\text{НОМ}}}{\Delta T_{\text{раб}}} = \left[\frac{I_{\text{НОМ}}}{I_{\text{раб}}} \right]^2, \quad (1)$$

где $\Delta T_{\text{НОМ}}$ – нормированное значение превышения температуры при номинальной нагрузке $I_{\text{НОМ}}$ (определяется по справочной таблице);

$\Delta T_{\text{раб}}$ – значение превышения температуры при измерении при токе $I_{\text{раб}}$.

2) Избыточная температура – превышение измеренной температуры контролируемого узла одной фазы над температурой аналогичных узлов других фаз (с наименьшей температурой нагрева) или заведомо исправного узла.

Критерий применяется при токе $(0,3 - 0,6) \cdot I_{\text{НОМ}}$:

$$\frac{\Delta T_{0,5}}{\Delta T_{\text{раб}}} = \left[\frac{0,5 \cdot I_{\text{НОМ}}}{I_{\text{раб}}} \right]^2, \quad (2)$$

где $\Delta T_{0,5}$ – избыточная температура при токе нагрузки $0,5 \cdot I_{\text{НОМ}}$ (предельное значение 30°C , классификация дефекта по справочной таблице); $\Delta T_{\text{раб}}$ – избыточная температура при токе нагрузки, отличном от $0,5 \cdot I_{\text{НОМ}}$.

3) Коэффициент дефектности (далее КД) – отношение измеренного значения превышения температуры нагрева контактного соединения к значению превышения температуры, измеренной на целом участке шины (провода), отстоящем от контактного соединения на расстоянии не менее 1 метра.

При оценке теплового состояния контактных соединений по КД различают следующие степени неисправности:

КД < 1,2: начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем;

КД = 1,2 – 1,5: развившийся дефект. Принять меры к устранению неисправности при ближайшем выводе электрооборудования из работы;

КД > 1,5: аварийный дефект. Требуется немедленного устранения.

В процессе практического использования РД [1] при обследовании электрооборудования подстанций и линий электропередачи специалистами Филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – НСПБ электросетьсервиса, г. Новосибирск был обнаружен ряд замечаний, которые впоследствии были отражены в статье [2]. В данном источнике приводятся замечания по формулам для критерия превышения температуры (1) и избыточной температуры (2). Авторы статьи [2] опираются на результаты исследований зарубежных ученых и собственные данные по итогам стендовых испытаний. По мнению Р.С. Арбузова и А.Г. Овсянникова, несмотря на линейность вольт-амперной характеристики контактных соединений, потери мощности на нагрев не пропорциональны квадрату тока, протекающему по диагностируемому элементу. В формулах (1) и (2) необходимо учитывать потери тепла на излучение и конвекцию. Авторы статьи [2] предлагают избавиться от квадратичной зависимости в выражениях (1) и (2) и свести ее к линейной.

Для того чтобы воспользоваться классификацией дефекта по таблицам РД, предварительно необходимо произвести пересчет значения температуры по формулам в зависимости от нагрузки. При этом следует воспользоваться сначала таблицей 4-1 для выбора соответствующего превышения температуры, а затем таблицей 4-2 или 4-3 для классификации дефекта [1]. Для удобства представления таблицы 4-2 и 4-3 сведены в одну (табл. 1).

Таблица 1

Сводные браковочные нормативы для классификации дефекта по превышению температуры и избыточной температуре из РД [1]

Наименование методики	Значения избыточной температуры, °С, при токе нагрузки $0,5 \cdot I_{ном}$	Значение превышения температуры, °С, при номинальной нагрузке	Рекомендация
РД 153-34.0-20.363-99	5-10	10-20	Начальная степень развития дефекта, которую следует держать под контролем
	10-30	20-40	Развившийся дефект, учащенный контроль 1 раз в месяц. Устранение дефекта при первой необходимости
	>30	> 40	Аварийный дефект. Требуется немедленного устранения

Коэффициент дефектности позволяет без использования таблиц РД классифицировать дефект путем расчета отношения превышений температур и сравнения полученного значения с соответствующими диапазонами.

При классификации дефекта по РД в любом случае придется пользоваться расчетными формулами.

На практике при ИК-контроле электроустановок бывает не всегда удобно обращаться к таблицам и формулам пересчета для выяснения наличия или отсутствия дефекта.

В зарубежной практике свою эффективность доказали две системы оценки теплового состояния элементов электроустановок: критерий «дельта Т» и критерий «пересчета по значениям из стандартов».

В течение многих лет специалисты по ИК-контролю зарубежом использовали критерий «дельта Т» для оценки степени перегрева компонентов электрооборудования. Для классификации дефекта по

данному критерию необходимо использовать таблицу, состоящую из четырех категорий развития дефекта, каждая из которых указывает на приоритет ремонта: чем выше превышение температуры над температурой окружающей среды или аналогичным компонентом электроустановки (другой фазой), тем выше вероятность выхода диагностируемого компонента из строя. Существует большое количество подобных таблиц-рейтингов, которые используются в различных областях, помимо энергетики.

Таблицы для критерия «дельта Т» хорошо зарекомендовали себя при использовании в полевых условиях. Они позволяют быстро без расчетов определять степень развития дефекта. Классификация происходит путем сравнения измеренной температуры объекта и диапазонов в таблицах (табл. 2). Таблицы для критерия «дельта Т» действительно указывают на некоторую степень развития дефекта, которая позволяет определить приоритет ремонта того или иного узла.

Таблица 2

Рейтинг температурных критериев «дельта Т» для определения приоритета планирования технического обслуживания на основе величины превышения температуры компонента относительно температуры окружающей среды (для высоковольтного электрооборудования) [3]

Наименование стандарта	Разность температур (ΔT) ($^{\circ}\text{C}$)		Действия, которые необходимо предпринять
	Под эквивалентной нагрузкой, аналогичные узлы разных фаз	ΔT превышение над температурой окружающей среды ($^{\circ}\text{C}$)	
NETA Maintenance Testing Specifications, for electrical equipment	1-3	1-10	Возможно наличие дефекта, требуется дальнейшее наблюдение
	4-15	11-20	Указывает на наличие дефекта, который требуется устранить как можно скорее
	–	21-40	Требуется непрерывный контроль до начала устранения дефекта
	>15	>40	Существует значительный дисбаланс, который необходимо устранить немедленно

Слабой стороной критерия «дельта Т» является разнообразие температурных классификаций, ни одна из которых не соответствует

признанным на национальном уровне стандартам для электрооборудования [3]. Невозможность проверки на соответствие требованиям национальных стандартов поставило под сомнение эффективность использования данного критерия в строго регламентированных отраслях, таких как, например, атомная энергетика. Другим существенным недостатком критерия «дельта Т» является то, что он не учитывает фактическую нагрузку и температуру окружающей среды вокруг оборудования во время ИК-контроля. Например, перегреваемую кабелю под нагрузкой 70 % от номинальной может быть присвоен такой же рейтинг развития дефекта, что и дефектному кабелю аналогичной марки, находящемуся под нагрузкой 10 %. Очевидно, что второй кабель при увеличении нагрузки выйдет из строя с большей вероятностью и ему потребуется более срочный ремонт.

Различия в нагрузке и условия окружающей среды должны быть учтены для получения точных результатов диагностики и определения приоритета ремонта. Тем не менее, как быстрый и неточный метод оценки состояния электроустановки критерий «дельта Т» может быть использован.

В Соединенных Штатах существует более 26 организаций, которые публикуют температурные стандарты для электрооборудования. Наиболее известными и авторитетными организациями являются: ANSI, IEEE и NEMA. Стандарты, опубликованные этими организациями для различного электрооборудования, содержат данные о значениях температуры, которые включают: стандартную температуру окружающей среды, максимально допустимое превышение температуры выше температуры окружающей среды и суммарную допустимую температуру, которая представляет собой сумму температуры окружающей среды и максимально допустимого превышения температуры.

Критерий «пересчета по значениям из стандартов» опирается на значения температуры окружающей среды и суммарную допустимую температуру, приведенную в индивидуальном стандарте на каждый тип электрооборудования.

Ключевая особенность критерия «пересчета по значениям из стандартов» заключается в том, что в основном все температурные стандарты содержат стандартную температуру окружающей среды и предполагают, что элемент электрической цепи находится под нагрузкой равной 100%. Однако электрооборудование часто работает при температуре окружающей среды отличной от стандартной, а также оно редко работает при 100% от номинальной нагрузки. Таким образом, для того чтобы критерий «пересчета по значениям из стандартов» имел

практическую значимость, необходимо скорректировать значение максимально допустимого превышения температуры в зависимости от установившейся в данный момент времени температуры окружающей среды и значения отклонения нагрузки от номинальной в соответствии со стандартом. Формулу определения значения суммарной допустимой температуры, скорректированной с учетом текущего значения токовой нагрузки и установившегося значения окружающей среды, можно записать следующим образом [5]:

$$T_{\text{сдж}} = (T_{\text{сд}} - T_{\text{ст}}) \cdot \left(\frac{I_{\text{и}}}{I_{\text{н}}} \right)^n + T_{\text{ио}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{сдж}}$ – суммарная допустимая температура элемента электроустановки, скорректированная с учетом текущего значения токовой нагрузки и температуры окружающей среды, °С; $T_{\text{сд}}$ – суммарная допустимая температура элемента электроустановки по стандарту, °С; $T_{\text{ст}}$ – стандартная температура окружающей среды, °С; $I_{\text{и}}$ – измеренное значение токовой нагрузки, А; $I_{\text{н}}$ – номинальная токовая нагрузка по стандарту, А; n – коэффициент, может изменяться в пределах от 1,6 до 2,0; $T_{\text{ио}}$ – измеренное значение температуры окружающей среды, °С.

Рассмотрим процесс использования формулы пересчета температуры по критерию «пересчета по значениям из стандартов». Сначала необходимо выбрать стандарт, применимый к электрооборудованию, которое подлежит диагностированию. Из стандарта следует использовать номинальную токовую нагрузку, стандартную температуру окружающей среды, а также суммарную допустимую температуру элемента электроустановки по стандарту. Затем необходимо измерить фактическую температуру окружающего воздуха и токовую нагрузку диагностируемого элемента электрической цепи. Подставив все эти значения в формулу (3) и произведя расчет, можно получить скорректированную суммарную допустимую температуру элемента электроустановки $T_{\text{сдж}}$. Это число является скорректированной в меньшую сторону максимально допустимой температурой для данного элемента электрооборудования. Далее специалист по ИК-контролю сравнивает измеренную температуру диагностируемой части электроустановки со скорректированной суммарной допустимой температурой $T_{\text{сдж}}$. Если измеренная температура превышает $T_{\text{сдж}}$, значит, температура электрооборудования превышает указанную в спецификации. В противном случае температура электрооборудования находится в допустимых пределах, зафиксированных в стандарте.

Несмотря на то, что формулы (1), (2) и (3) могут показаться громоздкими, их достаточно легко автоматизировать на компьютере [4]. Специалисту по ИК-контролю останется лишь вводить корректные параметры в программу. Разумеется, оператор тепловизора должен уметь точно измерить температуру исследуемой части электрооборудования, чтобы свести к минимуму погрешность при пересчете.

В результате анализа приведенных выше критериев из различных стандартов были сделаны следующие обобщающие заключения:

1) к критериям из РД есть ряд замечаний – представители сетевых организаций предложили избавиться от квадратичной зависимости температуры от тока и свести ее к линейному выражению;

2) зарубежные стандарты предъявляют более жесткие требования к максимальной температуре нагрева токоведущих частей;

3) подход к корректировке значения температуры при нагрузке, отличной от номинальной, отличается в отечественном РД и в зарубежных стандартах.

Таким образом, необходимо скорректировать критерии РД с учетом замечаний и произвести сравнение эффективности формул пересчета из отечественного стандарта с зарубежной формулой по критерию «пересчета по значениям из стандартов».

Список литературы

1. РД 153-34.0-20.363-99 Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ [Электронный ресурс]. С. 104–108. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817264.htm> – дата обращения: 01.05.2023.

2. Арбузов, Р. С. Нормы тепловизионного контроля электрооборудования. Предложения по корректировке / Р. С. Арбузов, А. Г. Овсянников // Новости электротехники, журнал №6(48), 2008. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://news.elteh.ru/arh/2008/48/10.php> – дата обращения: 01.05.2023.

3. Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment 2022 Edition // Infrasppection Institute: 425 Ellis Street, Burlington, NJ 08016. Pp. 11–14.

4. Jadin, M. S. Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography / M. S. Jadin, S. Taib // Infrared Physics & Technology, 55(4), pp. 236–245. doi: 10.1016/j.infrared.2012.03.002

5. Marek Fidali, Thermographic Criteria of Evaluation of Technical Condition of Machinery and Equipment / F. Marek // Measurement Automation

Monitoring, Jun. 2015, vol. 61, no. 06, pp. 245–248: Silesian University of Technology, Department of Fundamentals of Machinery Design – Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice.

УДК 621.316.761.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРЕБЕНЧАТОЙ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНОГО ЭЛЕМЕНТА

¹Володкин Руслан Игоревич, ²Кулешова Галина Сергеевна,
³Михеев Дмитрий Владимирович
^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
г. Москва
¹VolodkinRI@mpei.ru, ²AlexeenkovaGS@mpei.ru, ³MikheevDV@mpei.ru

Аннотация: перспективным направлением при реализации фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) является применение индуктивно-емкостных элементов (катконов), что позволяет улучшить массогабаритные и стоимостные показатели ФКУ по сравнению с традиционными аналогами. Одним из схемных решений построения ФКУ на базе катконов является гребенчатая фильтрокомпенсирующая установка, позволяющая осуществлять компенсацию реактивной мощности и фильтрацию нескольких гармонических составляющих напряжения. В работе представлены результаты моделирования установившихся режимов работы электрической сети напряжением 10 кВ, содержащей нелинейную нагрузку и гребенчатое ФКУ на основе каткона, в среде динамического моделирования «SimInTech».

Ключевые слова: качество электрической энергии, фильтрация высших гармоник, фильтрокомпенсирующее устройство, гребенчатая фильтрокомпенсирующая установка, индуктивно-емкостной элемент, катушка-конденсатор, каткон, SimInTech.

SIMULATION OF A COMB FILTER COMPENSATING DEVICE BASED ON AN INDUCTIVE-CAPACITIVE ELEMENT

¹Volodkin Ruslan Igorevich, ²Kuleshova Galina Sergeevna, ³Mikheev Dmitry Vladimirovich
^{1,2,3}National Research University «MPEI», Moscow, Russia
¹VolodkinRI@mpei.ru, ²AlexeenkovaGS@mpei.ru, ³MikheevDV@mpei.ru

Abstract: a promising direction in the implementation of filter-compensating devices (FCD) is the use of inductive-capacitive elements (coilcap), which makes it possible to improve the weight, size and cost of FCD compared to traditional counterparts. One of the circuit solutions for constructing a FCD based on katkons is a comb filter-compensating installation, which allows for reactive power compensation and filtering of several harmonic voltage components. The paper presents the results of modeling steady-state operation of a 10 kV electrical network containing a non-linear load and a coilcap-based comb FCD in the «SimInTech» dynamic simulation environment.

Keywords: power quality, filtering of higher harmonics, filter compensating device, comb filter compensating device, inductive-capacitive element, coil-capacitor, coilcap, «SimInTech».

Наличие высших гармонических составляющих токов и напряжений является одним из факторов, который ухудшает показатели качества электроэнергии в системах электроснабжения (СЭС) потребителей. Это обуславливает актуальность проблемы компенсации высших гармоник (ВГ) в СЭС [1]. Основным техническим мероприятием, проводимым для компенсации ВГ в распределительных электрических сетях (ЭС) и СЭС потребителей, является установка фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) [2]. Перспективным направлением при решении задачи фильтрации ВГ токов и напряжений является реализация ФКУ на базе индуктивно-емкостного элемента (каткона), который объединяет функции реактора и конденсатора в едином электротехническом объекте, что позволяет снизить массогабаритные и стоимостные показатели ФКУ на 10-20 % по сравнению с традиционными пассивными ФКУ [3].

Каткон конструктивно представляет собой секцию, образованную проводниками из фольги 1 и 2 длиной l , изолированными слоями диэлектрика D (рис. 1а). Источник синусоидального напряжения $u_{вх}$ подключают к началу первого проводника H_1 и к концу второго проводника K_2 , что обеспечивает наличие одновременно двух рабочих параметров у каткона – индуктивности и емкости [3]. При построении одночастотных однофазных пассивных ФКУ на базе катконов две идентичные секции катконов размещают на П-образных участках магнитопровода (М) с регулируемыми немагнитными зазорами (НЗ), при этом секции соединяют между собой и дополнительными катушками коррекции (К) последовательно согласно и оставляют выходные выводы разомкнутыми, а входные выводы подключают к компенсируемой ЭС, как показано на рис. 1б [4]. Такое конструктивное исполнение позволяет эффективно управлять распределением магнитных потоков, изменять значение эквивалентной индуктивности ФКУ, обеспечивать резонанс напряжений на заданных частотах и реализовывать функциональные схемы для решения различных инженерных задач [5].

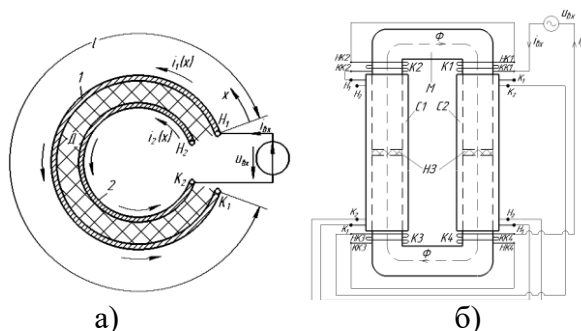


Рис.1. Секция индуктивно-емкостного элемента (один виток, вид сверху, выходные выводы разомкнуты) (а), функциональная схема одночастотной двухсекционной модели пассивного ФКУ на базе катконов (б)

Одним из схемных решений при построении пассивных ФКУ на базе катконов является гребенчатая фильтрокомпенсирующая установка (ГФКУ), которая позволяет осуществлять одновременно компенсацию реактивной мощности (КРМ) на промышленной частоте и фильтрацию нескольких высших гармонических составляющих напряжения. ГФКУ образована параллельным подключением нескольких ФКУ на основе катконов (рис. 1б) с идентичными параметрами обмоток и магнитопроводов [6]. На рис. 2 представлена принципиальная схема ГФКУ на фазу, состоящая из четырех одночастотных ФКУ на основе катконов с магнитопроводом. Секции катконов С1 – С8 идентичны, выполнены в соответствии с рис. 1а, содержат проводники в виде алюминиевой фольги 1 и 2 (секции С1, С3, С5 и С7), 3 и 4 (секции С2, С4, С6 и С8), которые соединены последовательно согласно и изолированы между собой диэлектриком Д. При этом значения емкости и активного сопротивления для каждого ФКУ одинаковые, а значение индуктивности определяется длиной немагнитных зазоров магнитопровода и числом витков катушек коррекции. Таким образом, настройка параметров каждого ФКУ из ГФКУ в резонанс напряжений на заданной частоте обеспечивается за счет изменения эквивалентной индуктивности ФКУ посредством изменения длины немагнитного зазора и числа витков катушек коррекции. Преимуществом ГФКУ является унификация параметров обмоток ФКУ, что позволяет упростить технологию их изготовления.

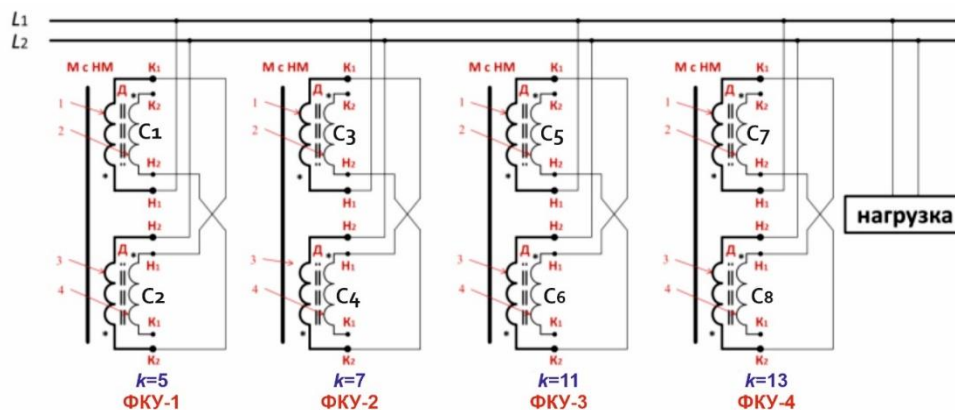


Рис. 2. Принципиальная схема ГФКУ на фазу на основе катконов

Отметим, что для математического описания при решении инженерных задач ФКУ на базе каткона может быть представлено схемой замещения с эквивалентными сосредоточенными параметрами, синтезированной относительно выходных выводов (выходные выводы разомкнуты), изображенной на рис. 3, которая идентична схеме замещения традиционного узкополосного дискретного пассивного ФКУ.

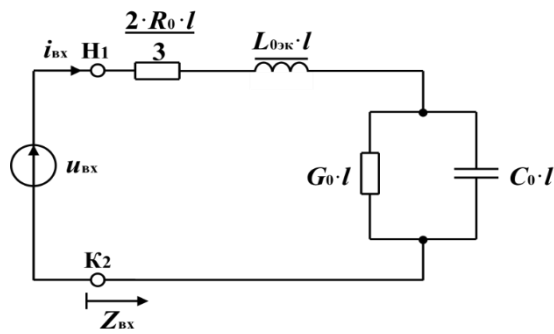


Рис. 3. Синтезированная относительно выводов Н₁ и К₂ схема замещения ФКУ на базе каткона с эквивалентными сосредоточенными параметрами

Моделирование установившихся режимов работы ГФКУ с ЭС напряжением 10 кВ, содержащей нелинейную нагрузку реализовано в среде динамического моделирования «SimInTech» для одной фазы в силу симметрии рассматриваемых режимов. На рис. 4 представлена компьютерная модель ЭС после подключения ГФКУ. Электрическая сеть моделируется синусоидальным источником напряжения со следующими параметрами на фазу: $U_m=8165$, В, и внутренним сопротивлением $Z_c=0,2+j2\pi fL_c$, Ом, $L_c=10$ мГн. Нелинейная нагрузка представляет собой мощный электропривод с трехфазным мостовым тиристорным преобразователем, в спектре генерируемых в ЭС гармоник которого преобладают гармоники 5-го, 7-го, 11-го и 13-го порядков. При моделировании нелинейная нагрузка представлена соответствующей схемой замещения, параметры которой приведены в табл. 1 на фазу. Для КРМ и фильтрации ВГ параллельно нелинейной нагрузке подключается ГФКУ из четырех ФКУ на основе катконов с параметрами, приведенными в табл. 2. Результаты моделирования установившихся режимов до и после подключения ГФКУ к ЭС представлены на рис. 5 и в табл. 3.

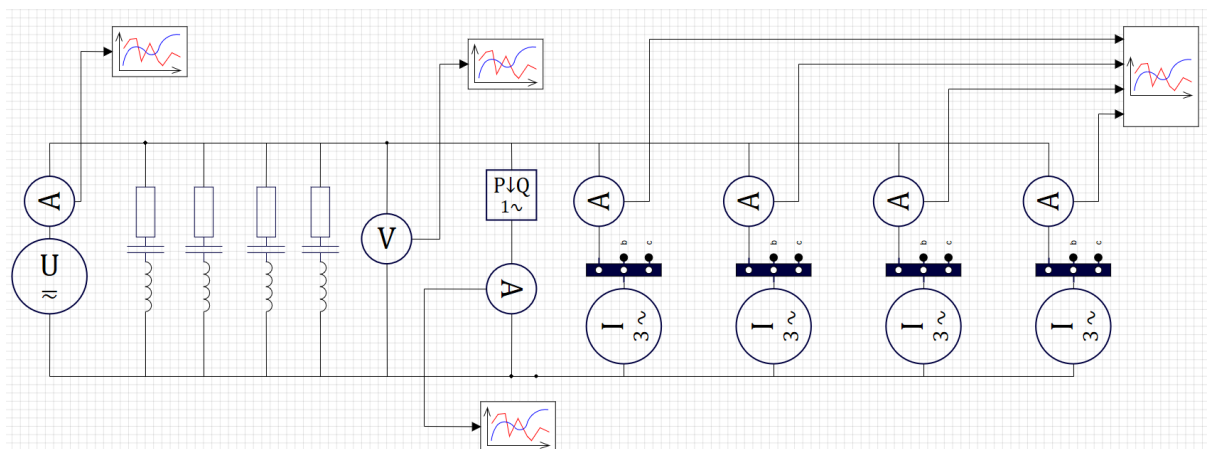


Рис. 4. Компьютерная модель в SimInTech для анализа установившихся режимов работы ГФКУ в ЭС с нелинейной нагрузкой в однофазном исполнении

Таблица 1

Параметры схемы замещения нелинейной нагрузки

Параметр	Значение параметра			
	Порядок высшей гармоники k	5	7	11
Сопротивление нагрузки $R_{\text{нагр}}$, Ом	23,8			
Индуктивность нагрузки $L_{\text{нагр}}$, мГн	117			
Частота тока k -ой гармоники f_k , Гц	250	350	550	650
Действующее значение тока k -ой гармоники I_k , А	39	39	23,4	16,7

Таблица 2

Параметры ФКУ на основе катконов в составе ГФКУ

Порядок ВГ	$R_{\text{ФКУ}}$, Ом	$C_{\text{ФКУ}}$, мкФ	$L_{\text{ФКУ}}$, мГн
5	1	8	51
7	1	8	25
11	1	8	10
13	1	8	7

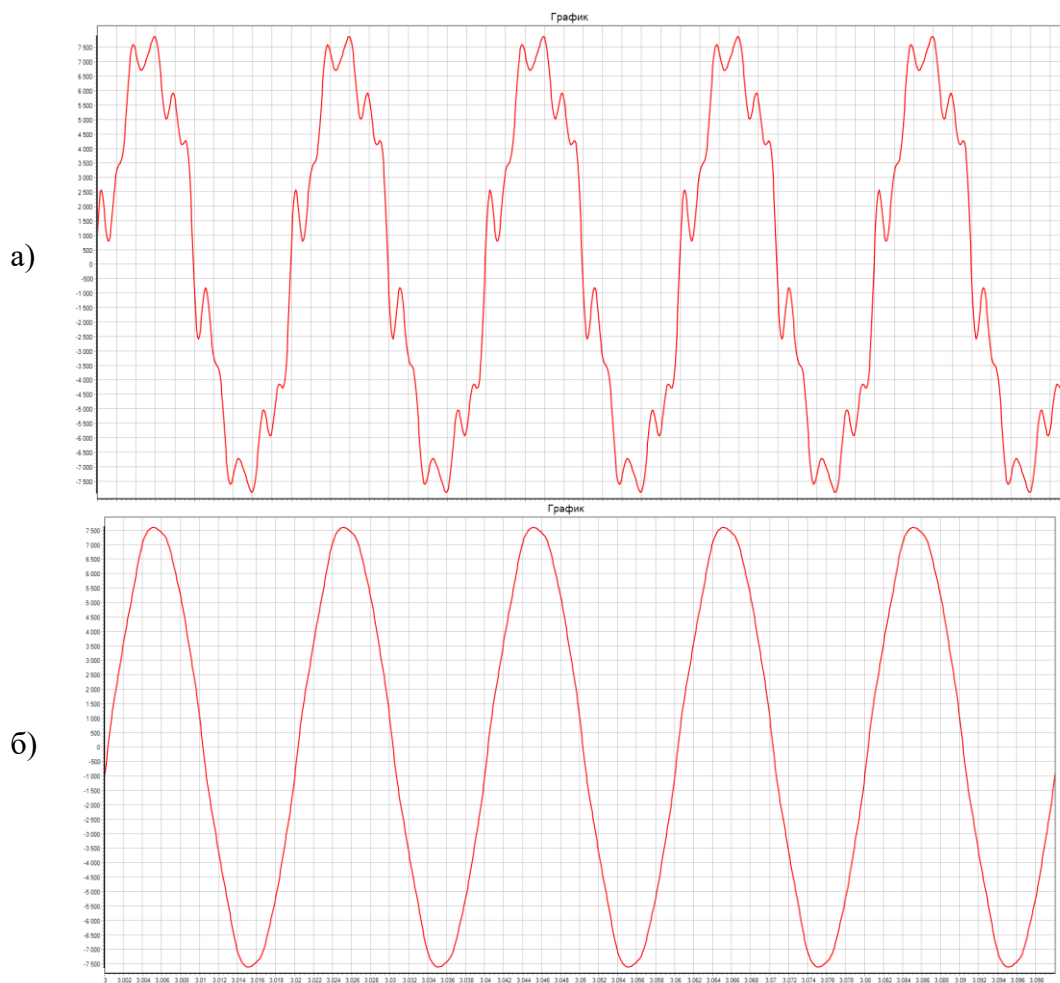


Рис.5. Осциллограммы напряжения в ЭС: а) до подключения ГФКУ, б) после подключения ГФКУ

Результаты моделирования установившихся режимов ГФКУ в ЭС

Параметр	До подключения ГФКУ	После подключения ГФКУ
Коэффициент мощности на основной частоте, $\cos\varphi_{(1)}$	0,84	0,93
Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, K_U , %	17,8	1,9
Суммарный коэффициент нелинейных искажений тока в ветви ЭС, TND , %	16,62	2,14

Рассмотренная в работе ГФКУ выполняет те же функции, что и группа традиционных узкополосных пассивных ФКУ, но основывается на другом физическом принципе и обладает улучшенными технико-экономическими показателями по сравнению с классическими пассивными ФКУ за счет применения индуктивно-емкостных элементов, выполняющих одновременно функции реакторов и конденсаторов. Унификация параметров обмоток секций позволяет упростить расчет конструкционных и электромагнитных параметров ФКУ на базе катконов и настройки под заданный режим, так как требуемое значение эквивалентной индуктивности ГФКУ и настройку в режим резонанса можно обеспечить путем регулирования длины немагнитного зазора магнитопровода и числа витков катушек коррекции, не меняя при этом конструктивного исполнения ФКУ.

Список литературы

1. Булычева, Е.А., Кулешова, Г.С., Янченко, С.А. Идентификация высших гармоник в реальном времени в электрических сетях с переменным режимом работы // Промышленная энергетика. 2020. № 10. С. 28-38.
2. Синтез фильтрокомпенсирующих устройств для систем электропитания: коллективная монография / Н. П. Боярская, В. П. Довгун, Д. Э. Егоров и др.; под ред. В. П. Довгуна. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 192 с.
3. Михеев, Д.В., Кулешова, Г.С. Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование фильтрокомпенсирующего устройства на основе гибридного индуктивно-емкостного элемента // Промышленная энергетика. – 2020. – № 12. – С. 9 – 16.
4. Патент 2714925 Российская Федерация, МПК H02J 3/01 (2006.01). Фильтрокомпенсирующее устройство // Бутырин П.А., Гусев Г.Г.,

Карпунина М.В., Кваснюк А.А., Михеев Д.В., Шакирзянов Ф.Н., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». № 2019128529; заявл. 11.09.2019; опубл. 21.02.2020. Бюл. №6.

5. Кулешова Г.С., Михеев Д.В. Моделирование режимов работы ФКУ на основе гибридного индуктивно-емкостного элемента при изменении параметров электрической сети // Фёдоровские чтения – 2021: LI Междунар. науч.-практ. конф. с элементами научной школы (Москва, 17-19 ноября 2021 г.) / под общ. ред. Ю.В. Матюниной. М.: Издательский дом МЭИ, 2021. С. 198-204.

6. Патент 2690689 Российская Федерация, МПК H02J 3/01 (2006.01). Фильтрокомпенсирующая установка // Бутырин П.А., Гусев Г.Г., Кваснюк А.А., Михеев Д.В., Шакирзянов Ф.Н., заявитель ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». № 2018141885; заявл. 28.11.2018, опубл. 05.06.2019, Бюл. № 16.

УДК 621.311.42

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ТРАНСФОРМАТОРА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

¹Галяутдинова Алсу Ренатовна, ²Ившин Игорь Владимирович
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹Alsu296@yandex.ru, ²ivshini@mail.ru

Аннотация: в статье рассматривается анализ параметров силового маслонаполненного трансформатора распределительных сетей, полученных из системы мониторинга. Для обработки данных применяется метод искусственного интеллекта, язык программирования Python.

Ключевые слова: силовой трансформатор, обработка данных, визуализация, параметры, система мониторинга, анализ данных.

ANALYSIS OF PARAMETERS OF POWER OIL FILLED TRANSFORMERS OF DISTRIBUTION NETWORKS TO ASSESS ITS TECHNICAL CONDITION

¹ Galyautdinova Alsu Renatovna, ² Ivshin Igor Vladimirovich
^{1,2}FSBEI HE KSPEU, Kazan
¹Alsu296@yandex.ru, ²ivshini@mail.ru

Abstract: the article deals with the analysis of the parameters of the power oil-filled transformer of distribution networks obtained from the monitoring system. For data processing, the artificial intelligence method, the Python programming language, is used.

Keywords: power transformer, data processing, visualization, parameters, monitoring system, data analysis.

Силовые трансформаторы – одни из наиболее важных и дорогостоящих элементов в электроэнергетической системе, к которым предъявляют повышенные требования по надежности – поддержание эксплуатационной надежности и предотвращение аварийных отключений. Техническое состояние силового трансформатора определяет его способность выполнять заданные функции в требуемых условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортировки. Эффективная эксплуатация объектов электроэнергетической системы базируется на эффективной диагностике, в первую очередь, трансформаторного оборудования.

Исходный набор диагностических данных для оценки технического состояния силового маслонаполненного трансформатора включает в себя большое количество параметров. Для трансформатора марки ТМН-6300 35/6(10) кВ включает:

- результаты хроматографического анализа масла;
- разрядная активность;
- влагосодержание масла;
- вибрация бака;
- температура масла в баке;
- температура контактных соединений вводов;
- срок службы[1].

А также учитываются его нагрузочные характеристики и температурные условия внешней среды.

Современные методы эффективной диагностики не ограничиваются: выбором комплекса диагностируемых параметров оборудования, качественным их измерением, не выводом оборудования из эксплуатации, и правильной интерпретацией полученных результатов. Благодаря цифровой трансформации электроэнергетической отрасли эти задачи получили значительное расширение. Сегодня в электроэнергетике активно развиваются и внедряются цифровые технологии. Информационно-измерительная база на основе современных измерительных комплексов, обеспечивает сбор, обработку и хранение информации с различных контрольно-измерительных приборов и систем мониторинга отдельных параметров в режиме реального времени.

Система мониторинга устанавливается на силовом трансформаторе. Система состоит из контрольно-измерительных приборов и датчиков (газоанализатор Intellix GLA 100, система мониторинга TDM-10, датчики температуры RF-Sens, WDM-T, датчики вибрации ИВД-3Ц-3, программируемый логический контроллер Wiren board 6), которые в режиме реального времени регистрируют параметры и передают на

верхний уровень – web-сервер [2]. На основе данных о техническом состоянии силового трансформатора формируется база данных, которая требует дальнейшей обработки и анализа.

Увеличение объема анализируемой информации о состоянии силового трансформатора ведет к значительным изменениям при выборе методов обработки данных, а также требует не только автоматизации процессов обработки и анализа данных, но и использование искусственного интеллекта[3]. Для работы с данными применяется машинное обучение и язык программирования Python, который широко используется в интернет-приложениях, разработке программного обеспечения, науке о данных. На рис. 1,2 описаны распределения параметров силового трансформатора.

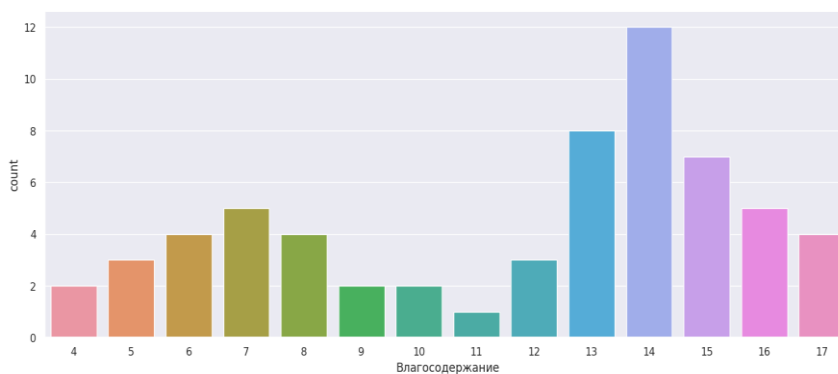


Рис. 1. Распределение влагосодержания в течение 17 дней

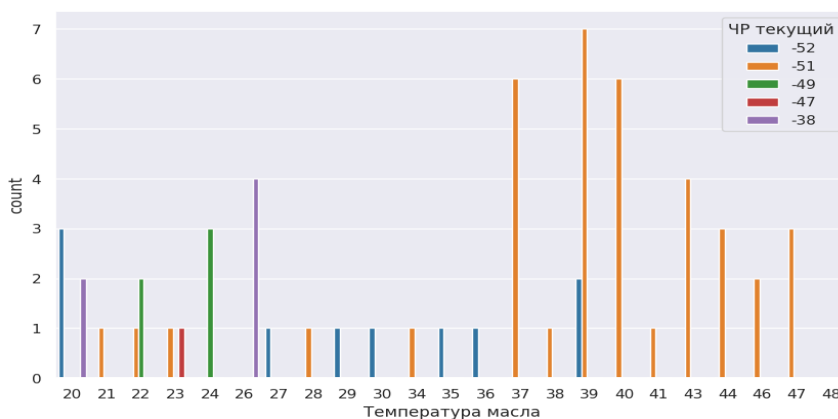


Рис. 2. Зависимость уровня частичных разрядов от температуры масла в баке

На рис. 3 представлена матрица коэффициентов корреляции Спирмена[4]. Коэффициент корреляции находится в диапазоне от -1 до +1. При положительной корреляции повышение значения одного показателя влечет за собой повышение значения второго. При отрицательной корреляции повышение значения одного показателя способствует уменьшению значения другого. Чем больше модуль коэффициента

корреляции, тем изменение одного показателя заметнее отражается на изменении второго. При коэффициенте корреляции равном 0 зависимость между ними отсутствует полностью. Например, с увеличением температуры окружающей среды увеличиваются два параметра – температура и влагосодержание масла; а при понижении температуры окружающей среды повышается относительная влажность воздуха.



Рис. 3. Матрица коэффициентов корреляции

Таким образом, использование методов искусственного интеллекта позволяет корректно и точно интерпретировать исходные данные силового маслонаполненного трансформатора[5]. Данные, получаемые в ходе мониторинга параметров, позволяют определить долгосрочные перспективы функционирования силового трансформатора в горизонте по годам и месяцам. Комплексная оценка параметров силового трансформатора позволяет оценить его техническое состояние в режиме эксплуатации.

Список литературы

1. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Интеллектуальная система оценки технического состояния трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24, № 2. С. 24–34.
2. Galyautdinova A.R., Ivshin I.V. Software and algorithmic support for online assessment of transformer substation technical condition 35/6(10) kV //

Proceedings of the 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2023, 2023.

3. Хальясмаа А.И. Машинное обучение как инструмент повышения эффективности управления жизненным циклом высоковольтного электрооборудования. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 5. С. 1093–1104.

4. Khalyasmaa A., Matrenin P., Eroshenko S. Averaged Errors as a Risk Factor for Intelligent Forecasting Systems Operation in the Power Industry // Proceedings of the 2021 Ural-Siberian Smart Energy Conference, USSEC 2021. P. 192-196.

5. Eroshenko, S.A., Khalyasmaa, A.I. The impact of data filtration on the accuracy of multiple time-domain forecasting for photovoltaic power plants generation // Applied Sciences (Switzerland), 10(22), art. no. 8265, 2020. pp. 1-22.

УДК 621.311.014.3

МНОГОМЕРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ УДЕЛЬНЫХ ДИСКОНТИРОВАННЫХ ЗАТРАТ

Геркусов Алексей Анатольевич
Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.М. Туполева (КНИТУ-КАИ)
Gerkusov_Alex@mail.ru

Аннотация: актуальность настоящей работы обусловлена тем, что суммарные дисконтированные затраты, являясь важнейшим динамическим критерием выбора оптимального варианта инвестиционного проекта не определяет реальных затрат производства единицы продукции и не могут служить критерием для сопоставления вариантов с различными производительностями или с различным сроком расчётного периода, что в условиях конкурентного рынка электроэнергии увеличивает ценовые риски и препятствует оптимальному выбору поставщика электроэнергии. Кроме того минимизация целевой функции по какому-либо одному параметру, как правило, не приводит к отысканию даже её локального минимума. Поэтому в настоящей работе рассмотрена альтернативная экономико-математическая модель линии электропередачи, построенная на основе удельных дисконтированных затрат и дисконтированного переданного объёма электроэнергии на сооружение и эксплуатацию ЛЭП-110-220 кВ с учётом нагрузочных потерь, потерь на корону и в линейной изоляции и представляющую собой зависимость удельных дисконтированных затрат на передачу электроэнергии от целого ряда технико-экономических параметров, как самой ЛЭП, так и режима её работы. Проведена оптимизация предложенной модели по току нагрузки и времени использования её максимума.

Ключевые слова: линия электропередачи; удельные дисконтированные затраты; электроэнергия; потери на корону; нагрузочные потери; время потерь; время использования максимума нагрузки.

MULTIDIMENSIONAL OPTIMIZATION OF ECONOMIC – MATHEMATICAL MODELS OF OVERHEAD POWER LINES BASED ON DISCOUNTED COST OBJECTIVE FUNCTION

Gerkusov Alexey Anatolievich
Kazan National Technical University them. A.M. Tupolev (KNRTU-KAI)
Gerkusov_Alex@mail.ru

Annotation: the relevance of this work is due to the fact that the total discounted costs, being the most important dynamic criterion for choosing the optimal option for an investment project, does not determine the real costs of producing a unit of output and cannot serve as a criterion for comparing options with different capacities or with different billing periods, which in a competitive market electricity increases price risks and hinders the optimal choice of electricity supplier. In addition, minimizing the objective function with respect to any one parameter, as a rule, does not lead to finding even its local minimum. Therefore, in this paper, we consider an alternative economic-mathematical model of a power transmission line, built on the basis of specific discounted costs and the discounted volume of electricity transferred for the construction and operation of 110-220 kV transmission lines, taking into account load losses, corona and line insulation losses and representing the dependence specific discounted costs for the transmission of electricity from a number of technical and economic parameters, both the transmission line itself and its mode of operation. It was optimized for the load current and the time of using its maximum.

Keywords: power line; specific discounted costs; electricity; crown losses; load losses; loss time; time of maximum load.

Постановка задачи. На современном этапе развития технико-экономического анализа приведенные и суммарные дисконтированные затраты за расчетный период являются важнейшими критериями выбора оптимального варианта технического решения в любой отрасли народного хозяйства и, в частности, в электроэнергетике [1,4]. Однако их применение вызывает затруднения, например, при сопоставлении вариантов энергетических объектов с различными производительностями (мощностями) или с различными расчетными периодами, что затрудняет выбор оптимальных технических решений и в условиях рыночной конкуренции увеличивает риски принятия неверного решения [1].

В связи с этим необходима разработка и оптимизация иной экономико-математической модели, связывающей технические параметры сооружаемой воздушной линии электропередачи и режимы ее работы с удельными экономическими показателями и позволяющей проводить технико-экономический анализ и экономическое обоснование принимаемых технических решений.

Методология исследования. Классический прием технико-экономического сопоставления сравниваемых вариантов проектируемых промышленных объектов, различающихся по производительности –

использование удельных показателей, рассчитанных на единицу объема продукции. Применим этот подход для сопоставления вариантов проектируемых ЛЭП и рассчитаем удельные дисконтированные затраты на передачу 1 кВт.ч электроэнергии по ЛЭП любого класса напряжения и назначения. Согласно [1], формула расчета удельных дисконтированных затрат $Z_{д.уд}$ имеет вид:

$$Z_{д.уд} = \frac{Z_д}{\sum_{t=0}^{T_p} W_t (1 + E_{ср})^{-t}}, \quad (1)$$

где $Z_д$ – дисконтированные затраты за расчётный период T_p строительства и срока службы ЛЭП, руб., W_t – отпуск электроэнергии по годам расчётного периода, кВт.ч/год, $E_{ср}$ – норма дисконтирования отпуска электроэнергии.

Знаменатель формулы показывает суммарный за период T_p дисконтированный отпуск электроэнергии, в величину которого заложено изменение ценности результата для потребителей при изменении времени его получения.

При сравнении двух или более вариантов проектирования и сооружения ЛЭП, критерием выбора оптимального варианта является минимум $Z_{д.уд}$. Таким образом, этот показатель может служить критерием выбора оптимального решения конкретной инженерной задачи (например, выбора сечения проводов и конструкции фазы воздушных и кабельных линий, номинального напряжения ЛЭП и т.д.), то есть служить основой для технико-экономической модели, используемой при проектировании ЛЭП.

С учётом нагрузочных потерь, потерь на корону и потерь в линейной изоляции выражение (1) для ВЛ единичной длины примет вид [2, 3]:

$$Z_{уд.д} = \frac{K_0 + \left(r_{об,рем} \cdot K_0 + 0,003 \cdot I_{нб}^2 \cdot r_0 \cdot \tau \cdot \Pi + 8760 \cdot \Delta P_{кор} \cdot \Pi + \frac{U_H^2 \cdot T_{вл} \cdot N_{гир} \cdot \Pi}{3 \cdot N_{из} \cdot R_{из}} \right) \cdot D}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{нб} \cdot T_{нб} \cdot \cos \varphi \cdot D}, \quad (2)$$

где K_0 – удельные капиталовложения в сооружение воздушных линий, р/км; $E_{ср}$ – принятый норматив дисконтирования; $\Delta P_{кор}$ – удельные потери мощности на корону в проводах ВЛ, кВт/км; $r_{об,рем}$ – амортизационные отчисления на обслуживание и ремонт ВЛ; $I_{нб}$ – максимальный ток нагрузки линии, А; U_H – номинальное напряжение линии, кВ; r_0 – удельное сопротивление линии, Ом/км; $T_{вл}$ – среднее число часов влажной погоды в году, ч; $R_{из}$ – сопротивление одного подвесного изолятора в гирлянде, Ом; $N_{из}$ – число изоляторов в гирлянде, шт; $N_{гир}$ – число гирлянд на 1 км ВЛ, шт/км; Π – принятый средневзвешенный тариф на электроэнергию, р/кВт.ч; D – дисконтирующий множитель, представляющий собой

безразмерную величину, определяемую по формуле суммы убывающей геометрической прогрессии; $\cos(\varphi)$ – коэффициент мощности; $T_{нб}$ – число часов использования максимума нагрузки, ч; τ – время максимума потерь. Выражение (2) представляет собой дискретную технико-экономическую модель сооружаемой ЛЭП и определяет зависимость удельных дисконтированных затрат на передачу 1 кВт.ч электроэнергии от технико-экономических параметров ЛЭП, которые являются заданными.

Такие параметры, как дисконтирующий множитель D , зависящий от величины нормы дисконта, $\cos \varphi$, ток максимальной нагрузки линии $I_{нб}$ и число часов использования её максимума $T_{нб}$ являются переменными независимыми параметрами.

Цель решения данной оптимизационной задачи заключается в отыскании значений компонентов вектора независимых переменных $(I_{нб}, T_{нб}, D)$, реализующих минимум целевой функции удельных суммарных дисконтированных затрат $Z_{уд.д}$ при выполнении условий допустимости режима, заданных в виде ряда неравенств, которым должны удовлетворять зависимые и независимые переменные [5]:

$$I_{нб.min} \leq I_{нб} \leq I_{нб.max} \quad (3)$$

$$T_{нб.min} \leq T_{нб} \leq T_{нб.max} \quad (4)$$

$$D_{min} \leq D \leq D_{max} \quad (5)$$

Но оптимизация $Z_{уд.д}$ по переменной D не имеет смысла и ей следует просто придать максимальное значение. Трёхмерный график зависимости $Z_{уд.д} = f(I_{нб}, T_{нб})$ представлен на рис. 1.

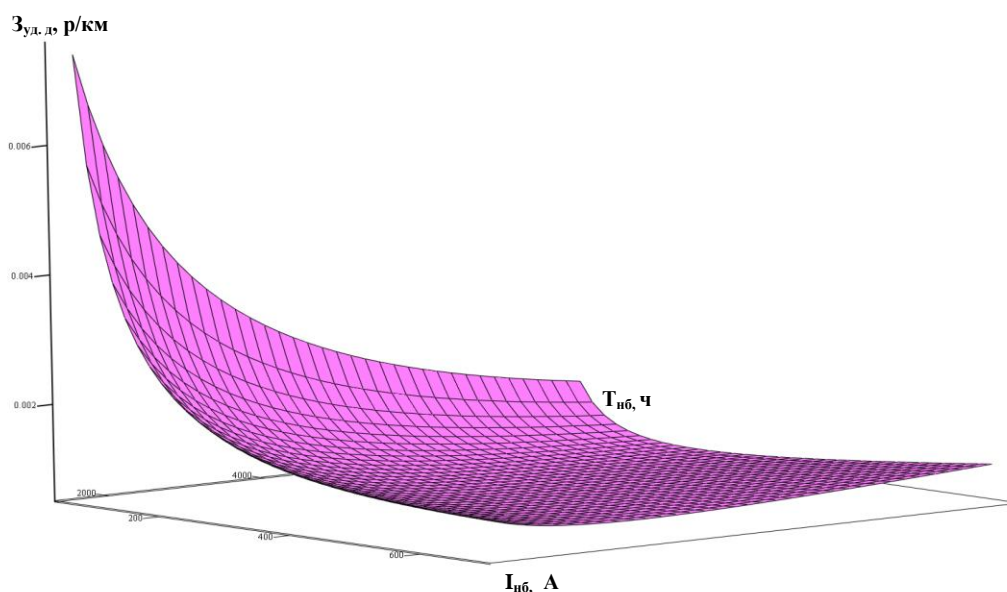


Рис. 1. Зависимость удельных дисконтированных затрат от тока нагрузки и времени использования её максимума на сооружение и эксплуатацию ВЛ-220 кВ, сооружаемую в 1-ом, 2-м районе гололёдности и 3-м районе по СЗА проводом АС-300/39

Для минимизации целевой функции (2) по параметрам $I_{нб}$ и $T_{нб}$, возьмём частные производные $\frac{\partial Z_{уд.д}}{\partial I_{нб}}$ и $\frac{\partial Z_{уд.д}}{\partial T_{нб}}$ и приравняв их к нулю, находим критические точки целевой функции удельных суммарных дисконтированных затрат: $T_{кр}$, и $I_{кр}$.

Тогда локальному минимуму целевой функции $Z_{уд.д}=f(I_{нб}, T_{нб})$ для ВЛ-220 кВ, выполненной проводами марки АС будут соответствовать данные (табл. 1):

Таблица 1

Оптимизированные значения тока нагрузки $I_{нб}$ и числа часов $T_{нб}$.

Марка провода	Макс. допуст ток нагрузки, А	Критич. точка тока нагрузки, А	Оптимальн. ток нагрузки А	Оптим. знач. $T_{нб}$, ч	Критич. точка $T_{нб}$, ч
АС-240	610	$3,055 \cdot 10^{10}$	610	1200	-1241
АС-300	710	$1,381 \cdot 10^{11}$	710	1200	-1241
АС-400	860	$5,294 \cdot 10^{10}$	860	1200	-1241

Примечание: запредельные значения критических токов являются рассчитанными точками глобального минимума целевой функции $Z_{уд.д}=f(I_{нб}, T_{нб})$, далеко выходящими за пределы ограничений (3) и в дальнейшем не используются.

Таким образом, минимуму целевой функции удельных дисконтированных затрат, как следует из рис. 1 и таблицы 1, соответствует максимально допустимый длительный ток линии при минимальном числе часов использования максимума нагрузки.

Выводы:

1. Построенная на основе удельных дисконтированных затрат экономико-математическая модель ЛЭП, позволяет проводить технико-экономическое сравнение и обоснованный выбор вариантов исполнения ЛЭП с разной производительностью, с различающимися техническими и экономическими параметрами, расчетными периодами и другими базовыми показателями ЛЭП.

2. Оптимизацию функции удельных дисконтированных затрат на сооружение и эксплуатацию ЛЭП следует проводить по нескольким независимым параметрам, важнейшими из которых являются ток максимума нагрузки и максимальное число часов её использования.

Список литературы

1. Барановский А.И., Кожевников Н.Н., Пирадова Н.В. и др. “Экономика промышленности” т. 2. Экономика и управление энергообъектами. М., Издательство МЭИ, 1998 год. – 296 с.

2. Геркусов А. А. “Анализ методик для выбора сечений проводов воздушных линий электропередачи” Научно-технические ведомости СПбГПУ №3 (202) 2014 г. с. 131-138.

3. Геркусов А.А. Макаров. В.М. Техничко-экономическое обоснование выбора параметров и режимов работы проектируемых линий электропередачи // Вестник ивановского государственного энергетического университета 2016. № 2. С. 66-73.

4. Карапетян И.Г., Файбисович Л.Д., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Файбисовича Л.Д. М. Изд-во ЭНАС 2006 г. 314 с.

5. Геркусов, А.А. Экономико-математическая модель воздушных линий электропередачи на основе целевой функции удельных дисконтированных затрат // Современный урок. – 2020. – Раздел «Технология». – С. 1–11.

УДК 338.46

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАГРУЗКИ НА ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ И УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССОВ

¹Гимадов Динар Рафаэлевич, ²Гибадуллин Рамил Рифатович
^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹gimadovdinar@gmail.com

Аннотация: в этой научной работе мы стремимся исследовать переходные процессы, происходящие в системах электропривода, когда нагрузка на оборудование претерпевает изменения, с целью повышения эффективности и стабильности этих процессов. Переходные процессы относятся к динамической реакции системы электропривода при изменении условий нагрузки. Всесторонне анализируя переходные процессы, мы стремимся к более глубокому пониманию динамики системы и определению стратегий повышения ее производительности.

Ключевые слова: переходные процессы, системы электропривода, изменение нагрузки, эффективность, стабильность, динамический отклик, динамика системы, повышение производительности.

INVESTIGATION OF TRANSIENT PROCESSES IN ELECTRIC DRIVE SYSTEMS WHEN THE LOAD ON THE EQUIPMENT CHANGES TO INCREASE THE EFFICIENCY AND STABILITY OF PROCESSES

¹Gimadov Dinar Rafaelevich, ²Gibadullin Ramil Rifatovich
^{1,2}FSBEI HE KSPEU, Kazan
¹gimadovdinar@gmail.com

Abstract: in this scientific work, we aim to investigate the transient processes occurring in electric drive systems when the load on the equipment undergoes changes, with

the objective of enhancing the efficiency and stability of these processes. Transient processes refer to the dynamic response of the electric drive system when subjected to variations in load conditions. By comprehensively analyzing the transient behavior, we seek to develop a deeper understanding of the system dynamics and identify strategies for improving its performance.

Keywords: transient processes, electric drive systems, load variation, efficiency, stability, dynamic response, system dynamics, performance improvement.

Переходные процессы в системах электропривода могут возникать при резких изменениях нагрузки, приводимой в действие системой. Эти переходные процессы могут оказать значительное влияние на динамический отклик, поведение, эффективность, стабильность, энергопотребление и общую производительность системы. Понимание динамики и поведения систем электропривода во время таких переходных процессов имеет решающее значение для оптимизации их производительности и обеспечения надежной работы.

Когда нагрузка, подключенная к системе электропривода, изменяется, это вносит помехи в систему. Это возмущение вызывает изменения в требованиях к крутящему моменту и скорости вращения, которые, в свою очередь, влияют на ток, напряжение и поток мощности внутри системы [1]. Эти изменения вызывают переходные реакции в системе, приводящие к колебаниям ее рабочих параметров.

Динамический отклик системы электропривода во время переходных процессов зависит от различных факторов, включая стратегию управления системой, инерционность нагрузки, характеристики двигателя и тип приводимой в действие нагрузки. Стратегия управления играет жизненно важную роль в регулировании реакции системы на изменения нагрузки. Это включает в себя настройку параметров управления для минимизации переходных процессов и поддержания стабильной работы [2]. Инерция нагрузки влияет на скорость, с которой система может адаптироваться к изменениям, при этом более высокая инерция приводит к более медленному реагированию и более длительным переходным процессам.

Характеристики двигателя, такие как индуктивность его обмотки, сопротивление и инерция ротора, также влияют на переходное поведение системы. Двигатели с более высокой индуктивностью, как правило, имеют более медленные отклики из-за увеличенных постоянных времени, в то время как двигатели с более низкой индуктивностью демонстрируют более быстрое переходное поведение. Инерция ротора влияет на способность двигателя быстро ускоряться или замедляться в ответ на изменение нагрузки, влияя на общую динамическую характеристику.

Эффективность и стабильность являются важными факторами во время переходных процессов в системах электропривода. Эффективность

относится к способности системы преобразовывать электрическую энергию в полезную механическую работу без значительных потерь. Во время переходных процессов может возникнуть неэффективность из-за повышенных потерь мощности в двигателе и связанных с ним компонентах. Эти потери могут быть вызваны повышенными токами, перепадами напряжения и дополнительными эффектами нагрева [3]. Следовательно, оптимизация конструкции системы и алгоритмов управления для минимизации этих потерь во время переходных процессов имеет решающее значение для повышения общей эффективности.

Изменение нагрузки в системах электропривода может оказать значительное влияние на потребление энергии. Во время переходных процессов система может испытывать повышенную потребность в электроэнергии для удовлетворения внезапных требований к нагрузке. Это может привести к более высокому энергопотреблению по сравнению с режимом стационарной работы. Кроме того, неэффективные переходные характеристики могут привести к потерям энергии, что еще больше способствует увеличению энергопотребления. Таким образом, эффективное управление изменениями нагрузки и оптимизация реакции системы во время переходных процессов могут помочь снизить энергопотребление и повысить общую энергоэффективность.

Изменение нагрузки также может повлиять на производительность оборудования, подключенного к системе электропривода. Например, в промышленных процессах резкие колебания нагрузки могут повлиять на точность и качество конечного продукта. В некоторых случаях изменения нагрузки могут превышать возможности приводной системы, что приводит к выходу оборудования из строя или повреждению [4]. Поэтому крайне важно учитывать влияние изменений нагрузки на производительность оборудования и гарантировать, что приводная система сможет выдерживать требуемые изменения нагрузки без ущерба для работы оборудования.

Для повышения эффективности и стабильности систем электропривода в переходные периоды могут быть использованы различные стратегии управления и методы оптимизации. Эти стратегии включают в себя сочетание проектирования аппаратного обеспечения, разработки алгоритма управления и соображений системного уровня.

Усовершенствования конструкции аппаратного обеспечения могут включать в себя выбор двигателей и силовых электронных компонентов с подходящими характеристиками для переходных процессов. Например,

двигатели с меньшей индуктивностью обмотки и более высоким отношением крутящего момента к инерции могут демонстрировать более быстрые переходные характеристики [5]. Силовые электронные компоненты с высокой частотой переключения и низкими потерями могут помочь свести к минимуму переходные потери мощности и повысить эффективность системы.

В заключение следует отметить, что переходные процессы, возникающие в системах электропривода при изменении нагрузки, могут оказывать значительное влияние на их динамику, поведение, эффективность, стабильность, энергопотребление и производительность оборудования. Понимание факторов, влияющих на переходную характеристику, таких как стратегии управления, характеристики нагрузки и свойства двигателя, имеет решающее значение для оптимизации производительности системы. Эффективное управление изменениями нагрузки и использование методов оптимизации могут помочь повысить эффективность, стабильность и общую производительность систем электропривода в переходные периоды.

Список литературы

1. Ramachandran, K. Dynamic response analysis of induction motor drive during sudden load changes / K. Ramachandran, R. Chandrasekaran // International Journal of Engineering and Advanced Technology. - 2020.

2. Chandra, A. Transient stability assessment of doubly-fed induction generator based wind turbine with STATCOM for grid codes compliance / A. Chandra, A. K. Singh // International Transactions on Electrical Energy Systems. - 2020.

3. Ajayi, N. R. Optimal control of electric vehicle charging for real-time voltage regulation in smart grids / N. R. Ajayi, A. S. Alabi // Journal of Energy Storage. - 2021.

4. Yuan, H. Power Smoothing Control of Electric Vehicle Systems with Battery/Ultra-capacitor Hybrid Energy Storage / H. Yuan, Y. Chu // IEEE Transactions on Industrial Electronics. - 2021.

5. Саитбаталова, Р. С. Ступенчатое регулирование батарей конденсаторов для обеспечения устойчивости нагрузки промышленных предприятий / Р. С. Саитбаталова, Р. Р. Гибадуллин, Р. Г. Загидуллин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 1(41). – С. 79-84.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И СЕТЯХ

Елфутин Максим Денисович
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
boombardiro@mail.ru

Аннотация: в работе произведена попытка рассмотрения способа улучшения процесса регулирования параметров сети путем применения современных способов компенсации, схем устройств, применяемых в промышленности для компенсации реактивной мощности, а именно посредством применения тиристорных преобразователей, запираемых тиристоров и IGBT транзисторов. Приведены автоматизированные регуляторы, основанные на точной микропроцессорной электронике

Ключевые слова: электроэнергетическая система, компенсация реактивной мощности, тиристорные преобразователи, IGBT транзисторы.

APPLICATION OF MODERN METHODS OF REACTIVE POWER COMPENSATION IN ELECTRIC POWER SYSTEMS AND NETWORKS

Yelfutin Maksim Denisovich
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation
boombardiro@mail.ru

Abstract: the paper attempts to consider a way to improve the process of regulating network parameters by using modern compensation methods, device circuits used in industry for reactive power compensation, namely through the use of thyristor converters, gated thyristors and IGBT transistors. Automated controllers based on precise microprocessor electronics are presented

Keywords: electric power system, reactive power compensation, thyristor converters, IGBT transistors.

Для нормальной работы всей электроэнергетической системы в целом необходим постоянный контроль за уровнем напряжения. Электроприемники различного назначения, обладающие различными характеристиками, служат основой для существования немалого количества средств компенсации реактивной мощности [2].

На многих металлургических предприятиях, использующих двигатели постоянного тока, до 2011 года использовались тиристорные преобразователи, предназначенные для питания электрических машин [1]. Применение данных элементов было связано с необходимостью широкого диапазона регулирования частоты вращения, а во время

проектирования отсутствовали преобразователи переменного тока со схожими техническими характеристиками. В таком случае в роли компенсирующего устройства должна была выступить система, включающая регулирование индуктивности в составе тиристорно-реакторной группы и группы фильтров 5, 7, 11, 13 гармоник. Однако основанием нереализованного проектного решения послужило отсутствие необходимых конденсаторов в то время [3].

Современные элементы силовой электроники дают возможность использовать новые источники реактивной мощности. На ряду с вышесказанным появился еще один метод компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ. Он заключался в использовании фильтров, выполняемых на базе статических компенсаторов. Компенсация происходит путем изменения напряжения на конденсаторе относительно напряжения сети: увеличивая напряжение на конденсаторе получают генерацию реактивной мощности, уменьшая, наоборот, – потребление.

В дальнейшем начали проектировать схемы с использованием мощных запираемых тиристоров или *IGBT* транзисторов [4]. Данные компенсаторы со временем совершенствовались и технически реализовать их можно было несколькими способами. Для обеспечения пульсности тока можно использовать запираемые тиристоры, отличаются они рабочей шириной частот в 500 Гц. В схеме для повышения напряжения и минимизации высших гармоник тока применялись последовательно соединенные многофазные трансформаторы с различными вариантами комбинирования вторичных обмоток. Данная схема отличается своей компактностью, потому что в ней используются отдельные идентичные модули из *GTO* тиристоров, что является неоспоримым достоинством ее применения.

В отличие от запираемых транзисторов *IGBT* транзисторы имеют рабочий диапазон частот в несколько килогерц. Отличие же схем состоит в том, что для достижения необходимых характеристик и качеств тока используют вместо многофазных трансформаторов широтноимпульсную модуляцию. Высокочастотная область содержит в себе весь спектр генерируемых гармоник, что является особенностью широтноимпульсной модуляции. Однако для подавления высших гармоник тока в схеме должен применяться широкополосный фильтр, который подключен с компенсатором параллельно – во это один из способов, второй заключается в использовании трансформатора, двух трехфазных мостов, параллельно подключенных к общему конденсатору. При втором подходе к решению Т-образный фильтр с дополнительными реактором, индуктивностью и емкостью локализует на себе высшие гармоники, а напряжение удваивается.

При сравнении двух вышеприведенных решений можно сделать вывод о перспективе запираемых тиристоров, поскольку схема с их использованием, во-первых, менее затратная, во-вторых, обещает более надежную эксплуатацию устройства в условиях несинусоидального напряжения. К тому же можно добавить о возникновении нежелательных последствий в работе преобразователя при высоких частотах коммутации тиристоров.

Вместе с необходимостью установки самих компенсирующих устройств возникает необходимость и в автоматизации управления коммутационными процессами в реальном времени, причем система регулирования параметров должны быть единой для достижения повышенной эффективности.

Как известно компенсация реактивной мощности осуществляется путем плавного или ступенчатого переключения компенсационных ресурсов и для этой цели используется множество моделей регуляторов.

Так автоматический регулятор модели *PROPHI* возглавляет список лидирующих современных многофункциональных разработок, применяемых в низковольтных сетях для изменения коэффициента мощности. Отличительной его способностью является возможность выведения на дисплей практически всех параметров регулируемой сети, а также возможность дистанционного регулирования с применением компьютерной техники.

Защиту сети от снижения до критического значения $\cos \phi$ осуществляет представитель самых мощных многофункциональных устройств – *DCRJ*. Микропроцессорное устройство оснащено цифровым программированием, отдельным входом измерения напряжения, контролем состояния конденсаторных установок, сохранением в памяти процессов и истории событий. Устройство способно производить обмен данными через сеть Интернета, *GSM*-каналу и пригодно для эксплуатации в системах с классами напряжения 6, 10, 35 кВ.

Автоматический регулятор реактивной мощности *PR.3D* является автопрограммируемым, т.е. не требует ручного программирования, потому что все параметры сети и конденсаторных установок контролируются самим устройством. Для работы используется ток одной из фаз и показания напряжений со всех фаз [5].

Учитывая разность графиков нагрузок разных потребителей к каждому из них необходимо применить индивидуальное компенсирующее устройство со схемой, построенной непосредственно под самого потребителя. Для повышения надежности и точности процесса компенсации реактивной мощности все оборудование должно находиться

под контролем автоматизированного регулятора, основанного на микропроцессорной технологии. Однако моделей регуляторов тоже существует немало количество и у каждой модели характеристики и функционал индивидуально заточены под ту или иную систему электроснабжения. Таким образом было бы эффективнее объединение всех регулировочных систем в единую систему, контролируруемую головным центром или несколькими головными центрами, анализирующими и учитывающими все процессы, посылающими команды на регуляторы.

Список литературы

1. Виды компенсирующих устройств и их применение [Электронный ресурс]. <https://studfile.net/preview/4614341/page:10/> (дата обращения: 1.05.2023).

2. Регуляторы для компенсации реактивной мощности [Электронный ресурс]. <https://www.pea.ru/docs/equipment/reactive-power-compensation/regulatory-kontrollery/> (дата обращения: 1.05.2023).

3. Деркач, Н. С. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий // Издательство «Курганского государственного университета». 2016. С. 3.

4. Корнилов Г. П., Храмшин Т. Р., Шеметов А. Н., Журавлёв Ю. П., Мурзинов А. А. Современные способы компенсации реактивной мощности крупных металлургических приводов // «Известия высших учебных заведений. Электромеханика». 2009. С. 28-31.

5. Крысанов В. Н., Иванов К. В. Возможности использования в автоматизированной системе управления электроснабжением промышленных предприятий тиристорных конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности // «Вестник воронежского государственного технического университета» – 2017. – С. 40-45.

УДК 621.321

КОМПЛЕКТНО-БЛОЧНЫЙ МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ УЗЛОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Гринев Николай Валерьевич,
ООО «Эверест», г. Екатеринбург
grinevn@ya.ru

Аннотация: рассматривается комплектно-блочный метод организации строительства для распределительных устройств узловых подстанций и электростанций, который не мог быть использован прежде из-за особенностей схем

электрических соединений указанных объектов. Для решения проблемы предлагается новая схема, которая к тому же, по сравнению со всеми аналогами, имеет иной состав электрооборудования и наименьшее количество разъединителей.

Ключевые слова: электроэнергетические системы, высоковольтное распределительное устройство, комплектная трансформаторная подстанция блочного исполнения.

COMPLETE-BLOCK METHOD OF CONSTRUCTION ORGANIZATION FOR SWITCHGEAR OF NODE SUBSTATIONS AND POWER PLANTS

Grinev Nikolay Valerevich
Everest LLC, Ekaterinburg

Abstract: the article considers a complete-block method of organizing construction for switchgears of node substations and power plants, which could not be used due in the past to the peculiarities of the electrical connection schemes of these facilities. To solve the problem, a new scheme is proposed, which, in comparison with all analogues, has a different composition of electrical equipment and the smallest number of disconnectors.

Keywords: electric power systems, high-voltage switchgear, complete transformer substation of block design.

Перспективным направлением индустриализации и интенсификации нового строительства является комплектно-блочный метод организации строительства, который помогает обеспечить высокую производительность и качество возводимых объектов, сократить длительность. Данный метод был предложен в 1960-х, активно исследовался и применялся в 70-80-х гг. XX в. В этом методе применяются изделия высокой степени заводской готовности в виде блочно-комплектных устройств, укрупненных монтажных узлов, изготавливаемых в заводских условиях с последующей поставкой на площадку строительства. Изначально реализация этого метода была направлена на повышение эффективности капитальных вложений за счет повышения индустриализации строительства путем превращения подстанций в комплекты блоков и переноса основных затрат труда (особенно непроизводительных) со стройплощадки в заводские условия [1].

Применение указанного метода в сравнении с традиционным позволяет сокращать сроки строительства объекта в среднем в 2 раза.

Пионером и наиболее известным изготовителем комплектных трансформаторных подстанций блочного исполнения (сокращенно – КТПБ) в нашей стране стал Самарский завод «Электрощит» [2, с.411]. Заметную роль в популяризации таких подстанций в 00-х гг. XXI в. сыграла уже не существующая компания из г. Екатеринбурга - ЗАО ПФ «КТП-Урал».

Сегодня такой продукт предлагают: «Самарский Электрощит», ЧЭАЗ, «СВЭЛ», УЭТМ, «Энсонс» и многие другие.

Пример ОРУ 110 кВ в виде КТПБ показан на рис. 1. Особенностью КТПБ является размещение электрооборудования на общей раме (рис. 2).

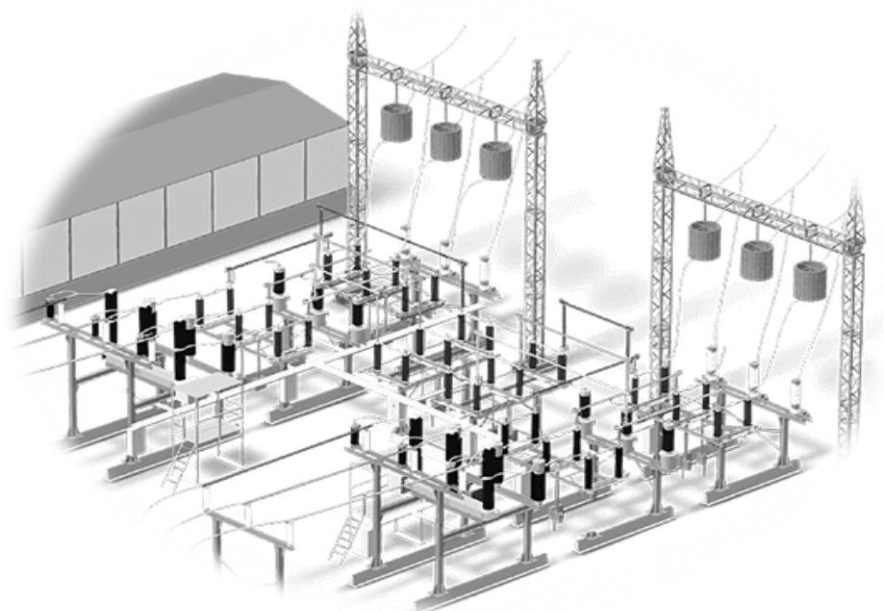


Рис. 1. Пример ОРУ 110 кВ с применением КТПБ («СВЭЛ»)

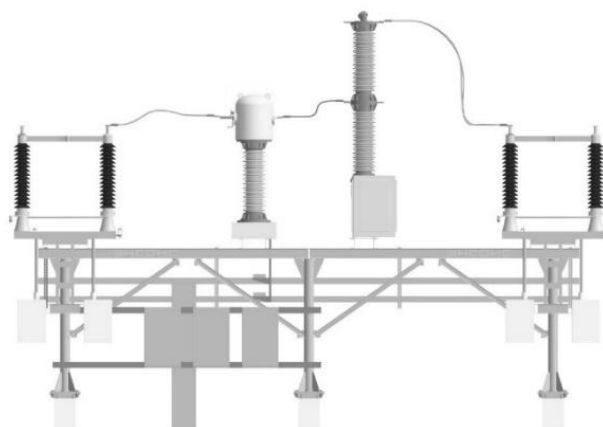


Рис. 2. Модуль КТПБ («Энсонс»)

Отсюда следует, КТПБ затруднительно применять для распределительных устройств со схемами сложнее чем схема 110-9 «Одна рабочая секционированная СШ». Дело в том, что в типовой компоновке ячейки ОРУ 110 кВ по схеме 110-13Н «Две рабочие и обходная СШ» оборудование размещается не столь компактно [2, сс.366, 416].

Решить дилемму можно с помощью принципиально новой схемы электрических соединений. Для умной энергетики будущего в принципе логично использовать новые, ранее не использовавшиеся подходы. В теории систем заметное место занимает сравнение искусственных и биологических систем. Даже выделилась отдельная отрасль знаний: бионика – наука о применении в технических устройствах и системах принципов организации, свойств, функций и структур живой природы.

Поэтому появилась привлекательная гипотеза о применении топологии, пожалуй, одной из самых известных биоструктур – молекулы ДНК (рис. 4).

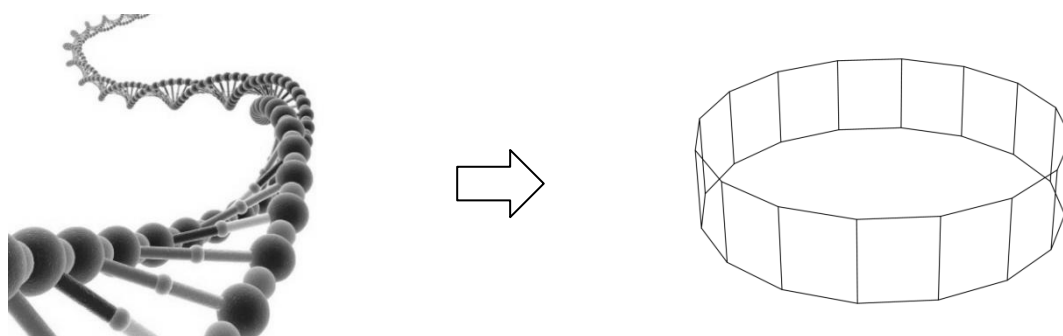


Рис. 4. Спираль ДНК

Структура ДНК топологически эквивалентна многограннику (многогранной призме). Ее и будем рассматривать. Структура многогранника имеет высокую связность, но при этом является децентрализованной. Данная структура, как РУ нового типа, может быть реализована следующим образом: каждое присоединение подключается через развилку из разъединителей и таким образом присоединение и его разъединители образуют ребро, в вершинах многогранника устанавливаются выключатели, причем в каждой вершине соединяются не более трех ребер; присоединение отключается выключателями инцидентных вершин.

Примером предлагаемой структуры на 12 присоединений является куб. Схема такого ОРУ показана на рис. 5. Для 12 присоединений требуется 8 вершин (16 выключателей). В традиционных схемах общее число выключателей немного меньше и составляет 13-14.

РУ нового типа имеет модульную структуру. На рис. 5 выделен пунктиром один модуль, который удобно реализовать в виде КТПБ. Сам модуль изображен на рис. 6. Компоновка ОРУ - на рис. 7.

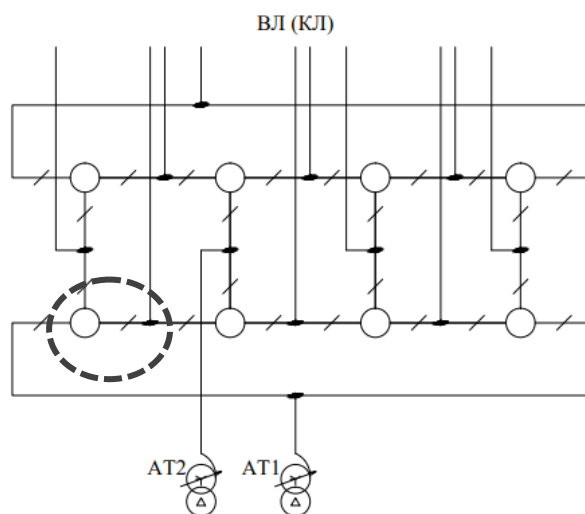


Рис. 5. Пример схемы ОРУ 110 кВ с топологией куба

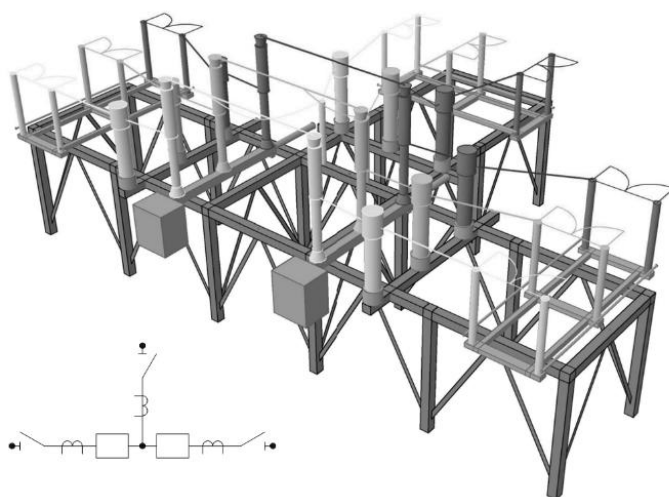


Рис. 6. Пример модуля КТПБ для ОРУ 110 кВ нового типа

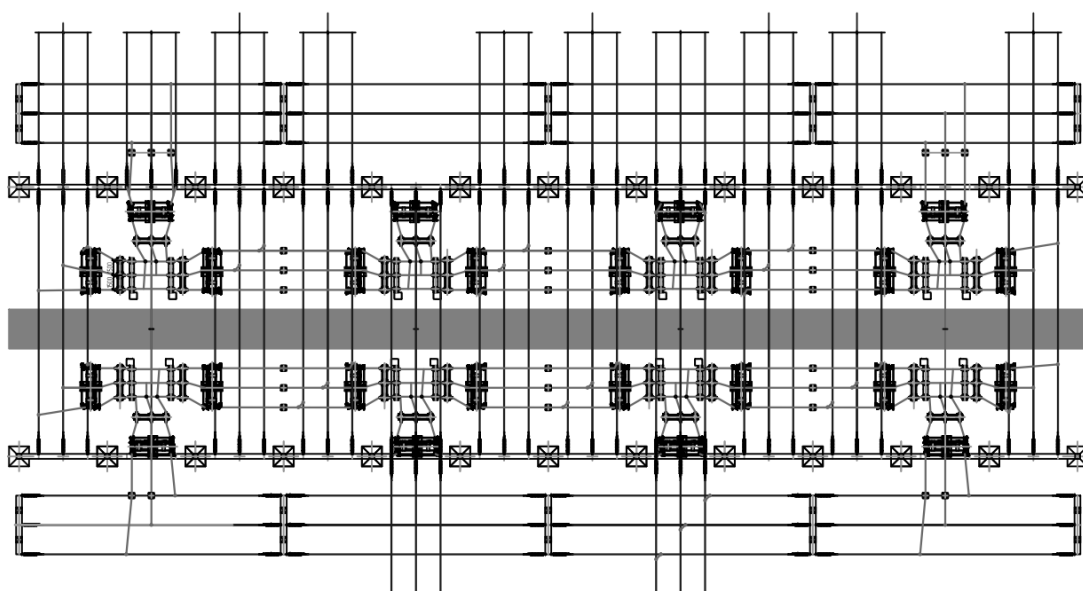


Рис. 7. Компонка ОРУ 110 кВ нового типа с применением КТПБ

Особенности РУ нового типа заключаются в следующем:

1. Число разъединителей меньше чем в аналогах. Это позволяет ожидать повышение экономичности и надежности для РУ в целом.

2. В показанном примере (для 12 присоединений) ОРУ нового типа укладывается в габарит 12 ячеек, то есть его габариты даже меньше чем типовые.

3. Потеря любых двух элементов в таком РУ (рис. 5) не приводит к отключению более одного присоединения.

Предлагаемый подход позволит сооружать РУ для любого числа присоединений. Возможность использования комплектно-блочного метода организации строительства особенно важна для труднодоступных регионов страны. Именно в таких зачастую и располагаются газо- и нефтепромысловые объекты. В силу их удаленности энергосистемы в этих

регионах чаще всего работают изолированно. Сети 110 кВ выполняют там системообразующую функцию, а к их архитектуре целесообразно применять нормы более высоких классов напряжения (220-500 кВ). ОРУ нового типа в некотором смысле является развитием логики полуторных схем, что позволяет рассчитывать на наибольшую надежность.

Список литературы

1. Бусыгина А.Н., Коркишко А.Н. Комплектно-блочный метод организации строительства нефтепромысловых объектов // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 4 (103). С. 429–436. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.429-436.

2. Рожкова Л. Д., Карнеева Л. К., Чиркова Т. В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. 10-е изд. стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2013. - 448 с.

УДК 614.841.415

ВНЕДРЕНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕРКИ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДУГОВЫХ ПРОБОЕВ И ИСКРОВЫХ ПРОМЕЖУТКОВ

¹ЕрашоваЮлия Николаевна, ²Тюрин Александр Николаевич, ¹Вассунова Юлия Юрьевна
^{1,3}Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия
²АО «ТАТЭЛЕКТРОМОНТАЖ», г. Казань, Россия
¹yuliya.kostina@mail.ru, ²turinal@rambler.ru, ³vassunova.yy@mail.ru

Аннотация: обоснована необходимость в проведении испытаний устройств защиты от дуговых пробоев и искровых промежутков (УЗДП) на эффективность срабатывания. Рассмотрены способы подобных испытаний. Разработано устройство для проверки УЗДП на последовательное и параллельное искрение и дуговой пробой. Дано описание его схемы и принципа работы.

Ключевые слова: дуговой пробой, УЗДП, пожарная безопасность, устройства защиты, искрение, микропроцессор.

INTRODUCTION OF A DEVICE FOR CHECKING PROTECTION DEVICES AGAINST SERIAL AND PARALLEL ARC BREAKDOWN AND SPARK GAP

¹Yu.N. Erashova, ²A.N. Tyurin, ³Yu.Y. Vassunova
^{1,3}Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
²JSC "TATELEKTROMONTAZH", Kazan, Russia
¹yuliya.kostina@mail.ru, ²turinal@rambler.ru, ³vassunova.yy@mail.ru

Abstract: the necessity of testing the devices for protection against arc faults and spark gaps (AFDD) for the effectiveness of operation is substantiated. The methods of such

tests are considered. A device has been developed for checking the AFDD for series and parallel sparking. A description of its scheme and principle of operation is given.

Keywords: arc fault, AFDD, fire safety, protection devices, sparking, microprocessor.

В настоящее время применяются различные средства защиты электрооборудования от нежелательных воздействий и аварийных ситуаций: автоматический выключатель, устройство защитного отключения УЗО, дифференциальный автомат, реле напряжения, устройство защиты от импульсного перенапряжения УЗИП. При этом искрение и дуговой пробой ни одним из перечисленных аппаратов защиты не определяются. Для предотвращения пробоев в виде дуги разработано и успешно применяется специальное устройство защиты от дуговых пробоев (УЗДП), которое при обнаружении пробоя отключает поврежденную схему.

Устройства защиты от дуговых пробоев – новый вид защиты электрических цепей. В соответствии с приказом МИНСТРОЙ РОССИИ № 919/пр от 30.12.2020 в электроустановках жилых и общественных зданий для автоматического обнаружения искрения или дугового пробоя, предупреждения и предотвращения возможного пожара в групповых сетях электропроводок (цепях переменного тока) или любых приборах учета, коммуникационных устройствах, установочных изделиях, местах неисправностей электрических контактов может быть установлено (р.1 ГОСТ IEC 62606 – 2016)[1].

Устройство защиты от дуговых пробоев представляет собой микропроцессорный модульный релейный аппарат, предназначенный для электрической цепи класса до 0,4 кВ. При эксплуатации УЗДП возникает ряд сложностей, вызванных срабатыванием устройства должным образом. Сложность конструирования УЗДП заключается в выборе и настройке алгоритма, способного надёжно распознавать аварийные, пожароопасные пробои и одновременно исключать ложные срабатывания от неопасных помех[2]. В этой связи возникает потребность проведения испытаний, перечень которых устанавливает ГОСТ IEC 62606-2016[1]. Необходимость проведения испытаний УЗДП также обусловлено: отсутствием практики применения УЗДП в России, установки их в реальные электрические щиты, предназначенных для установки аппаратов защиты и коммутации групповых электрических сетей; необходимостью разработки подходов к подтверждению соответствия изделий УЗДП требованиям ГОСТ IEC 62606-2016[1]; необходимостью практического подтверждения положений «Рекомендации по применению устройств защиты от дугового пробоя (УЗДП) в электроустановках жилых

и общественных зданий» СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа»[3]; целесообразностью использования УЗДП в электропроводах реальных групповых электрических сетей зданий различной протяженности, во избежание пожаров от электрических причин[4].

Можно проводить натурные испытания в сетях производственного или административного здания или создавать искусственно искрение и дуговой пробой. Для проведения испытаний на оборудовании, провоцирующем аварийные ситуации, хорошо подходит аттестованный стендрис.1 для проверки УЗДП (изготовитель стенда АО «ТАТЭМ»). Запатентовано как само оборудование [5] (Патент на полезную модель RU 211441 U1 от 06.06.2022 «Устройство для проверки аппаратов защиты от последовательного и параллельного дуговых пробоев и искровых промежутков»), так и способ проверки УЗДП [6] (Патент на изобретение RU 2 782 233 C1. от 25.10.2022г. «Способ проверки аппаратов защиты от последовательного и параллельного дуговых пробоев и искровых промежутков»).

Испытания УЗДП на стенде изготовленном АО «ТАТЭМ» позволяет проводить проверку на заявленные характеристики ($t_{срабатывания} = f(I_{дуги})$) всех типов аппаратов защиты как от последовательного, так и от параллельного дуговых пробоев и дуговых промежутков отечественных и зарубежных производителей[7].

Работа стенда поясняется схемой предлагаемого устройства. На схеме (рис. 2) цифрами обозначены: 1 – автоматический выключатель; 2 – секундомер; 3 – генератор дуги; 4 – пускатель; 5 – концевой выключатель; 6 – регулируемая нагрузка; 7 – амперметр; 8 – аппарат защиты; 9 – переключатель; 10 - образец кабеля с параллельными проводниками.

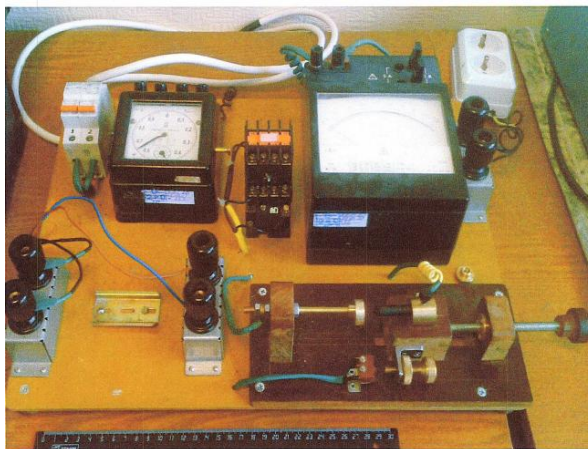


Рис. 1. Стенд для проверки устройств защиты от дугового пробоя и искровых промежутков

Рассмотрим подробнее, как работает предлагаемый стенд. Для проверки УЗДП на эффективность срабатывания от последовательного дугового пробоя необходимо переключатель 9 перевести на схему с генератором дуги 3, который последовательно соединен с нагрузкой 6. Генератор спроектирован согласно ГОСТ IEC 62606-2016, что позволяет моделировать процесс, приближенный к реальной электрической дуге или искрению в бытовых условиях [8]. При включении автоматического выключателя 1 на ввод 8 устройства защиты подается напряжение сети. При включении УЗДП срабатывает пускатель 4, подготавливая цепь секундомера 2 (путем замыкания контактов), и через замкнутый генератор дуги и подключенную нагрузку протекает ток, измеряемый амперметром 7. Регулировочным винтом генератора дуги размыкают электроды, создавая искровой промежуток с последующим возникновением устойчивой электрической дуги. Одновременно с этим замыкают концевой выключатель 5 и запускают секундомер. Под воздействием дуги на исправном аппарате защиты происходит его срабатывание с отключением секундомера и прекращением горения дуги. При этом секундомер фиксирует время срабатывания аппарата защиты.

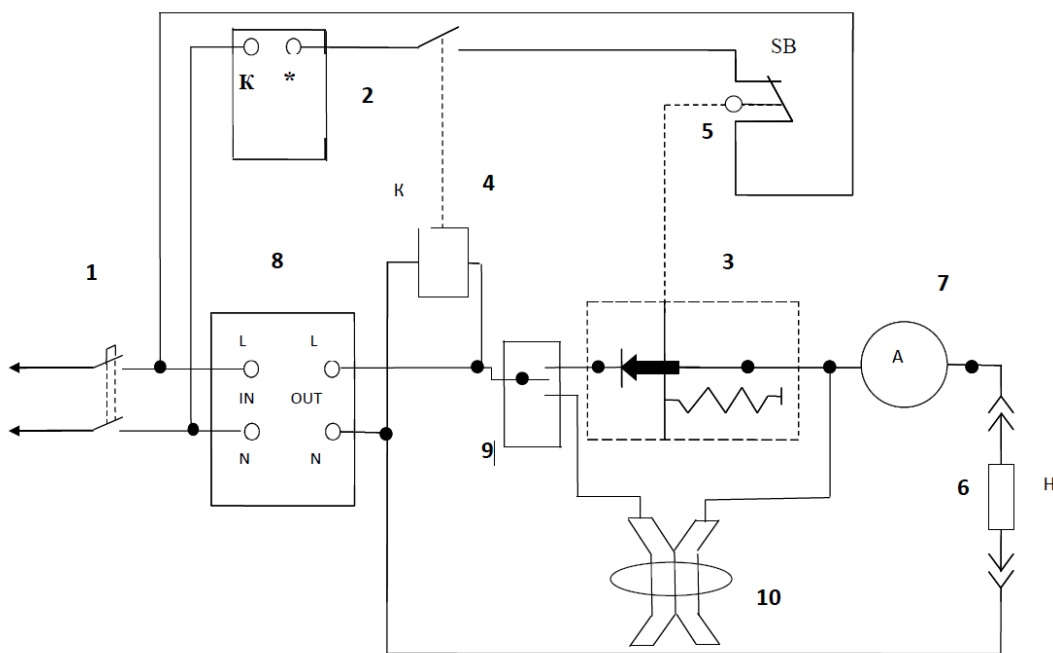


Рис. 2. Схема устройства для проверки аппаратов защиты от дуговых пробоев и дуговых промежутков

При выборе переключателем 9 параллельного дугового пробоя в образце кабеля с параллельными проводниками 10 формируется дуговой пробой, ток которого определяется величиной и характером нагрузки

блока регулируемых нагрузок 6 и запускается секундомер 2. Значение протекающего тока отображается на амперметре 7. На исправном аппарате защиты, под воздействием параллельного дугового пробоя, происходит его срабатывание с отключением секундомера и прекращением горения дуги. При этом секундомер фиксирует время срабатывания аппарата защиты. В случае неисправности аппарата защиты - отключение не происходит и цепь размыкается принудительно.

Таким образом, преимущество предлагаемого устройства для проверки аппаратов защиты от последовательного и параллельного дуговых пробоев и искровых промежутков состоит в том, что в устройство позволяет проверить заявленные характеристики УЗДП как при последовательном, так и при параллельном дуговых пробоях и искровых промежутках. При этом в устройстве присутствуют: защита от токов короткого замыкания и перегрузки при проверке УЗДП; возможность регулирования значений тока дуги [9] и изменения характера нагрузки для обеспечения безопасной и высокоточной проверки аппаратов защиты заявленные характеристики для всех типов УЗДП отечественных и зарубежных производителей в любом из выбранных видов дугового пробоя.

Список литературы

1. ГОСТ ИЕС 62606 – 2016 «Устройства защиты бытового и аналогичного назначения при дуговом пробое. Общие требования».
2. Ившин И.В., Тюрин А.Н., Ерашова Ю.Н. Особенности внедрения устройств защиты от дугового пробоя в электрических сетях до 1 кВ//Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. VI Национальной науч.-практ. конф. 10–11 декабря 2020 г., Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. Т. 1. С. 370–374.
3. Изменение № 4 к СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа».
4. Постановление правительства Российской Федерации от 28.05.2021 г. № 815 Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ (последняя редакция).
5. Тюрин А.Н., Солуянов Ю.И., Ившин И.В., Ерашова Ю.Н. Устройство для проверки аппаратов защиты от последовательного

и параллельного дуговых пробоев и искровых промежутков. Патент на полезную модель RU 211441 U1 от 06.06.2022.

6. Тюрин А.Н., Солуянов Ю. И., Ившин И. В., Ерашова Ю. Н. Способ проверки аппаратов защиты от последовательного и параллельного дуговых пробоев и искровых промежутков. Патент на изобретение RU 2 782 233 C1 от 25.10.2022.

7. Ерашова Ю.Н., Ившин И.В., Ившин И.И., Тюрин А.Н. испытания устройства защиты от дугового пробоя и искровых промежутков на срабатывание // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021 г. № 3 (23). С. 168 – 180.

8. Ерашова Ю.Н., Вассунова А.И., Ившин И.И., Тюрин А.Н. Генератор электрической дуги для диагностики аппаратов защиты от дугового пробоя // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация». В 3 т. Т. 1. Электроэнергетика и электроника: матер. Междунар. молод. науч. конф. (Казань, 28–30 апреля 2021 г.) / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2021. – 556 с.

9. Ерашова Ю.Н., Тюрин А.Н. Анализ дуговых процессов и искровых промежутков для эффективной работы УЗДП // Материалы Национальной научно-практической конференции «Современные цифровые технологии: проблемы, решения, перспективы» Казань, 19-20 мая 2022 г.

УДК 621.315.3: 621.316.99

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЗАДАЧАХ БЕЗОТКАЗНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

¹Качелаев Олег Вадимович, ²Полуянович Николай Константинович,

³Дубяго Марина Николаевна, ⁴Светличный Никита Игоревич

^{1,2,3,4}Южный федеральный университет, Россия, Ростов-на-Дону

¹22.olezhka@mail.ru, ²nik1-58@mail.ru, ³w_m88@mail.ru

Аннотация: статья посвящена исследованию электромагнитного поля (ЭМП) в электроизоляционном материале силовых кабельных линий (СКЛ). Построены модели для расчета и анализа распределения напряженности неоднородных электрических полей в диэлектрической среде с включениями разной площади и с разными электрофизическими параметрами (заполнением). Проведено моделирование и анализ распределения напряженности электрического поля в области дефекта при различных типах заполнения включения и установлена закономерность которая может являться диагностическим параметром качества изоляции СКЛ. В рамках проведенного исследования построена нейросетевая (НС) модель, описывающая архитектуру киберфизической системы (КФС) прогнозирования ресурса ЭМ кабельных электрических сетей. Синтезировано алгоритмическое решение автоматического подбора параметров

и обучения НС с последующим прогнозированием, позволяющее повысить надежность КФС за счет сокращения времени создания оптимальной конфигурации НС. Полученная НС модель может быть эффективно использована для анализа термофлуктуационных процессов, протекающих в объекте управления – СКЛ, и прогноза поведения объекта.

Ключевые слова: кибер-физическая система, нейронная сеть изоляционные материалы, электромагнитное поле, надежность систем энергоснабжения.

NEURAL NETWORK ANALYSIS OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD IN THE PROBLEMS OF TROUBLE-FREE OPERATION OF CABLE SYSTEMS

¹Oleg Vadimovich Kochelaev, ³Nikolay Konstantinovich Poluyanovich,
³Marina Nikolaevna Dubyago, ⁴Svetlichny Nikita Igorevich
^{1,2,3,4}South Federal University, Russia, Rostov-on-Don,
¹22.olezhka@mail.ru, ²nik1-58@mail.ru, ³w_m88@mail.ru

Abstract: The article is devoted to the study of the electromagnetic field (EMF) in the electrical insulating material of power cable lines (SCL). Models are constructed for calculating and analyzing the voltage distribution of inhomogeneous electric fields in a dielectric medium with inclusions of different areas and with different electrophysical parameters (filling). Modeling and analysis of the distribution of the electric field strength in the defect area for various types of inclusion filling was carried out and a pattern was established that can be a diagnostic parameter of the quality of the insulation of the SCL. Within the framework of the conducted research, a neural network (NS) model describing the architecture of a cyber-physical system (CFS) for predicting the resource of EM cable electrical networks was built. An algorithmic solution for automatic parameter selection and NS training with subsequent forecasting has been synthesized, which makes it possible to increase the reliability of the CFS by reducing the time to create an optimal NS configuration. The obtained NS model can be effectively used for the analysis of thermal fluctuation processes occurring in the control object - SCL, and the prediction of the behavior of the object.

Keywords: cyber-physical system, neural network insulation materials, electromagnetic fields, re-liability of power supply systems.

В силовых кабелях в условиях воздействия электрического поля старение полиэтилена (ПЭ) определяется наличием неоднородностей, образованием низкомолекулярных продуктов (в том числе и воды) на технологической стадии изготовления при сшивке полиэтиленовой изоляции и увлажнении в процессе эксплуатации [1]. Любая неоднородность приводит к локальному повышению напряженности поля и развитию дендритов, которые являются источником частичных разрядов в изоляции и приводят, в конечном итоге, к преждевременному пробоем кабеля [1]. Вопросам построения моделей для расчета и анализа распределения напряженности неоднородных электрических полей в диэлектрической среде с включениями разной формы, взаимным

расположением и с разными электрофизическими параметрами посвящен ряд работ [1, 2]. Численные расчеты выполняются с использованием пакетов прикладных программ, реализующих метод конечных элементов [3]. Так, расчеты, выполненные в [3], показывают, что коэффициент неоднородности электрического поля (отношение максимального значения напряженности поля в расчетной области к среднему значению напряженности во всей изоляции) возрастает более чем в три раза (с 20 до 87) при увеличении диаметра водяного включения в 10 раз (с 5 до 50 мкм). В [4] на основе разработанной математической модели с применением пакета прикладных программ Cosmol Multiphysics получено распределение напряженности электрического поля в изоляции с гетерогенными включениями разных наполнений. Коаксиальная конструкция кабелей 6-35 кВ [4] в одножильном исполнении имеет осевую симметрию и состоит из: токопроводящей жилы; трехслойной изоляции, включая полупроводящий экран по жиле, полимерную изоляцию, полупроводящий экран по изоляции; медного экрана; защитной полимерной оболочки. В основе численного метода расчета напряженности поля лежат интегральные уравнения Фредгольма для осесимметричного поля [4].

Проводилось численное моделирование распространения ЭМ поля с помощью программы COMSOL [5]. А именно, построение моделей для расчета и анализа распределения напряженности неоднородных электрических полей в диэлектрической среде с включениями разной площади и с разными электрофизическими параметрами (заполнением). Моделирование ЭМП проводилось при заполнении дефекта различными материалами (воздух, вода, спекшийся ПЭ). Площадь дефекта $S_{\text{деф}}$: 0,1*0,05; 0,2*0,1; 0,25*0,15; 0,3*0,2; 0,35*0,25; 0,4*0,3; 0,45*0,35; 0,5*0,4; 0,55*0,45мм. Расстояние от жилы до центра дефекта $r=0,5$; $r=1$; $r=1,5$; $r=2$; $r=2,5$. На рис. 1 приведены зависимости изменение индукции $B(r)$ от площади включения, при его заполнении водой и углеродом плюс СПЭ.

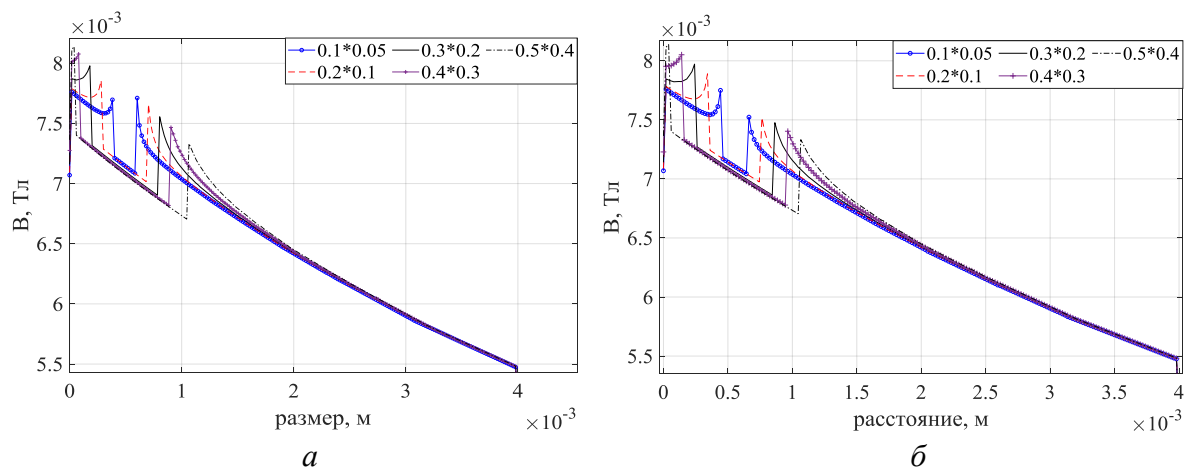


Рис. 1. *а* – заполнение включения – вода; *б* – заполнение включения С+СПЭ

При наличии в изоляции неоднородностей на границах раздела изоляция-неоднородность наблюдаются скачки напряженности электрического поля. Амплитуда скачков по индукции (В) с различными материалами заполнения дефекта, и размерах дефекта 0,1*0,05мм, приведена в табл. 1.

Таблица 1

Амплитуда скачков по индукции (В)

Материал заполнения включения	Первый скачок		Второй скачок	
	Расстояние, м	Значение, Тл	Расстояние, м	Значение, Тл
Вода, (H ₂ O)	0,0003819	0,007766	0,000603	0,007781
Воздух, (N ₂ , O ₂)	0,0003819	0,007697	0,000603	0,007711
СПЭ + углерод, (-CH ₂ -CH ₂ -) _n + C	0,0004824	0,007505	0,0007035	0,007424

Таким образом, проведен расчет и анализ распределения напряженности неоднородных электрических полей в диэлектрической среде с включениями с разными электрофизическими параметрами.

Заключение. Установлено, что при наличии в изоляции неоднородностей на границах раздела изоляция-неоднородность будут наблюдаться всплески напряженности электрического поля ϵ_1/ϵ_2 , ϵ_2/ϵ_3 . С увеличением S_{деф} амплитуда всплеска магнитной индукции (В) на первой границе дефекта возрастает. На второй границе наоборот. С увеличением S_{деф} глубина провала (В) увеличивается. Полученная нейросетевая модель может быть эффективно использована для анализа распределения напряженности неоднородных электрических полей в диэлектрической среде с включениями разной площади и с разными электрофизическими параметрами.

Список литературы

1. Щерба М., Щерба А., Перетятко Ю. Математическое моделирование распределения электрического тока в ветвях водяных деревьев в изоляции силовых кабелей из сшитого полиэтилена. 7-я международная конференция IEEE 2020 по энергетическим интеллектуальным системам (ESS), 353-356.

2. Щерба А., Золотарев В., Щерба М., Белянин Р. Усовершенствованный метод оценки износа индукторной теплоизоляции канальных печей для выплавки сверхчистой меди. 7-я международная конференция IEEE 2020 по энергетическим интеллектуальным системам (ESS), 335-338.

3. Щерба А., Щерба М.А., Перетятко Ю.В. Электрофизический процесс деградации сшитой полиэтиленовой изоляции силовых кабелей

и самоудерживающихся изолированных проводов по несинусоидным напряжениям и токам. ж. Техническая Электродинамика. 2023. Выпуск 1, стр. 3-6.

4. Беспрозванных А.В., Кессаев А.Г. Вычислительные эксперименты для расчета напряженности осесимметричного электростатического поля в кусочно-однородной изоляции со сферическими включениями. Электротехника и электромеханика, 2014. №5. с.67-72.

5. Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Совершенствование методов диагностики и прогнозирования электроизоляционных материалов систем энергоснабжения. Монография / М. Н. Дубяго, Н. К. Полуянович; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – 192 с.

УДК 681.52

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРОЛЛЕЙБУСОВ ПОД АСИНХРОННЫЙ ПРИВОД

¹Климов Сергей Алексеевич, ²Тямкин Вадим Павлович
^{1,2}Тульский государственный университет, г. Тула
¹sergei.klimov.59@mail.ru, ²vadimon73@yandex.ru

Аннотация: рассматриваются вопросы модернизации троллейбусного парка на асинхронный привод, анализируются недостатки релейно-контакторной системы управления двигателем постоянного тока, предлагается использование транзисторной системы управления асинхронным приводом на полевых транзисторах, приводятся данные технико-экономического сравнения вариантов эксплуатации приводов постоянного тока и асинхронных, экономия электроэнергии на тягу по результатам проведенных испытаний составила 38,6%, а затраты времени на проведение регламентных работ по техническому обслуживанию уменьшились на 55%, сделан вывод о преимуществах использования асинхронного привода.

Ключевые слова: модернизация троллейбуса, привод постоянного тока, асинхронный привод, релейно-контакторная система, транзисторная система, технико-экономическая эффективность.

MODERNIZATION OF TROLLEYBUSES TO ASYNCHRONOUS DRIVE

¹Klimov Sergey Alekseevich, ²Tyamkin Vadim Pavlovich
^{1,2}Tula State University, Tula
¹sergei.klimov.59@mail.ru, ²vadimon73@yandex.ru

Abstract: the issues of upgrading the trolleybus fleet to an asynchronous drive are considered, the shortcomings of the relay-contactor control system for a DC motor are analyzed, the use of a transistor control system for an asynchronous drive on field-effect

transistors is proposed, data are given for a technical and economic comparison of operating options for DC and asynchronous drives, saving electricity for traction according to the results of the tests was 38.6%, and the time spent on routine maintenance decreased by 55%, a conclusion was made about the benefits of using an asynchronous drive.

Keywords: trolleybus modernization, direct current drive, asynchronous drive, relay-contactor system, transistor system, technical and economic efficiency

Троллейбус относится к электротранспорту, развитию которого в последнее время уделяется все больше внимания. В настоящее время на улицах российских городов трудятся много машин подобного класса. Многие из них построены еще на старой базе и требуют значительных затрат на эксплуатацию. Приобретение новых машин требует затрат в десятки миллионов рублей, поэтому актуальной задачей является модернизация существующего парка.

Троллейбус как транспортное средство должен иметь широкий диапазон частоты вращения приводного двигателя: от нуля на остановке до 4000 об/мин при максимальной скорости. Для этого необходимы специальные устройства регулирования тока, протекающего через двигатель. Существуют несколько хорошо отработанных принципов построения таких устройств (систем управления).

В основном можно выделить следующие системы управления:

1. Релейно-контакторная система управления (РКСУ). Регулирование тока осуществляется подключением последовательно с тяговым двигателем постоянного тока цепочки мощных пусковых резисторов. Поочередное шунтирование их контактами специального контроллера приводит к изменению тока, проходящего через электродвигатель и, соответственно, к изменению скорости троллейбуса. Главным недостатком этой системы управления является бесполезный во время набора скорости расход электроэнергии, идущий на нагрев резисторов.

2. Транзисторная система управления (ТрСУ) с асинхронным двигателем. Наиболее перспективная система управления, использующая в качестве элементов регулирования тока, протекающего через тяговый электродвигатель, мощные полевые транзисторы. Применение микропроцессорной системы для отслеживания параметров и управления током электродвигателя при различных режимах движения троллейбуса сделало эту систему самой экономичной из существующих.

До конца XX в. на подвижном составе городского электротранспорта (трамвай, троллейбус, метро) на территории бывшего СССР применялся электропривод постоянного тока с РКСУ. Такой привод обладает следующими недостатками:

1. Наличие коллектора у двигателей постоянного тока требовало обслуживания коллекторного щеточного узла и диктовало необходимость

его защиты от попадания влаги, что в условиях эксплуатации достаточно сложно было обеспечить, поэтому в сырую (снежную) погоду увеличивалось число отказов тяговых двигателей.

2. Отсутствие возможности возвращения части энергии при торможении в контактную сеть (рекуперативное торможение).

3. Использование пуско-тормозных реостатов для регулирования скорости приводило к увеличению потерь на регулирование, особенно при движении на низких скоростях.

4. Необходимость использования большого количества контактных аппаратов, осуществляющих коммутацию токов (до 200 А) и требующих периодического обслуживания.

5. Инертность систем токовой защиты не позволяла ограничить токи в аварийных режимах.

Для оценки эффективности использования асинхронных двигателей как тяговых на электротранспорте были выполнены сравнительные испытания троллейбусов. Находившиеся в эксплуатации троллейбусы модели ЗИУ-682Г-016: серийный (зав. № 103) с РКСУ и модернизированный (зав. № 101) с ТрСУ (производство ООО НПФ «АРС ТЕРМ» и ООО НПФ «ИРБИС») - были оснащены приборами контроля РЭТТ-2, позволяющими фиксировать как потребляемую, так и рекуперированную электроэнергию. В течение трех недель троллейбусы эксплуатировались на различных городских маршрутах. При этом ежедневно фиксировался пробег, потребляемая на тягу электроэнергия и рассчитывался удельный расход электроэнергии на 1 км пути. Измерения проводились на маршруте троллейбуса № 3 в городе Калуга, внешнее кольцо. Протяженность маршрута 11,08 км. Результаты эксперимента представлены в табл.1.

Таблица 1

Расход электроэнергии при эксплуатации троллейбусов

	№ 101	№ 103
Показания на начало маршрута, кВт	190042,5	822
Показания конечные, кВт	190056,5	845
Разность, кВт	14	23
Расход на тягу на 1 км пробега	1,27	2,07

В результате сравнительных испытаний экономия электроэнергии на км пробега составила 0,8 кВт*час.

Также был выполнен сравнительный анализ затрат времени на выполнение технического обслуживания (ТО) троллейбусов зав. № 103 (РКСУ) и зав. № 101 (ТрСУ) (табл. 2).

Таблица 2

Затраты времени на техническое обслуживание троллейбусов

Наименование обслуживаемого электрооборудования	Время на обслуживание, час.			
	ЗИУ с РКСУ		ЗИУ с ТрСУ	
	ТО-1	ТО-2	ТО-1	ТО-2
За один месяц: ТО-1 — 8 раз, ТО-2 — 1 раз	46,888	14,856	19,64	7,66
За один год: ТО-1 — 96 раз, ТО-2 — 12 раз, сезонное — 1 раз	562,656	178,272	235,68	91,992
ВСЕГО за год	743,928		335,672	

В итоге полученный процент экономии электроэнергии на тягу по результатам проведенных испытаний составил 38,6 %, а затраты времени на проведение регламентных работ по ТО уменьшились на 55 %.

Таким образом, успешный опыт замены тяговых двигателей постоянного тока на асинхронные тяговые двигатели с транзисторным управлением позволяет сделать следующие выводы:

1. Повышается надежность эксплуатации подвижного состава за счет улучшения динамических характеристик троллейбуса.

2. Значительно снижаются эксплуатационные расходы, связанные как с техническим обслуживанием троллейбусного парка, так и с экономией электроэнергии, потребляемой тяговым электроприводом.

3. При выполнении капитально-восстановительного ремонта подвижного состава электротранспорта целесообразно проводить замену привода постоянного тока с релейно-контакторной системой управления асинхронным приводом с транзисторной системой управления.

УДК 621.316.1

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Ливенцов Вячеслав Сергеевич
Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия
s.livencov@mail.ru

Аннотация: в целях обоснования диапазона изменения величины питающего напряжения, выполнен анализ совокупности данных о его изменении, полученных

в результате проведенных измерений на секциях шин с номинальным напряжением 6 кВ подстанции БТ-1 и секциях шин с номинальным напряжением 10 кВ подстанции АС-10. Установлено, что для сетей с номинальным напряжением 6 кВ, в среднем для трех фаз медианное значение отклонения напряжения составляет 5,27 %, максимальные отрицательное отклонение – 3 % а положительное – 9,98 %, в то же время для сетей с номинальным напряжением 10 кВ, в среднем для трех фаз медианное значение отклонения напряжения составляет 3,99 %, максимального отрицательного отклонения нет, а максимальное положительное – 7,56 %. Таким образом, как отрицательные, так и положительные отклонения напряжения, измеренные на шинах 6 (10) кВ, не превышают 10 %, что соответствует требованию ГОСТ 32144-2013.

Ключевые слова: питающее напряжение, длина линии электропередачи 6 (10) кВ, система электроснабжения, колебания напряжения, ГОСТ 32144-2013.

THE RESULTS OF THE STUDY OF THE DEVIATION OF THE SUPPLY VOLTAGE IN THE DISTRIBUTION ELECTRICAL NETWORKS

Vyacheslav Sergeevich Liventsov

South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova,
Novocherkassk, Russia
s.livencov@mail.ru

Abstract: in order to substantiate the range of changes in the value of the supply voltage, the analysis of the totality of data on its change obtained as a result of measurements on bus sections with a nominal voltage of 6 kV of the BT-1 substation and bus sections with a nominal voltage of 10 kV of the AS-10 substation was performed. It was found that for networks with a nominal voltage of 6 kV, on average for three phases, the median voltage deviation is 5,27 %, the maximum negative deviation is 3 % and the positive deviation is 9,98 %, while for networks with a nominal voltage of 10 kV, on average for three phases, the median voltage deviation is 3,99 %, there is no maximum negative deviation, and the maximum positive is 7,56 %. Thus, both negative and positive voltage deviations measured on 6 (10) kV buses do not exceed 10 %, which corresponds to the requirement of GOST 32144-2013.

Key words: supply voltage, length of the power line 6 (10) kV, power supply system, voltage fluctuations, GOST 32144-2013.

Качество электрической энергии оказывает значительное влияние на технико-экономические характеристики и надежность эксплуатации электрооборудования электроэнергетических систем [1]. Оно характеризуется таким понятием, как показатели качества электроэнергии, для каждого из которых установлены свои соответствующие нормы. Показатели, характеризующие качество электрической энергии, выходя за допустимые пределы, в совокупности с другими факторами приводят к неоптимальным режимам работы электроприемников. Величина отклонения питающего напряжения является одним из показателей качества электрической энергии [5]. Изменение величины напряжения сверх допустимого значения оказывает значительное влияние на работу электропотребителей [6], способствуя увеличению потерь в элементах электрической сети и росту потребления электроэнергии [1].

Согласно ГОСТ 32144-2013 к показателям качества электрической энергии, связанным с медленным изменением напряжения электропитания, относятся отрицательное ($\delta U_{(-)}$) и положительное ($\delta U_{(+)}$) отклонения напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального (согласованного) значения, измеряемые в % [1]. Медленные изменения напряжения электропитания (как правило, продолжительностью более 1 мин) обычно обусловлены изменениями величины нагрузки электрической сети, поэтому уровень напряжения в любом узле электроэнергетической системы непрерывно изменяется [2]. При этом ГОСТ 32144-2013 для указанных выше показателей качества электрической энергии устанавливает следующие нормы: положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10 % номинального или согласованного значения напряжения в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

В виду выше сказанного, анализ показателей качества электрической энергии, относящихся к отрицательному и положительному отклонениям питающего напряжения, является актуальной задачей [4]. В целях выполнения указанного анализа в течении одного месяца выполнялся сбор данных о величинах фазных напряжений на шинах 6 (10) кВ главных понизительных подстанций БТ-1 и АС-10. Измерения фазных напряжений, на соответствующих шинах, питающих отходящие от подстанций линии, выполнялись с использованием оперативного информационного управляющего комплекса «Монитор».

Измерения на подстанции БТ-1 были выполнены на секциях шин с номинальным напряжением 6 кВ, на подстанции АС-10 на секциях шин с номинальным напряжением 10 кВ. Объем исследуемой совокупности измеренных значений по каждой фазе составил свыше 36 тыс. значений.

Для большей наглядности вычисленных параметров прикладной статистики были построены гистограммы распределения исследуемой совокупности измеренных фазных напряжений для фазы L_1 на шинах 6 (10) кВ (рис. 1).

Таким образом, по результатам выполненного анализа можно сделать вывод, что для исследуемых сетей с номинальным напряжением 6 кВ, в среднем для трех фаз медианное значение отклонения напряжения составляет 5,27 %, максимальные отрицательное отклонение – 3 % а положительное – 9,98 %, а для сетей с номинальным напряжением 10 кВ, в среднем для трех фаз медианное значение отклонения напряжения составляет 3,99 %, максимального отрицательного отклонения нет, а максимальное положительное – 7,56 %, что соответствует норме (не более 10 %) указанной в п. 4.2.2 ГОСТ 32144-2013.

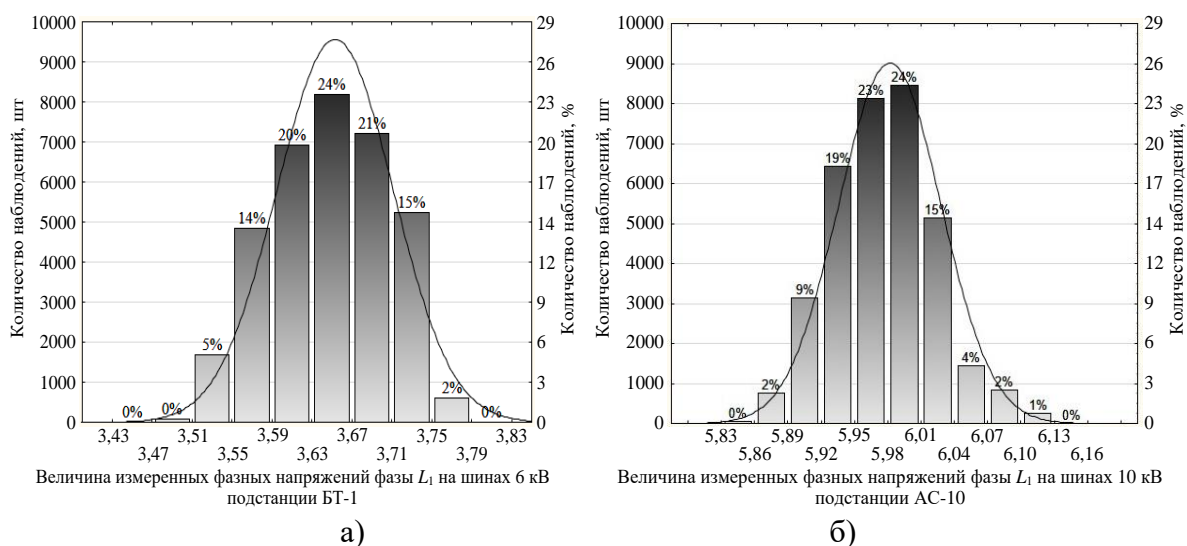


Рис. 1. Гистограмма распределения исследуемой совокупности измеренных значений фазных напряжений фазы L_1 : а - на шинах 6 кВ подстанции БТ-1; б- на шинах 10 кВ подстанции АС-10

Таблица 1

Результаты расчета параметров прикладной статистики для измеренных значений фазных напряжений на шинах 6 кВ подстанции БТ-1 и 10 кВ подстанции АС-10

Параметр	БТ-1			АС-10		
	Фаза L_1	Фаза L_2	Фаза L_3	Фаза L_1	Фаза L_2	Фаза L_3
Среднее арифметическое, кВ	3,65	3,6	3,68	5,98	6,01	6,01
Медиана, кВ	3,65	3,6	3,69	5,98	6,01	6,02
Стандартное отклонение, кВ	0,059	0,051	0,066	0,045	0,046	0,049
Минимальное значение, кВ	3,38	3,36	3,4	5,83	5,87	5,88
Максимальное значение, кВ	3,8	3,74	3,81	6,15	6,18	6,21
Нижняя квартиль, кВ	3,61	3,57	3,63	5,95	5,98	5,98
Верхняя квартиль, кВ	3,7	3,64	3,74	6,01	6,04	6,05

Исходя из приведенных гистограмм (рис. 1 и рис. 2), а также рассчитанных параметров прикладной статистики (табл. 1 и табл. 2) для совокупности измеренных фазных напряжений на шинах 6 (10) кВ подстанций БТ-1 и АС-10, можно сделать заключение, что как отрицательные, так и положительные отклонения напряжения не превышают 10 %, что соответствует требованию ГОСТ 32144-2013. При этом усредненное значение величины медианы для фазных напряжений

соответствует положительным отклонениям напряжений. Полученные в ходе проведенного исследования результаты согласуются с данными, приведенными в работах [3, 4], в которых также указано, что отклонение напряжения не превышает значения установленного в п. 4.2.2 ГОСТ 32144-2013.

Список литературы

1. Мухаметзянова А.Ф., Грачева Е.И. Повышение эффективности эксплуатации трансформаторов, применяемых в системах промышленного электроснабжения // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 1 (6). С. 117 – 126.

2. Гольдштейн В.Г., Инаходова Л.М., Казанцев А.А. Исследование электрических режимов при использовании инновационных конструкций силовых трансформаторов в системах электроснабжения нефтегазодобывающих компаний // Интеллектуальная электротехника. 2020. № 3 (11). С. 64 – 72.

3. Ливенцов В.С., Костинский С.С., Троицкий А.И., Савелов Н.С. Способ определения комплексного значения совокупных потерь полной мощности в системе электроснабжения // Известие высших учебных заведений. Электромеханика. 2022. № 4 (65). С. 97 – 107.

4. Дед А.В., Паршукова А.В. О показателях качества электрической энергии. Нормы ГОСТ 32144-2013 // Омский научный вестник. 2015. № 1 (137). С. 148 – 150.

5. Куценко Г.Ф., Парфенов А.А. Исследование отклонения напряжения в моделях ВЛ 6 – 10 кВ сельскохозяйственного назначения // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2002. № 2. С. 37 – 40.

6. Караев А.У. Исследование потери и отклонения напряжения при нагревании проводов электрическим током // Известие Омского технологического университета. 2019. № 1. С. 120 – 123

УДК 620.92

КОНТРОЛЬ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В МАТЛАВ

¹Лю Жуньда, ²Груздев Александр Станиславович, ³Чжан Ханьян, ⁴Фан Юйхэн
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург
²gruzdev@cee.spbstu.ru

Аннотация: увеличение потребления энергии людьми и истощение традиционных источников энергии стали центром внимания человечества. Развитие

и использование возобновляемых источников энергии стало целью, преследуемой различными странами. Поскольку солнечная энергия является наиболее распространенной и чрезвычайно удобной новой энергией для применения, а также имеет преимущества экологичности и неисчерпаемости, она выделяется среди многих возобновляемых источников энергии. На выходную мощность фотогальванических элементов сильно влияют внешние факторы, такие как интенсивность излучения, температура окружающей среды, характеристика нагрузки, для повышения эффективности использования солнечной энергии, фотогальванические элементы должны быть в состоянии адаптироваться к изменениям во внешней среде во времени и всегда работать на максимальной мощности. Существует несколько методов контроля максимальной мощности, поэтому полезно использовать системы моделирования, такие как MATLAB. Результаты, полученные при симуляции в MATLAB, могут быть успешно применены при изготовлении контроллера отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ).

Ключевые слова: отслеживание точки максимальной мощности, метод фиксированного напряжения, метод поиска максимума мощности методом возмущения, метод возрастания проводимости, DC/DC преобразователь, MATLAB.

PV CONVERTER MAXIMUM POWER CONTROL SYSTEM FOR MATLAB

¹Liu Runda, ²Gruzdev Alexander Stanislavovich, ³Zhang Hanyang, ⁴Fang Yuheng
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg
²gruzdev@cee.spbstu.ru

Abstract: with the increase in human energy consumption, environmental pollution and energy depletion have become the focus of human attention. The development and use of renewable energy sources has become a goal pursued by various countries. Since solar energy is the most common and extremely convenient new energy to develop, and has the advantages of purity and inexhaustibility, among many renewable energies stand out. Since the output power of photovoltaic cells is strongly influenced by external factors such as radiant intensity, ambient temperature, and load characteristics, to improve the efficiency of using solar energy by photovoltaic cells, photovoltaic cells must be able to adapt to changes in the external environment over time and always work on maximum power. There are several methods for controlling the maximum power, so it is useful to use modeling systems such as MATLAB. The results obtained during simulation in MATLAB can be successfully applied in the manufacture of a maximum power point tracking (MPPT) controller.

Keywords: maximum power point tracking, MPPT, fixed voltage method, perturbation maximum power search method, conductance rising method, DC/DC converter, MATLAB.

Основными проблемами при практическом применении фотоэлектрических систем являются ярко выраженная зависимость энергетических характеристик солнечных элементов от внешних факторов. С целью повышения энергоэффективности большинство современных фотоэлектрических систем строятся с использованием технологии отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ), что позволяет увеличить выработку электроэнергии до 10 % [1]. Эта технология основана на изменении характеристик нагрузки фотоэлектрического преобразователя таким образом, чтобы КПД был максимальным [1].

С развитием электронных технологий текущее ОТММ-управление солнечными батареями обычно осуществляется с помощью схемы DC/DC-преобразователя. Принципиальная блок-схема показана на рисунке 1. Фотоэлектрический массив подключается к нагрузке через преобразователь DC/DC. Устройство отслеживания максимальной мощности непрерывно определяет изменения тока и напряжения фотоэлектрического массива и в соответствии с этими изменениями регулирует рабочий цикл ШИМ-сигнала преобразователя DC/DC.

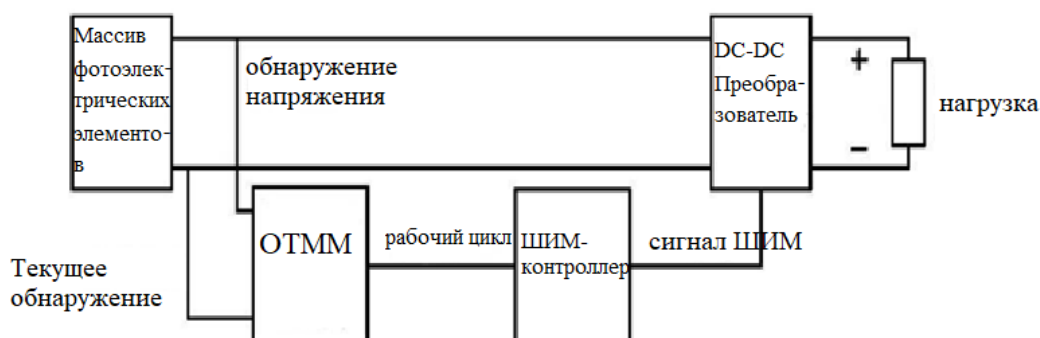


Рис. 1. Принцип отслеживания точки максимальной мощности

Метод постоянного напряжения является одним из самых простых методов управления МРРТ. Когда интенсивность света меняется, а температура окружающей среды остается постоянной, разница между выходным напряжением, соответствующим точке максимальной мощности фотоэлемента, мала. Поэтому, пока выходное напряжение фотоэлектрической системы установлено на напряжение точки максимальной мощности при определенной интенсивности света, ее выходная мощность будет равна максимальной выходной мощности, соответствующей данной температуре. Мы провели моделирование с помощью MATLAB/SIMULINK и получили результат, показанный на рисунке 2.

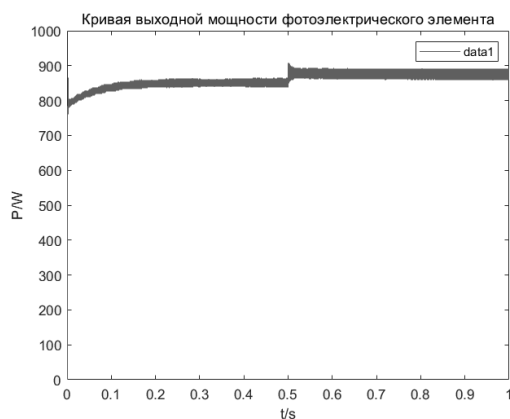


Рис. 2. Кривая выходной мощности фотоэлектрического элемента

Недостатком этого метода является то, что влияние изменений естественной температуры окружающей среды и температуры самой фотоэлемента может вызвать колебания в значении напряжения максимальной точки мощности, и поэтому использование этого метода может увеличить потери мощности в ситуациях, когда существует большая разница температур в течение года или большая разница температур между днем и ночью.

Метод поиска максимума мощности методом возмущения [2-4] является основным методом управления ОТММ, используемым в настоящее время. Он имеет простую внутреннюю структуру и требует меньшего количества параметров для измерения, поэтому широко используется для отслеживания точки максимальной мощности фотоэлектрических панелей. Основной принцип заключается в работе фотоэлемента в определенной рабочей точке, а затем в регулярном, периодическом и слегка количественном увеличении или уменьшении выходного напряжения U или выходного тока I фотоэлемента - процесс, называемый возмущением. Мы провели моделирование с помощью MATLAB/SIMULINK и получили результат, показанный на рисунке 3.

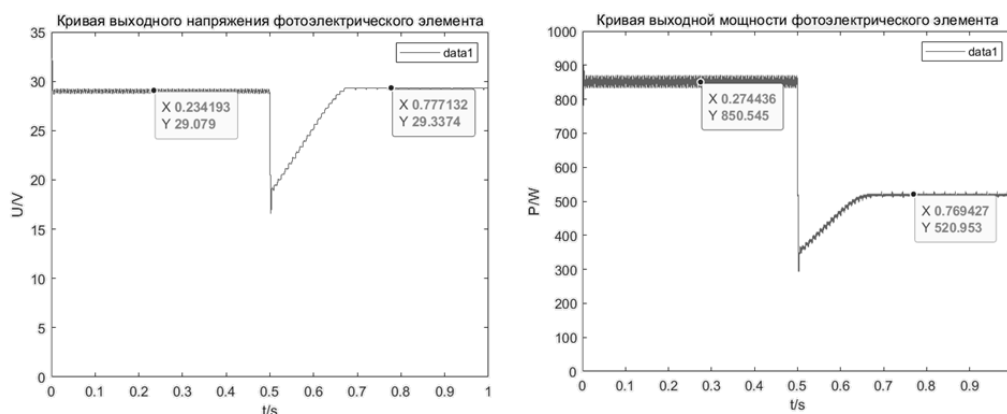


Рис. 3. Кривая выходной напряжения и мощности фотоэлектрического элемента

Метод поиска максимума мощности методом возмущения обладает низкой вычислительной нагрузкой, что делает его простым в реализации. Однако недостатками метода поиска максимума мощности методом возмущения являются: когда шаг возмущения большой, скорость отклика изменяется быстрее, но установившаяся точность не может удовлетворить требованиям; когда шаг возмущения мал, установившаяся точность относительно высока, но скорость отслеживания может быть ниже.

Метод возрастания проводимости [2] реализует отслеживание точки максимальной выходной мощности путем сравнения мгновенной проводимости и изменения проводимости фотогоальванического элемента.

Когда фотогальваническая батарея работает в точке максимальной мощности, то есть $dP/dU=0$; когда она работает слева от точки максимальной мощности, то есть $dP/dU>0$; когда она работает в правой части точки точки максимальной мощности, то есть $dP/dU<0$.

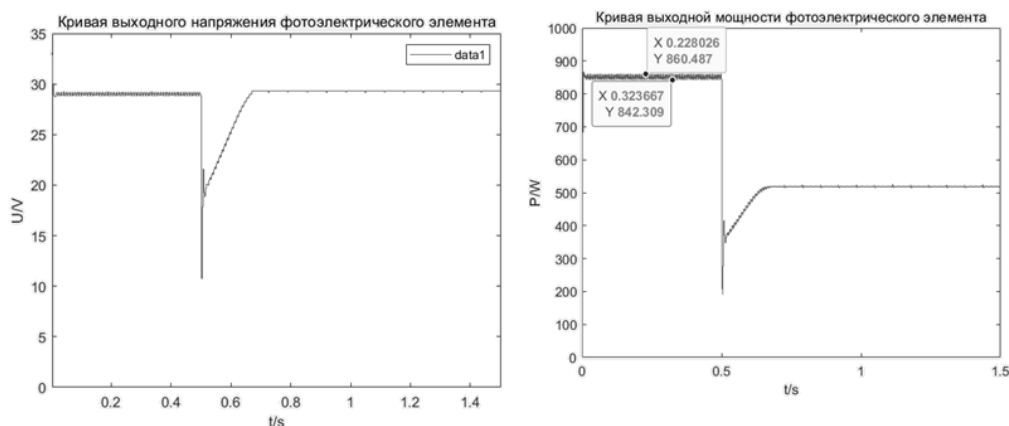


Рис. 4. Кривая выходной напряжения и мощности фотоэлектрического элемента

При относительно небольших значениях dP и dU требуется высокая точность применяемых датчиков, поэтому алгоритм требует больших вычислительных ресурсов и более сложен в реализации. В процессе моделирования было показано, что колебания ОТММ были уменьшены на 51% по сравнению с методом возмущений, что показывает, что метод возрастания проводимости является более эффективным по КПД. Однако его относительная сложность в реализации не позволяет применять этот метод в простых и дешевых контроллерах ОТММ.

Список литературы

1. Toumi D., Benattous D., Ibrahim A., Abdul-Ghaffar H.I., Obukhov S., Aboelsaud R., Labbi Y., Zaki Diab A.A. Optimal design and analysis of DC-DC converter with maximum power controller for stand-alone PV system // Energy Reports. 2021. № 7. P. 4951–4960. doi: 10.1016/j.egyr.2021.07.040.
2. Swaminathan N., Lakshminarasamma N., Cao. Y. A Fixed Zone Perturb and Observe MPPT Technique for a Standalone Distributed PV System // IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 2022. № 10(1). P. 361-374. doi: 10.1109/JESTPE.2021.3065916.
3. Salman S., Ai X., Wu Z. Design of a P-&O algorithm based MPPT charge controller for a stand-alone 200W PV system // Prot Control Mod Power Syst. 2018. № 25(3). doi: 10.1186/s41601-018-0099-8
4. Razmjoooy N., Estrela V.V., Padilha R., Monteiro A.C.B. World Cup Optimization Algorithm: Application for Optimal Control of Pitch Angle in

УДК 338.2:620.9

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДЯНЫХ НАСОСОВ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Лутфуллоев Джобир Собирджонович
Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти
Ljobir2@mail.ru

Аннотация: в статье рассматриваются проблемы энергосбережения при использовании водяных насосов в жилищно-коммунальном хозяйстве

Ключевые слова: коммунальное хозяйство, водяной насос, привод насоса, эффективность, энергосбережение, оптимизация энергопотребления

PROBLEMS OF ENERGY SAVING USE OF WATER PUMPS IN HOUSING AND UTILITIES

Lutfulloev Jobir Sobirjonovich
Togliatti State University, Togliatti
Ljobir2@mail.ru

Annotation: the article deals with the problems of energy saving when using water pumps in housing and communal services

Keywords: utilities, water pump, pump drive, efficiency, energy saving, energy optimization

Электрические насосы потребляют около 20 % мирового спроса на электроэнергию и от 25 % до 50 % потребления электроэнергии в определенных районах. Насосы являются крупнейшим потребителем электроэнергии в промышленности в Европейском союзе, потребляя более 300 ТВт / ч электроэнергии, что, в свою очередь, соответствует выбросам более 65 млн. тонн CO₂.

Для оценки эффективности работы насосных установок применяются различные методики [1]. Базовой оценкой может служить опросный лист со следующими вопросами:

- присутствует ли холостой поток жидкости?
- создается ли дополнительное давление?
- функции, реализованные системой управления?
- наличие шума при работе.

Большинство насосных станций были спроектированы и построены задолго до того момента, когда в мире стали уделять повышенное

внимание вопросом экономии электроэнергии, как основы энергосберегающих технологий (см. рис. 1). При проектировании насосных установок были заложены так называемые «коэффициенты безопасности» для возможных будущих повышений или для учета износа насоса или загрязнения системы. Это позволило насосным станциям находиться в эксплуатации более продолжительное время, чем планировалось изначально. Подавляющее большинство насосных систем не предназначены для сохранения энергии в качестве основного своего параметра, также как не предназначены для рекуперации энергии. Но даже несмотря на это, правильно подобранные соотношения основных технологических параметров, позволяло экономить до 25 % электроэнергии, в сравнении с неправильно рассчитанными техническими системами.



Рис. 1. Машинный зал канализационной насосной станции городского жилищно-коммунального хозяйства

Для разработки энергосберегающей насосной установки необходимо учитывать многие критерии:

- основную схему насосной станции;
- конфигурация трубопроводов;
- скорость жидкости при работе в трубах;
- характеристики системы водоснабжения и выбор насоса;
- параметры насоса и его системы управления.

Правильно заданные параметры давления/потока жидкости, правильно выбранные данные насосного агрегата и его электрического привода, его оптимальное соответствие создаваемой системы водоснабжения или водоотведения, напрямую влияют на низкое электропотребление системы в целом и электродвигателя в частности.

Энергия, необходимая для приведения во вращение насосной установки, напрямую связана с требуемым расходом и давлением. Здесь

важна точность параметров, так как использование высоких давлений обычно приводит к удорожанию конструкций, но при этом эффективность их работы оставляет желать лучшего. Аналогично можно сказать что слишком низкое давление, упрощает и удешевляет систему, но показатели производительности системы не удовлетворяют потребителей. Таким образом при проектировании систем водоснабжения с электрическими насосными установками необходимо пользоваться справочной и методической литературой [2].

Что же можно сделать в данной ситуации, как улучшить энергетические показатели работы. В первую очередь возникает желание улучшить энергетические показатели электрического привода насосной установки. Приводы с регулируемой скоростью могут экономить энергию. В настоящее время подтверждена существенная экономия энергии всего лишь за счет использования привода с изменяемой частотой вращения совместно с высокоэффективными двигателями. К таким относятся ... Как правило, приводы с регулируемой скоростью используются для постоянной регулировки скорости насоса в соответствии с параметрами системы.

Экономия может быть определена правильным сочетанием потока жидкости (Q), напора жидкости (H), мощности электродвигателя (P) и его частоты вращения (n) (пример см. рис. 2)

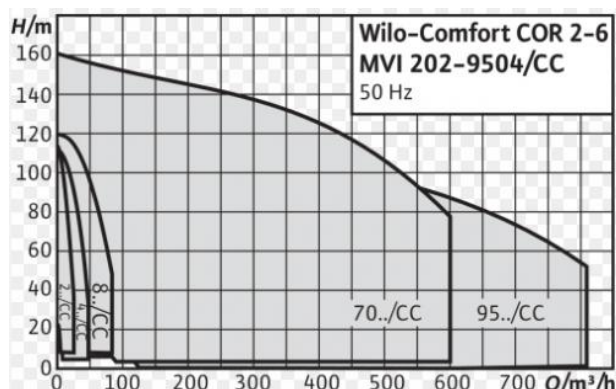


Рис. 2. Оптимальные параметры насосной станции Wilo CO-2 MVI 7006/CC-PN25-EB-R

Как же можно оптимизировать работу системы водоснабжения или водоотведения. Рассмотрим возможные варианты.

Изучить возможность применения в данной системе альтернативной конфигурации. В некоторых случаях переход от существующей схемы насоса к альтернативе может предложить возможности энергосбережения.

Внедрение более совершенной системы контроля за работой как электродвигателя, так и всей системы в целом. Поиск ранних признаков

износа насоса, который может включать повышенный уровень шума, вибрации или энергопотребления, позволяет добиться значительной экономии энергии и затрат на техническое обслуживание.

Предложить максимально удобную и менее затратную методику выполнения регламентных работ, оптимизировать сроки и объемы выполняемых работ. При проектировании или замене насосов следует учитывать будущие требования к техническому обслуживанию. Особый акцент сделать на возможности применения альтернативных запасных частей и расходных материалов, отсутствующих в оригинальных рекомендациях. Это позволит снизить риски проведения некачественного обслуживания системы, а значит повысит ее надежность.

Эффективные, хорошо обслуживаемые насосы, скорее всего, будут надежными и вряд ли выйдут из строя преждевременно, что приведет к потере производства или услуг.

Оптимизировать совместную работу основных и резервных насосных агрегатов. Резервные насосные установки без потребности должны быть отключены для экономии энергии.

Проверить, работает ли насос в большинстве случаев близко к точке максимальной эффективности (ТМЭ). Если нет, оптимизировать работу системы. Например, ротодинамические насосы, работающие вдали от ТМЭ, не только расходуют энергию, но и сокращают срок службы насоса.

При модернизации, замене или расширении насосной системы спрос мог измениться, и существующие насосы могут быть не самым эффективным решением. Поэтому прежде чем менять насосы на новые, необходимо провести определенные изыскательные работы.

Можно использовать новейшие достижения для получения максимально возможной эффективности привода, применять вариатор, интегрированный контроль и мониторинг, двигатели с магнитоэлектрическим возбуждением.

Список литературы

1. Лезнов Б.С. Методика оценки эффективности применения регулируемого электропривода в водопроводных и канализационных насосных установках. М.: Машиностроение, 2011 г., 88 с.

2. Электронный справочник по насосам [Электронный ресурс] / URL: https://www.politerm.com/zuluhydro/webhelp/ref_pumps.html (дата обращения 15.05.2023).

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ВЛЭП

¹Малаева Ева Денисовна, ²Маслов Савелий Юрьевич,

³Хамидуллин Ильдар Ниязович,

Науч. рук. к-д техн. наук, доцент. Иванов Дмитрий Алексеевич

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

¹malaeva_eva01@mail.ru, ²saveli2000@gmail.com, ³ildar.ildar-xam2017@yandex.ru

Аннотация: одной из ключевых задач электросетевого комплекса является обеспечение электрической энергией потребителей, к которым помимо обычного населения относятся также и различные производства, и предприятия. В связи с этим возникает необходимость в контроле состояния ВЛЭП для предотвращения различных аварийных ситуаций на них. В данной работе описана концепция обследования ВЛЭП путем использования беспилотного наземного транспорта, и ее перспективы развития.

Ключевые слова: ВЛЭП, беспилотный транспорт, мониторинг состояния ВЛЭП, электрическая энергия, энергоэффективность.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF UNPILOTED GROUND TRANSPORT IN SURVEYING OHL

¹Malaeva Eva Denisovna, ²Maslov Savely Yurievich, ³Khamidullin Ildar Niyazovich

Scientific advisor Ivanov Dmitry Alekseevich

^{1,2,3}KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

¹malaeva_eva01@mail.ru, ²saveli2000@gmail.com, ³ildar.ildar-xam2017@yandex.ru

Abstract: one of the tasks of the power grid complex is to ensure the participation of consumers, which include any types of activities of the population, as well as various types of production and enterprises. In this regard, there is a possibility in monitoring the state of overhead power lines to prevent various accidents on them. This paper describes the concept of using high-voltage power lines by using unmanned ground transport and its development prospects.

Key words: VTL, unmanned vehicles, monitoring of the state of VTL, electric energy, energy efficiency.

С каждым годом потребителей электрической энергии в России становится все больше, активно развивается промышленный комплекс, строятся различные заводы и производства. В связи с этим возникает необходимость в создании новых магистралей, по которым данная энергия будет передаваться к конечным потребителям. По этой причине ближе к 2025 году в России планируется ввести в опытную эксплуатацию воздушные линии электропередачи протяжённостью 14 850 километров. [1].

Следовательно, одной из ключевых задач электросетевого комплекса становится обеспечение работоспособности ВЛЭП, путем мониторинга

состояния линий, для того чтобы не допустить различные аварийные ситуации на них, которые могут привести к нарушению бесперебойной передачи энергии.

Как правило, осмотр линии осуществляется либо непосредственно бригадой инженеров энергетиков, либо при помощи фотограмметрии. Все это в свою очередь является достаточно трудоемким и неточным, а также временно затратным ввиду огромной протяженности линии. Однако в настоящее время становится популярным использование вертолета для облета линии и сбора данных о ее состоянии, но, к сожалению, данный способ достаточно денежно затратен и не всегда выгоден [2].

Ввиду вышеперечисленных минусов, на смену привычным методам осмотра ВЛЭП, приходит использование беспилотных наземных транспортных средств, на колесной или гусеничной основе, беспилотных летательных аппаратов, различных роботизированных комплексов устанавливаемых непосредственно на анализируемом участке линии. Применяя их, можно уменьшить временные и денежные затраты, а также освободить инженеров энергетиков от длительных поездок вдоль проводов с целью выявления различных дефектов [3].

Одним из таких транспортных средств для наземного осмотра ВЛЭП является квадроцикл с автономным управлением (см. рисунок 1). В его состав входит камера высокой четкости, осуществляющая программное управление роботом используя технологию машинного зрения, лидар, работающий в режиме непрерывного излучения лазера, собирающий по точкам информацию об окружающей местности и создающий ее 3D модель, Wi-Fi роутер для передачи полученных данных диспетчеру по беспроводной сети и осуществлению его ручного управления при необходимости, а также отсек под литий-ионные аккумуляторы [4-5]. Модель данного квадроцикла представлена на рисунке 1.

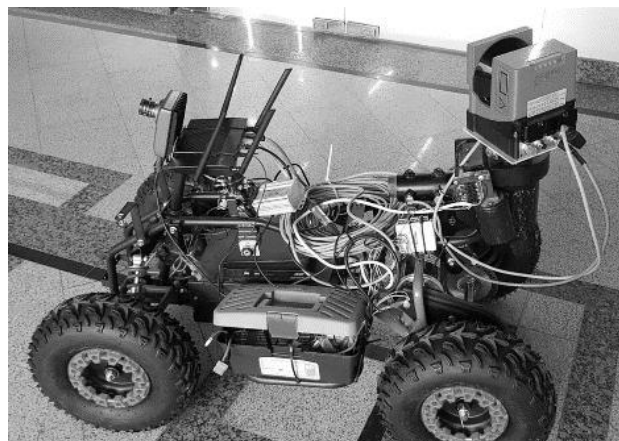


Рис. 1. Квадроцикл для осмотра ВЛЭП

В результате применение такого беспилотного транспорта существенно снижаются денежные и временные затраты на проведение анализа ВЛЭП, к тому же данный метод осмотра позволяет обезопасить инженеров энергетиков от прохождения под опорами и проводами линий, находящихся под высоким напряжением, что делает использование данной технологии мониторинга линий перспективным и требующим внимания энергетических компаний.

Исследования выполнены в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет2030»: соглашение №075–15-2021-1087 от 30.09.2021, соглашение №075–15-2021-1178 от 30.09.2021

Список литературы

1. Кошкаров, А. С. Оценка возможности мониторинга линий электропередач с помощью средств воздушного лидарного сканирования / А. С. Кошкаров, И. В. Савельева // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы : Материалы XXV Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 30 мая – 03 2022 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. – С. 145-149. – EDN WLZTZI.

2. Исмоилов И.И., Грачева Е.И. Повышение управляемости энергетическими системами и улучшение качества электроэнергии // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №1 (53). С. 3-12.

3. Ярославский Д.А., Садыков М.Ф. Разработка устройства для системы мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017;19(3-4):69-79. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-3-4-69-79>

4. Исмоилов И.И., Грачева Е.И. Повышение управляемости энергетическими системами и улучшение качества электроэнергии // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №1 (53). С. 3-12.

5. Исмоилов И.И., Грачева Е.И. Повышение управляемости энергетическими системами и улучшение качества электроэнергии // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1 (53). С. 3-12.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕСТОПЛИВНОЙ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

¹Мезенцев Петр Евгеньевич, ²Кожов Константин Борисович

¹Федеральное государственное учреждение науки Институт теплофизики Уральского
отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург

²Федеральное государственное учреждение науки Институт экономики Уральского
отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург

¹nauka@itpuran.ru, ²kozhov.kb@uiec.ru

Аннотация: рассмотрена экономическая эффективность малой электростанции, не использующей какого-либо топлива для своего функционирования. Эффективность оценивалась на основе дисконтированных затрат за расчетный период эксплуатации. Построена регрессионная модель изменения эффекта от семи показателей. Для этого использована идея полного факторного эксперимента. Получены значения коэффициентов регрессионной модели с малыми доверительными интервалами. Проведена оценка экономической эффективности нескольких солнечных электростанций на Урале и на Камчатке. Показано, что рассмотренные электростанции эффективны для двадцатилетнего срока эксплуатации. При этом Камчатские солнечные электростанции значительно выгоднее из-за высокой цены на электроэнергию в этом регионе. Предложенная регрессионная модель может быть использована для оценки эффективности различных бестопливных источников электроэнергии на этапах предпроектных исследований.

Ключевые слова: электроэнергетика, электроснабжение, малая генерация, бестопливная генерация, регрессионный анализ, полный факторный эксперимент.

MODELING OF THE EFFICIENCY OF FUEL-FREE SMALL GENERATION

¹Mezentsev Petr Evgenievich, ²Kozhov Konstantin Borisovich

¹Federal State Institution of Science Institute of Thermophysics of the Ural Branch of the
Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg

²Federal State Institution of Science Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences, Ekaterinburg

¹nauka@itpuran.ru, ²kozhov.kb@uiec.ru

Abstract : the economic efficiency of a small power plant that does not use any fuel for its operation has been considered. Efficiency was evaluated on the basis of discounted costs for the estimated period of operation. A regression model of the change in the effect of seven indicators was constructed. For this purpose, the idea of a full factorial experiment was used. The values of the coefficients of the regression model with small confidence intervals were obtained. The economic efficiency of several solar power plants in the Urals and Kamchatka has been evaluated. It is shown that the considered power plants are effective for a twenty-year operation period. At the same time, Kamchatka solar power plants are much more profitable due to the high price of electricity in this region. The regression model proposed can be used to asses the efficiency of various non-fuel sources of electricity at the stages of pre-project studies.

Keywords: electric power industry, power supply, small generation, fuel-free generation, regression analysis, full factorial experiment.

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция увеличения доли возобновляемых источников первичной энергии для выработки электроэнергии. Кроме того, ведутся исследования по использованию энергии земной коры, ядерных реакций, магнитного и электрического полей Земли для выработки электрической и тепловой энергии [1]. Создание разнообразных автономных бестопливных источников электроэнергии в совокупности с системами накопления энергии представляется актуальным [2].

Создание конкурентной среды в области производства и распределения электроэнергии стимулирует развитие автономной генерации. Представляется интересным рассмотреть экономическую эффективность сооружения электрогенерирующего источника не использующего какого-либо топлива для своего функционирования. При этом предполагается, что он будет использоваться лишь для выработки электроэнергии.

В качестве критерия экономической эффективности рассматриваются дисконтированные затраты за расчетный период. При этом оценивается разница в дисконтированных затратах между приобретением электроэнергии от существующей электроэнергетической системы и автономным бестопливным источником электроэнергии. Вся выработанная электроэнергия потребляется на предприятии собственника энергоисточника. Присоединение к централизованной энергосистеме отсутствует. Подобный набор допущений позволяет произвести оценку эффективности использования автономного источника электроэнергии в условиях наиболее приближенных к чисто рыночным.

Построение регрессионной модели проведено на основе идей полного факторного эксперимента [3]. Использование факторного эксперимента при создании выборочной совокупности для регрессионного моделирования обеспечивает ее ортогональность и отсутствие корреляционных связей между независимыми переменными, что позволяет повысить адекватность и уменьшить доверительные интервалы коэффициентов регрессионной модели. Для реализации полного факторного эксперимента и расчета дисконтированного накопленного эффекта авторами написана программа на языке *Fortran*.

Результующий перечень переменных регрессионной модели представлен в таблице 1. Курсивом выделен накопленный дисконтированный эффект при использовании автономной электростанции за

расчетный период. Остальные десять величин, используемые для расчета дисконтированных затрат, приняты условно постоянными.

Таблица 1

Список переменных регрессионной модели

№	Наименование	Обозначение	Интервал
1	Цена внешней электроэнергии, руб./кВт час	x_1	4...8
2	Мощность автономной электростанции, МВт	x_2	10...40
3	Коэффициент использования установленной мощности, %	x_3	10...40
4	Потребление электроэнергии на собственные нужды, %	x_4	5...15
5	Удельные капиталовложения, тыс. руб./кВт	x_5	100...200
6	Численность персонала, чел.	x_6	10...40
7	Средняя заработная плата, тыс. руб.	x_7	60...120
8	Накопленный дисконтированный эффект, млрд. руб.	y	нет

В соответствии с методикой полного факторного эксперимента при варьировании семи независимых переменных на пяти уровнях проведено 78125 (5^7) расчетов по определению накопленного эффекта, что позволило определить коэффициенты модели с высокой достоверностью средствами EXEL [4].

Результат регрессионного моделирования представлен в таблице 2. Переменная x_0 обозначает свободный член модели или, другими словами, у-пересечение.

Таблица 2

Результат регрессионного анализа

Переменная	x_0	x_1	x_2	x_3
Коэффициент	-0,3022	0,3254	-0,0471	0,0781
Доверительный интервал (\pm)	0,0177	0,0014	0,0002	0,0002
Переменная	x_4	x_5	x_6	x_7
Коэффициент	-0,0217	-0,0209	-0,0103	-0,0029
Доверительный интервал (\pm)	0,0006	0,0001	0,0002	0,0001

Анализ погрешности показал удовлетворительное качество полученной регрессионной модели. Она была применена для оценки экономической эффективности Артинской СЭС в Свердловской области

и четырех Камчатских солнечных электростанций [5]. После 20 лет эксплуатации накопленный эффект Артинской солнечной электростанции оценивается в размере 0,1 миллиардов рублей, а Камчатских станций в размере 1,6 миллиардов рублей.

Доклад подготовлен в соответствии с утвержденным планом НИР Института экономики УрО РАН на 2023 год.

Список литературы

1. Стребков Д.С. О развитии бестопливной энергетики // Энергетический вестник. 2019. № 25. С. 17-33.
2. Бушуев В.В., Новиков Н.Л. Инфраструктурные накопители в энергетике // Энергетическая политика. 2020. № 10 (152). – С. 74-88. DOI 10.46920/2409-5516_2020_10152_74
3. Монтгомери Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных: Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1980. – 384 с.
4. Петрова В.А. Программирование и решение сложных задач в Excel: учебное пособие. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2016. – 88 с. ISBN 978-5-7996-1949-7
5. Белов О.А., Федоров О.В. Анализ структуры генерирующей мощности и динамики электропотребления в Средне-Камчатском изолированном энергоузле // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т.24. № 5. – С. 120-135. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-5-120-135.

УДК 658.513

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ В СИСТЕМЕ МАССОВОГО ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Мялковский Игорь Константинович¹, Романова Марина Сергеевна²

¹ ООО «ТД «Электротехмонтаж», Санкт-Петербургский клуб ИТ-директоров,
Россия, Санкт-Петербург

² «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения», Россия, Санкт-Петербург

Аннотация: статья посвящена цифровой трансформации образовательных организаций путем внедрения в образовательный процесс цифровых технологий, обеспечивающих резонансное повышение производительности взаимодействия автоматизированных информационных систем в жизненном цикле объекта

электротехники. Предложен эффективный способ внедрения цифровых технологий большинства отечественных предприятий электротехники в систему массового образования посредством всероссийских межвузовских соревнований студентов. Данный способ позволяет сократить время внедрения цифровых технологий в образовательные процессы от обычных двух лет до нескольких месяцев, как среднестатистический результат на выборке из нескольких десятков университетов. Способ целесообразно развивать на принципах опережающего образования для других разделов (не только электротехнических) информационных моделей объектов.

Ключевые слова: цифровизация, информационный сервис, производительность, жизненный цикл объекта, электротехника, синергия, образование, цифровая трансформация.

DIGITAL TRANSFORMATION OF AN ELECTRICAL ENGINEERING ENTERPRISE IN MASS ADVANCED EDUCATION

Myalkovsky Igor Konstantinovich¹, Romanova Marina Sergeevna

¹ LLC «TD «Electrotechnical installation», Saint-Petersburg Club of IT-directors,
Russia, Saint-Petersburg

² «Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation»,
Russia, Saint Petersburg

Annotation: the article is devoted to the digital transformation of educational organizations through the introduction of digital technologies into the educational process, providing resonance increase in the productivity of the interaction of automated information in the life cycle of the electrical engineering object. The article offers an effective way of introduction of digital technologies of most domestic enterprises of electronic equipment into the system of mass education through all-Russian inter-university competitions of students. This method makes it possible to reduce the time of introduction of digital technologies in educational processes from the usual two years to several months, as an average result on a sample of several dozen universities. It is advisable to develop the strategy of advanced education for other sections (not only electrotechnical) information models of facilities.

Keywords: digitization, information service, productivity, life cycle of an object, electrical engineering, synergy, education, digital transformation.

Приблизительно с 2020г или даже ранее основной проблемой ведущих промышленных предприятий – работодателей России стала «традиционно исторически неожиданная» проблема – «кадровый голод». Проблемой согласно стандарту ITILv4¹ называется разновидность или класс задач, которые невозможно решить своими силами или повторяющаяся задача в следствие того, что при первом решении ее недостаточно разобрались в глубинной причине возникшей проблемы.

¹ ITIL (от англ. *IT Infrastructure Library* — библиотека книг, в которых описаны «хорошие» (в предыдущих версиях до ITILv3 – «лучшие») практики информационных технологий. В настоящее время – 20-е годы ХХIв это уже не просто аббревиатура, а популярное название или «бренд», пользующийся доверием миллионов людей.

Решение проблемы осложняется традиционно историческим противоречием. С одной стороны университеты готовят нужных специалистов. С другой – в высокотехнологичных отраслях они требуются систематически потоком. С третьей стороны, обычно три месяца дается на дополнительное обучение поступившего на такую работу кандидата на трудоустройство. Эти три месяца или больше (в особых случаях до полугода) обычно называют испытательным сроком. В это время к новым работникам закрепляется наставник. Название должности или, точнее, роли такого наставника может быть разным: куратор, тренер, тьютор, коуч и т.п. И по завершении этого срока выясняется, что данный человек не справился. К сожалению обеих сторон: кандидата в работники и работодателя. Кстати, им обоим к этому времени работодатель выплатил значительную заработную плату и уплатил все соц. отчисления и налоги. Иными словами, данная проблема и ее последствия слишком дорого обходятся массовому работодателю. Отрицательный эффект можно легко интерполировать: это происходит в масштабе страны и особенно проявляется в крупных организациях федерального значения, нанимающих сотни людей в год.

Проблема эта периодически рассматривается на разных уровнях. Университеты продолжают готовить специалистов «базового уровня подготовки». Т.е. так, чтобы выпускник максимально быстро смог разобраться в конкретных условиях. Работодатели предпочитают нанимать людей «отформатированных рынком». Студенты, на основании проведенных опросов по всей стране, в большинстве своем ошибочно считают, что «без опыта и знакомых на хорошую работу не устроиться, а опыт приобрести негде». Преподаватели обычно учат тому, что хорошо знают. Цифровая трансформация уже происходит в России! Но под этим термином многие специалисты понимают то, чем занимались и ранее: т.е. автоматизацией, информатизацией и роботизацией. Что по определению перечисленных терминов может как считаться внедрением цифровых технологий, так и не считаться. Потому что все перечисленные технологии могут быть как аналоговыми, так и цифровыми. А цифровая трансформация нужна России не для того, чтобы ею заниматься, а для резонансного эффекта роста производительности взаимодействия информационных систем, в конечном итоге для роста уровня и качества жизни населения страны. Причем сама «цифра» – дискретный сигнал – может иметь разный вид: от привычных всем битов и байтов до «цифрового» вектора заданной дискретной длины в n -мерном

пространстве. Последнее, кстати, давно запатентованная отечественная разработка!

Внедрение новых технологий по инициативе работодателей в университетах в среднем по России занимает примерно 2-3 года. Это время тратится на дополнительное обучение, разработку, согласования и утверждение новых образовательных программ. И, естественно, на «преодоление возможного сопротивления персонала сложным организационно-техническим изменениям». В данном случае преподавательского. В соответствии с другим стандартом РМВокб². Очень жаль, что даже здесь приходится ссылаться на «западные стандарты», находясь под их же санкциями и под возможным объявленным нам «технологическим голодом» в перспективе.

В 2022г. удалось частично решить эту проблему! Пока только в электротехнике. Пока только для небольшого количества наиболее активных выбранных конкурсом студентов и преподавателей. Пока только для небольшого количества университетов и работодателей. Причем сами эти студенты, как оказалось, не всегда сразу применяют то, что получили, даже при защите выпускных квалификационных работ бакалавров и магистерских диссертаций. Зато в интересах большинства и на систематической основе.

Решение найдено в организации всероссийских соревнований студентов в двух компетенциях «Эффективное проектирование» и «Эффективное управление поставками». Организаторы соревнований «Эффективное проектирование»: Академия ЭТМ, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП). Специальности соревнующихся: 13.03.02 и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника». Организаторы соревнований по второй компетенции, которая стала продолжением первой: Академия ЭТМ, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ». Специальности соревнующихся – 38.04.02 «Менеджмент».

Положительный эффект предложенной апробированной пятью соревнованиями методологии состоит в сокращении времени внедрения цифровых технологий в систему массового образования до 3-5 месяцев

² Свод знаний по управлению проектами (от англ. *Project Management Body Of Knowledge, PMBOK*) представляет собой сумму профессиональных знаний по управлению проектами.

в зависимости от степени готовности преподавателей к применению технологий информационного моделирования, электронного документооборота и интегрированных и ними внешних цифровых сервисов и информационных систем поставщиков, корпоративных систем крупных промышленных предприятий, регламентированной отчетности в жизненном цикле объектов. За технологическую основу взята цифровая технология на основе www-сервиса iPRO, которая применяется большинством электротехнических предприятий России, в основном монтажных и строительных, и 550 поставщиками. Практика применения этой цифровой технологии крупными корпорациями продемонстрировала положительный эффект, который отражен в таблице 1.

Таблица 1

Иллюстрация эффекта синергии при интеграции корпоративной информационной системы промышленного предприятия электротехники и внешнего сервиса iPRO

До внедрения iPRO	После внедрения iPRO	Полезный эффект
800 поставщиков, используемых случайным подбором на рынке, в условиях тендеров по 44-ФЗ без возможности выбрать аналоги путем их сравнения	1. 2 надежных поставщика 2. Прозрачное ценообразование 3. Работа в соответствии с 44-ФЗ	1. Уменьшение налоговых рисков 2. Оптимизация снижение стоимости бизнес- процессов 3. Честная позиция на рынке
Неконтролируемые закупки на местном рынке. Отсутствие регламента утилизации	Возможность сравнивать аналоги разных поставщиков	Сокращение времени выбора заказа
10000 позиций	10000 позиций. Централизованная поставка на 26 объектов заказчика в 15 областях РФ	Такое же количество позиций номенклатуры при централизованном удобном мониторинге
Среднее время поставок от заявки потребности до получения и учета на складе заказчика 90 дней	Менее 30 дней за счет синергии при взаимодействии участников движения товара от производителя к потребителю	Сокращение времени поставок на 60 дней

Демонстрируемый таблицей результат – корпоративный, достигнутый множеством организаций, которые в разной степени применили цифровые технологии в жизненном цикле своих объектов производства, капитального строительства, модернизации или ремонта электротехнического оборудования.

Положительный эффект в данном случае для образовательных организаций состоит в разработке методологии и применении этих апробированных цифровых технологий для всероссийских студенческих соревнований. Соревнования проводятся один раз в семестр: как правило, в апреле и ноябре. Первая компетенция «Эффективное проектирование» занимает четыре этапа «жизни» объекта: от выбора продукции до продажи технического решения заказчику. Вторая компетенция «Эффективное управление поставками» отражает этапы бизнес-планирования объекта, процедуры доставки заказанной продукции от производителя через поставщика, дистрибьюторские, дилерские сети, региональные офисы продаж или выставочно-торговые центры к заказчику. Рассматриваются линейные, иерархические и циклические цепи поставок. Добавляется решение задачи планирования цепей добавленной стоимости. Доставка продукции планируется на следующий день после заказа с учетом реального количества имеющейся продукции на складах и ценовых условий данного региона заказчика. Каждое соревнование завершается защитой решения конкурсной задачи перед экспертным жюри и другими конкурсантами в очно-удаленном режиме. Соревнующиеся имеют возможность проверить свои знания и навыки в сравнении со студентами других университетов и попробовать себя в разных ролях. Таким образом, конкурсные задания выполняются в условиях, максимально приближенных к реальным. А требуемые большинством работодателей навыки достигаются на основе конкурса при необходимом раскрытии творческих способностей команд.

Следует отметить, что к соревнованиям подключились отечественные производители и разработчики отечественных систем информационного моделирования в электротехнике. В каждом соревновании запланирована конференция с участием работодателей: поставщиков и разработчиков отечественных систем. Решение проблемы создания кадрового потенциала происходит на месте, в «живом общении», на конкурсной основе.

На соревнованиях отрабатываются три важнейших по мнению работодателей навыка:

1. Профессиональный навык квалифицированного выбора продукции поставщиков ПО.

2. Навык коммуникаций между автоматизированными информационными системами – участниками жизненного цикла объекта. Причем участники могут размещаться удаленно, иногда в разных часовых поясах.

3. Навык продажи своего технического решения требовательному заказчику, в качестве которого выступают конкурирующие команды студентов и экспертное жюри.

Содержание компетенции «Эффективное проектирование»:

1. Автоматизированное исследование с использованием цифрового сервиса iPRO представителем заказчика рынка электротехники по трем показателям: цена, качество, наличие сертификатов, наличие товаров на складах разных регионов, время поставки, возможность планировать работы на объекте в зависимости от сроков поступления заданной продукции по товарным группам заданных поставщиков и сроков готовности помещений объекта к началу работ.

2. Автоматизированное информационное моделирование с использованием системы отечественного разработчика nanoCAD «Инженерный BIM/Электро» и цифрового взаимодействия nanoCAD, корпоративных информационных систем заказчиков с сервисом iPRO. Результат представляется в виде чертежа, спецификации и других основных документов в соответствии с ГОСТ Р 21.101-2020, ГОСТ 21.110-1995 п.3, ГОСТ 2.102-2013 ЕСКД и ГОСТ 2.053-2013 п.3.1.6. В информационной модели объекта (в базе данных проекта) должны быть представлены все необходимые характеристики продукции, отображен внешний вид выбранных изделий.

3. Практическое применение автоматизированной нормативно-справочной подсистемы Norma CS.

4. Создание простейшей сметы в Excel или СметаВИЗАРД.

5. Разработка презентации в Power Point с обоснованием принятых решений.

6. Защита решений перед экспертной комиссией в составе представителей нескольких вузов, исполняющей роль потенциального заказчика или руководителя предприятий, на котором создается техническое решение объекта.

7. Бонусом является проверка правильности и возможности технического решения с использованием встроенных в iPRO калькуляторов эффективности решения для практических расчетов «на коленке» в любом месте, где есть интернет и в любое время.

Выбор продукции заказчиком применительно к своему объекту с расчетом на развитие и будущее представляет собой сложную задачу, которая иллюстрируется ниже.

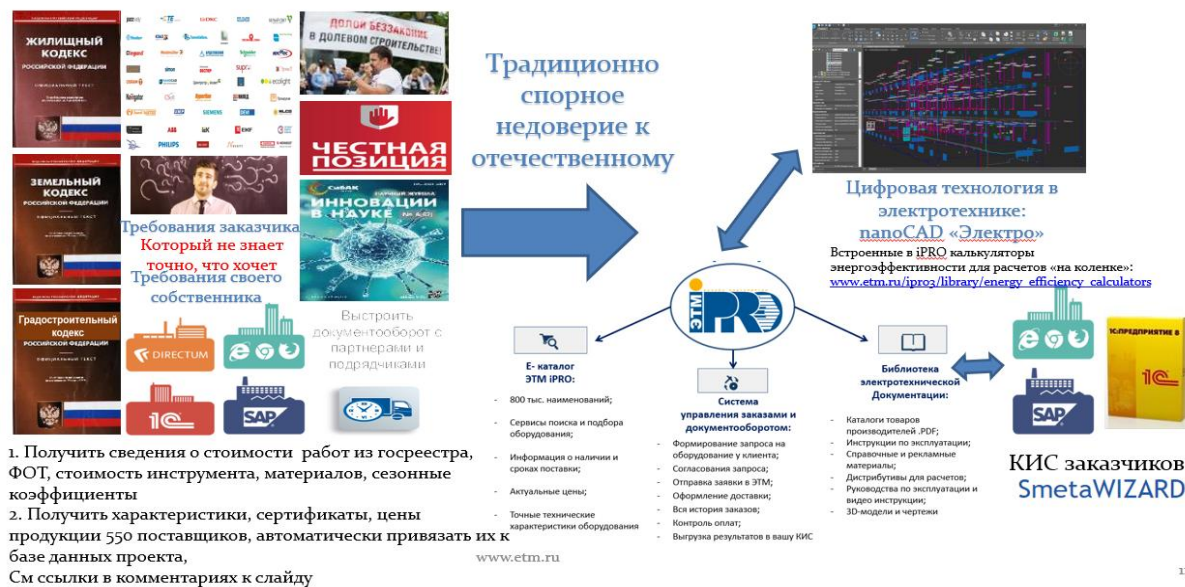


Рис. 1. На что требуется потратить время при выборе заказчиком технического решения своего объекта

Показатели методического выбора продукции:

1. Цена.
2. Качество (совокупность свойств товара в сравнении с аналогами поставщиков).
3. Возможность планировать выполнение работ на объекте с учетом сроков поступления заказанной продукции на объект и в зависимости от готовности помещений объекта получить (принять и оприходовать в регламентированном учете) заказ.
4. Наличие сертификатов на продукцию.
5. Объективно сравнивать аналоги разных поставщиков.
6. Разобраться, выпускается ли данная продукция в необходимом объекту количестве и какой товарный остаток на ближайшем к вашему предприятию складе, на всех складах России.
7. Проверить типоразмеры посадочных мест и массо-габаритные параметры каждого изделия.
8. При необходимости уточнить требования заказчика к специальным характеристикам, например, требования к работе электрооборудования в возможных условиях повышенной радиации или влажности, специальные требования к режимным объектам.

Список литературы

1. Мялковский И.К., Романова М.С. Цифровая трансформация системы массового образования в электротехнике. В журнале «Образование. Наука. Технологии» / БигДата медиа (bigdata-media.ru) Альманах. Российский союз ректоров. Минобрнауки России; октябрь 2021г, с.35.

2. Мялковский И.К., Романова М.С. «Диджитализация образования» В журнале «Русский инженер», Всероссийский информационно-аналитический и научно-технический журнал, №04 (73), ноябрь 2021г., с. 37-40.

3. Мялковский И.К., Треля В.А. Проблемы цифровизации в жизненном цикле объекта электротехники. III Международная практическая конференция ВМ моделирование в задачах строительства и архитектуры, 15-17 апреля 2020г, материалы конференции, научно-технический сборник статей Санкт-петербургский архитектурно-строительный университет.

4. Мялковский И.К., Треля В.А. Ожидаемые изменения производительности предприятия в результате цифровизации объектов электротехники. Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники II Всероссийская научно-практическая конференция, Казань, 18–19 марта 2020 года. Материалы конференции. В двух томах. Том I.

УДК 620.92

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНУЮ СЕТЬ 6-10 КВ

¹Надергулов Марат Муслимович, ²Исаков Руслан Геннадьевич

^{1,2}КНИТУ-КАИ, г. Казань, Россия

¹nadergulov97@mail.ru, ²Ruslanisakov@yandex.ru

Аннотация: в последнее время идет активное внедрение в распределительную сеть 6-10 кВ источников РГ на основе ВИЭ, преимущественно, подключенные к основной сети через инверторы. Преобладание ветряных и солнечных установок делает распределительную сеть уязвимой (не устойчивой) к различным возмущениям и неисправностям, возникающих, как и в самих установках, так и в основной сети. В данной статье представлены основные проблемы внедрения источников РГ и их

влияниена распределительную сеть.

Ключевые слова: распределенная генерация (РГ), распределительная сеть (РС), возобновляемые источники энергии (ВИЭ), релейная защита (РЗ), ток короткого замыкания (ТКЗ).

PROBLEMS OF INTRODUCING DISTRIBUTED GENERATION INTO THE 6-10 KV DISTRIBUTION NETWORK

¹Nadergulov Marat Muslimovich, ²Isakov Ruslan Gennadievich
^{1,2}KNRTU-KAI, Kazan, Russia
nadergulov97@mail.ru, Ruslanisakov@yandex.ru

Abstract: recently there has been an active introduction of renewable energy-based DG sources into the 6-10 kV distribution network, mainly connected to the main grid through inverters. The prevalence of wind and solar installations makes the distribution network vulnerable (not stable) to various disturbances and faults occurring both in the installations themselves and in the main grid. This paper presents the main problems of DG deployment and their impact on the distribution network.

Keywords: distributed generation (DG), distribution network (DN), renewable energy sources (RES), relay protection (RP), short-circuit current (SC).

На сегодняшний день, внедрение распределенной генерации (РГ) оказывает все большее влияние на структуру и работу распределительной сети (РС) 6-10 кВ, состав которых может быть различен, начиная от газотурбинных установок и заканчивая возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Каждый из этих источников по-разному влияет на работу РС в случае возникновения в ней неисправности.

Традиционно РС используют один источник питания, что соответствует однонаправленному потоку мощности. Такие сети являются радиальными, согласно которым и проектируется релейная защита (РЗ) [6]. Обычно, в радиальных сетях, в качестве защиты используют ненаправленные МТЗ, реклоузеры и выключатели нагрузки (ВНА, ВНР) [3]. Наличие РГ изменяет структуру и электрические параметры РС [6], поскольку приводит к двунаправленному потоку мощности, и, следовательно, вызывает нарушение координации, ложные отключения и несрабатывания РЗ [4].

Немаловажной проблемой, возникающей при внедрении РГ, является увеличение токов короткого замыкания (ТКЗ). Поскольку уставки РЗ рассчитываются на основе значения ТКЗ, РЗ трудно точно и правильно реагировать на ток, возникающий как в нормальном, так и в изолированном режиме [5]. Заключается это в непостоянстве источников РГ на основе ВИЭ, их состоянии (информации об их текущей работе) [1].

На рисунке 1 изображена схема РС 10 кВ с наличием РГ, где топология данной сети может иметь множество вариантов.

При этом, выведенная в ремонт отходящая линия или отключенный от сети потребитель, в том числе и РГ, а также изолированный режим работы РС, приводят к изменению величины ТКЗ и рабочего максимального тока, соответственно, меняется и топология сети [2]. Селективность РЗ участка РС, в данном случае, снижается.

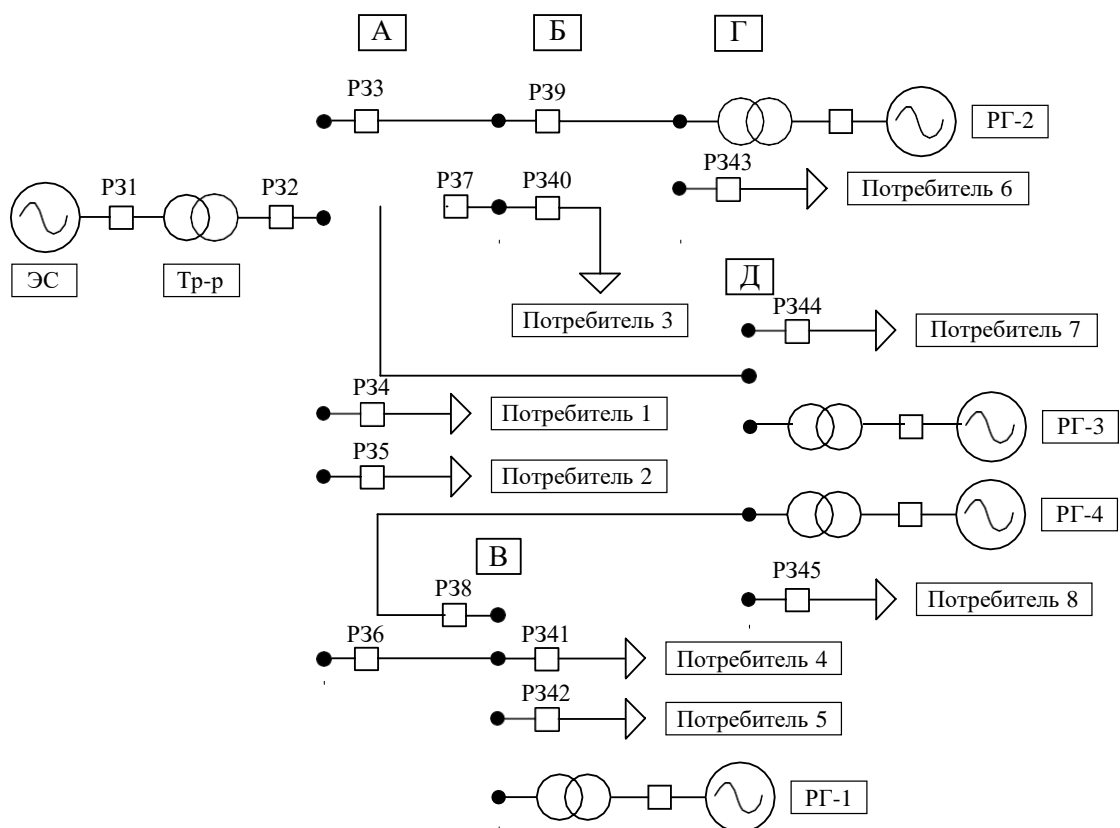


Рис. 1. Схема распределения электрической энергии РС 10 кВ

Помимо увеличения ТКЗ, как показано на рисунке 2, наличие РГ в РС приводит к снижению чувствительности РЗ. Объясняется это тем, что при возникновении КЗ ниже точки общего присоединения (РСС), основная сеть и источник РГ вносят свой вклад в величину ТКЗ. Появляется ситуация, при которой РГ уменьшает вклад основной сети в ТКЗ, что приводит к несрабатыванию РЗ2.

В зависимости от Z_c/Z_{rg} , чем больше будет это соотношение, тем меньше будет вклад в величину КЗ от основной сети (рис. 3).

Действительно, на сегодняшний день РГ играет важную роль в электро-энергетике России. Переход к альтернативным источникам энергии накладывает ряд проблем и вопросов, связанных с их работой и влиянием на РС. На фоне их активного внедрения в распределительную

сеть 6-10 кВ и вышеперечисленных проблем, возникающих при их применении, встает необходимость в поиске и разработке алгоритмов, способных вести расчет уставок РЗ при различных изменениях в топологии сети и передавать эти уставки по локально-вычислительной сети (ЛВС) к устройствам РЗ. Важно понимать, что их поведение в РС может быть непредсказуемо, что обусловлено климатическими условиями и видом используемого источника. Именно своевременный расчет и передача уставок делают РЗ эффективной к той или иной ситуации, возникающей в сети, тем самым повышая ее надежность и чувствительность.

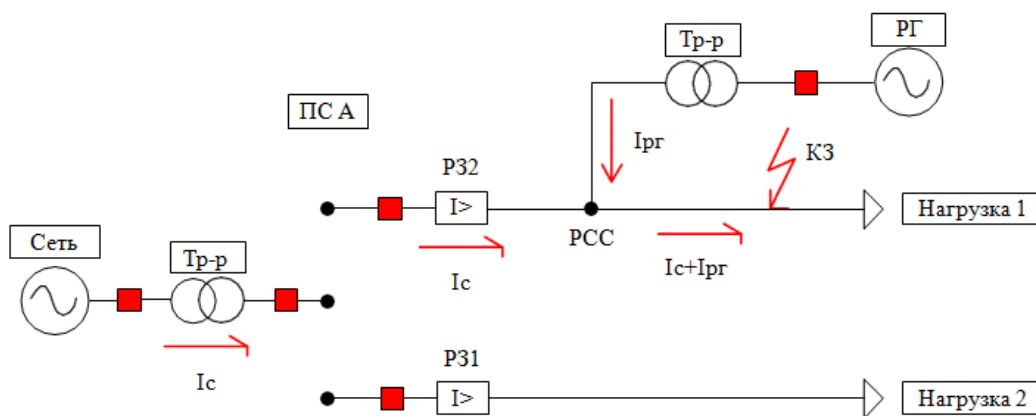


Рис. 2. Влияние РГ на P32

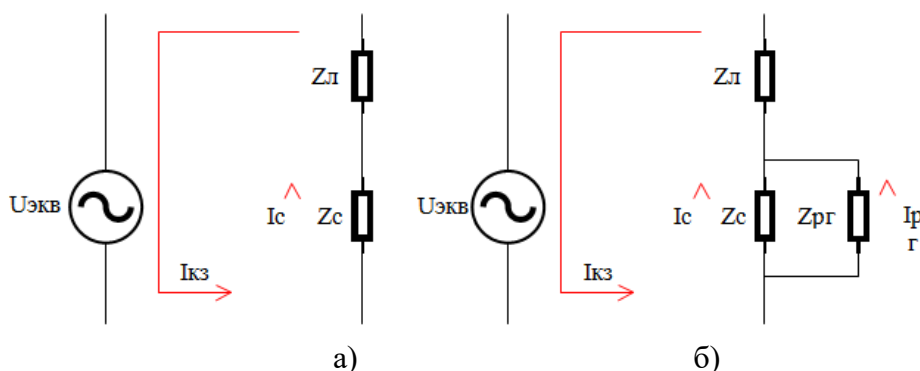


Рис. 3. Схема замещения участка РС: а) при отсутствии РГ; б) при наличии РГ

Список литературы

1. Разживин И.А. Гибридное моделирование распределенной генерации в электроэнергетических системах / И.А. Разживин, М.В. Андреев, А.А. Суворов, Р.А. Уфа // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – Национальный Томский политехнический университет, 2020. – №2. С. 36-48. DOI:10.14529/power220204.
2. Смирнов А.И. Система адаптивной токовой защиты в электро-

технических комплексах с распределенными электростанциями малой мощности : специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А.И. Смирнов ; [Место защиты: Санкт-Петербургский горный университет]. – Санкт-Петербург, 2020. – 153 с. / А.И. Смирнов ; [науч. рук. Я.Э. Шклярский]. – Санкт-Петербург : 2020. – 153 с.

3. Vijetha K. Adaptive Relaying of Radial Distribution system with Distributed Generation / K. Vijetha, K.P Sharath, M. Matcha // 2013 International Journal of Electrical and Computer Engineering. – IJECE, 2013. – Vol. 3 – № 3. – P. 407-414. DOI:10.11591/ijece.v3i3.2578.

4. Cleberton R. Optimal Coordination of Protection Devices in Distribution Networks With Distributed Energy Resources and Microgrids / R. Cleberton, J.B. Leite // 2022 IEEE Access. – IEEE, 2022. – Vol. 10 – P. 99584-99594. DOI:10.1109/ACCESS.2022.3203713.

5. Shahzad U. Protection of Distributed Generation: Challenges and Solution / U. Shahzad, S. Kahrobaee, S. Asgarpoor // 2017 Energy and Power Engineering. – EPE, 2017. – Vol. 9 – № 10 – P. 614-653. DOI:10.4236/epe.2017.910042.

6. Farkhani J.S. The Power System and Microgrid Protection—A Review / J.S. Farkhani, M. Zareein, A. Najafi, R. Melicio, E.M.G. Rodrigues // 2020 Applied Sciences. - Appl. Sci., 2020. – Vol. 10 – № 8271 – P. 1-30. DOI:10.3390/app10228271.

УДК 621.314.21

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ПОДСТАНЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАНСФОРМАТОРОВ СЕРИИ ТМГ

Назаров Максим Александрович
ГАУ СО «Арена», г. Тольятти, РФ
maximnazarov27@gmail.com

Аннотация: трансформаторы собственных нужд предназначены для питания потребителей подстанции, обеспечивают работу электроустановок. Трансформатор собственных нужд является ключевым элементом работы подстанции, от которого зависит энергетическая эффективность. Установка энергоэффективных трансформаторов собственных нужд сдерживается технико-экономическими проблемами.

Ключевые слова: энергосбережение, трансформатор собственных нужд, снижение потерь, масляные энергоэффективные трансформаторы.

LOSS REDUCTION FOR SUBSTATION AUXILIARY NEEDS USING TMG SERIES TRANSFORMERS

Abstract: auxiliary transformers are designed to power substation consumers and ensure the operation of electrical installations. The auxiliary transformer is a key element in the operation of a substation, on which energy efficiency depends. The installation of energy-efficient auxiliary transformers is constrained by technical and economic problems.

Keywords: energy saving, auxiliary transformer, loss reduction, oil-immersed energy-efficient transformers.

Потери электрической энергии, которые возникают в трансформаторах собственных нужд, могут превысить рыночную стоимость самого трансформатора за период его эксплуатации в 17 раз [1].

Потери в сетях электроснабжающей организации в конечном счете оплачиваются потребителем. В связи с этим для стимулирования гарантирующего поставщика снижать потери электрической энергии в распределительных сетях введены законодательные и нормативные акты.

Одним из основных документов, регулирующих отношения по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, является Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ [2].

На практике для оценки эффективности работы трансформатора используют параметры трансформатора собственных нужд, такие как потери холостого хода и короткого замыкания, нормирование которых проводится на основании Постановления Правительства РФ от 17.06.2015 № 600 [3].

Сочетание категорий потерь определяет класс энергоэффективности трансформатора по наивысшей категории энергоэффективности.

На современном этапе наиболее энергоэффективными трансформаторами собственных нужд являются трансформаторы с сердечником из аморфной стали. В основном при сравнении масляных трансформаторов с сердечником из аморфной стали с масляными трансформаторами типа ТМГ удельные магнитные потери на перемагничивание различаются примерно в 5 раз (0,2–0,25 Вт/кг для аморфной стали, 1,15 Вт/кг для анизотропной). Исключением являются коэффициент заполнения и индукция (1,3–1,5 Тл). Но несмотря на это, ключевой недостаток трансформаторов с сердечником из аморфной стали — высокая стоимость их приобретения, поэтому данные трансформаторы не окупаются, а следовательно, проекты по внедрению трансформаторов собственных нужд с сердечником из аморфной стали не финансируются.

В работах [4, 5] обсуждаются проблемы расчета потерь в стыках и подведен итог о преимуществе шихтованного магнитопровода с косым

стыком (step-ler). В [5-7] сообщается, что внедрение комбинации изотропной и анизотропной стали позволяет снизить потери. Тем не менее инженеры-конструкторы утверждают, что приведенный метод снижения потерь холостого хода затруднителен, поскольку возникают проблемы в технологии сборки.

Возможным способом разрешения этой ситуации может быть применение энергоэффективных трансформаторов ТМГ15 (табл. 1). Потери в данных трансформаторах ниже по сравнению со стандартными масляными трансформаторами примерно в 1,5 раза.

Таблица 1

Сравнение различных типов трансформаторов мощностью 630 кВА [1]

Серия трансформатора	ТМГ	ТМГ21	ТМГ11	ТМГ12	ТМГ15	ТМГАМ
Ркз, кВт	8,1	1,03	7,45	6,75	6,75	8,04
Рхх, кВт	1,07	2,08	1,06	0,8	0,73	0,226
L, мм	1675	1520	1545	1390	1390	1940
B, мм	1040	1000	1000	1000	1000	1235
H, мм	1560	1435	1540	1750	1750	1300

При расчете окупаемости энергоэффективных трансформаторов собственных нужд важно учитывать их коэффициент загрузки.

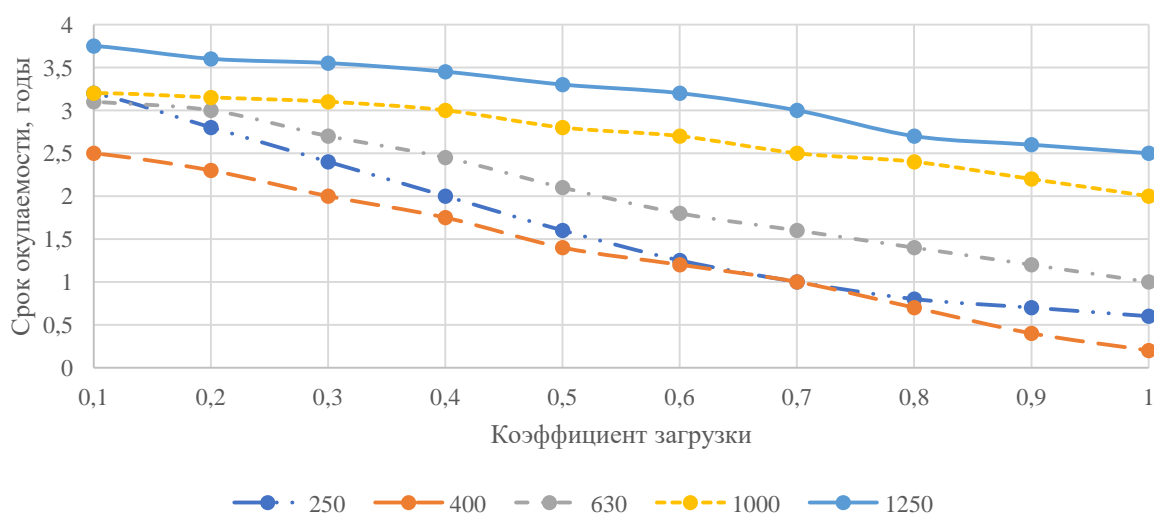


Рис. 1. Окупаемость при замене ТМГ11 на трансформаторы ТМГ15 в зависимости от мощности и коэффициента загрузки [1]

Сроки окупаемости инвестиций при замене масляных трансформаторов на ТМГ15 составляют от нескольких месяцев до четырех лет их эксплуатации (рис. 1).

Выводы

1. На практике, используя вышеприведенный график, по мощности и коэффициенту загрузки трансформатора можно определить окупаемость проекта, продумать процесс финансирования, внедрить отложенные проекты по повышению энергоэффективности собственных нужд подстанции.

2. Внедрение энергоэффективного трансформатора собственных нужд становится выгоднее в том случае, если их несколько, поскольку, чтобы повысить коэффициент загрузки, необходимо производить отключения малозагруженных трансформаторов.

3. Наиболее эффективным вариантом является отключение трансформаторов низких классов энергоэффективности, что позволит повысить сроки окупаемости энергоэффективных трансформаторов.

Список литературы

1. Энергосберегающие трансформаторы серии ТМГ15 производства ОАО «МЭТЗ им. В.И. Козлова» [Электронный ресурс] URL: http://www.mitek.spb.ru/files/new_tmg15_1465146438.pdf (дата обращения: 09.05.2023).

2. Постановление Правительства РФ от 17.06.2015 № 600 (ред. от 23.01.2019) «Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности».

3. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

4. Савинцев Ю.М. Главная парадигма повышения трансформаторных подстанций в сетях электроснабжения России. [Электронный ресурс] URL: <http://электротехнический-портал.рф/> (дата обращения: 09.05.2023).

5. Савинцев Ю.М. Анализ взаимосвязи цены распределительного трансформатора с его характеристиками потерь холостого хода и короткого замыкания // Энергия единой сети. 2019. № 1 (43). С. 76–82.

6. Брякин И.В., Бочкарев И.В. Система мониторинга технического состояния силового трансформатора по состоянию масла // Вестник КГЭУ. 2022. №1 (53). С. 34-46.

7. Хренников А.Ю. Высоковольтное оборудование в электротехнических системах: диагностика, дефекты, повреждаемость, мониторинг: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2019.

УДК 621.039

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

¹Екатерина Николаевна Никулина, ²Евгений Александрович Ларин
^{1,2}Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
г. Саратов, Россия
¹katehhka@mail.ru, ²larin@sstu.ru

Аннотация: в статье рассматриваются перспективы использования топливных элементов и водородной энергетики как экологически безопасных и эффективных методов производства энергии. Авторы подчеркивают, что развитие этих технологий может привести к сокращению выбросов вредных веществ и уменьшению зависимости от ископаемых топлив. Статья содержит обзор существующих технологий и принципов работы топливных элементов и водородной энергетики, а также детальное описание новых разработок и исследований в этой сфере. Авторы рассматривают проблемы, связанные с экономическими и организационными аспектами внедрения этих технологий в масштабном производстве и указывают на необходимость разработки эффективной системы государственной поддержки. Кроме того, статья содержит оценку перспективности развития данной отрасли и показывает, что топливные элементы и водородная энергетика могут стать ключевыми технологиями производства энергии в ближайшее десятилетие. Статья предназначена для исследователей, специалистов и руководителей в области энергетики, а также для тех, кто интересуется экологически безопасными технологиями производства энергии.

Ключевые слова: водород, топливные элементы, производство энергии, преобразование энергии, энергетическая установка, водородная энергетика.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF FUEL CELLS AND HYDROGEN ENERGY

¹Ekaterina Nikolaevna Nikulina, ²Evgeny Alexandrovich Larin
^{1,2}Yr. Gagarin Saratov State Technical University, Saratov, Russia
¹katehhka@mail.ru, ²larin@sstu.ru

Abstract: the article considers the prospects of using fuel cells and hydrogen energy as environmentally safe and efficient methods of energy production. The authors emphasize that the development of these technologies can lead to a reduction in emissions of harmful substances and a decrease in dependence on fossil fuels. The article contains a review of existing technologies and principles of fuel cells and hydrogen energy, as well as a detailed description of new developments and research in this field. The authors consider the problems associated with the economic and organizational aspects of introducing these technologies in large-scale production and point to the need to develop an effective system of state support. In addition, the article contains an assessment of the promising development of this industry and

shows that fuel cells and hydrogen power engineering may become the key technologies for energy production in the next decade. The article is intended for researchers, specialists and managers in the field of energy, as well as for those who are interested in environmentally safe technologies for energy production.

Keywords: hydrogen, fuel cells, SOFC, energy production, energy conversion, power plant, hydrogen energy.

Высокий спрос на энергию, который предопределяется прогрессом развития цивилизации, при росте спроса на применение традиционных источников энергии, огромная экологическая нагрузка и повышение цен на топливно-энергетические ресурсы, определяют необходимость проведения поиска производства новых технологий и повышения эффективности создания и использования источников преобразования энергии в электрическую, в частности путем расширения использования альтернативных способов её получения.

Вследствие реализации стратегии снижения выбросов углекислого газа в мировой экономике, возобновляется спрос на использование водорода в энергетике [6]. Некоторые государства реализуют свои дальнейшие планы в данной политике, к примеру: Германия, Япония, Южная Корея. Прежде всего, это государства – главные поставщики природного газа. Использование водорода в качестве топливного элемента (ТЭ), работающего по принципу прямого преобразования энергии, воспринимается одним из основных направлений по снижению воздействия парникового эффекта, наравне с процессом увеличения использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Ожидается, что ВИЭ окажутся основным способом получения водорода.

Использование ТЭ при производстве электрической энергии является одним из перспективных вариантов, касающихся использования традиционных электромеханических преобразователей (ЭМП). Согласно исследованиям преобразование химической энергии топлива в электроэнергию позволяет значительно повысить КПД до 60,5 % при малых мощностях в простейшем и когенерационном циклах, и до 75 % в при больших мощностях в гибридном цикле с газотурбинными, паросиловыми и парогазовыми установками. Суммарный КПД применения химической энергии в теплофикационных энергоустановках с ТЭ может вырасти до 95 % [1,5].

Основными достоинствами использования ТЭ в энергоустановках считаются их большая энергетическая эффективность, безотказность, долговечность и малое количество выбросов в атмосферу, что позволяет располагать установки в непосредственной близости от потребителей не имея весомых недостатков.

Наиболее распространенными типами ТЭ являются: щелочные топливные элементы (ЩТЭ), щелочно-мембранные топливные элементы (ЩМТЭ), топливные элементы с протонообменными мембранами (ПЭМТЭ), топливные элементы с фосфорнокислотным электролитом (ФКТЭ), топливные элементы с расплавленным карбонатным электролитом (РКТЭ), твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ).

В табл. 1 приведены основные характеристики ТЭ, перспективных для создания теплоэнергетических установок [1].

Таблица 1

Типы топливных элементов и их основные характеристики

Типы ТЭ	РКТЭ	ТОТЭ
Температура, °С	высокотемпературные	
	600-700	600-1000
Давление, МПа	0,1-1	0,1-1,6
Электролит	$\text{LiCO}_3/\text{K}_2\text{CO}_3$	$\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$
Анод	Сплав Ni	Ni/YSZ
Катод	NiO	LSM
Основное топливо	$\text{H}_2/\text{CO}/$ риформат	$\text{H}_2/\text{CO}/\text{CH}_4/$ риформат
Утилизация топлива, %	< 80	< 90
Окислитель	$\text{CO}_2/\text{O}_2/$ воздух	$\text{O}_2/$ воздух
Реакция на аноде	$2\text{H}_2 + 2\text{CO}_1^{2-} \rightarrow$ $\rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}^2 + 4\bar{e}$	$\text{H}_2 + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\bar{e}$ $\text{C}_n \text{H}_{2n+2} + (3n + 1) \text{O}^{2-} \rightarrow$ $\rightarrow n\text{CO}_2 + (n + 1) \text{H}_2\text{O} +$ $+ (6n + 2)\bar{e}$
Реакция на катоде	$\text{O}_2 + 2\text{CO}_2 + 4\bar{e} \rightarrow$ $\rightarrow 2\text{CO}_1^{2-}$	$\text{O}_2 + 4\bar{e} \rightarrow 2\text{O}^{2-}$
Охладитель	Избыточный воздух	Избыточный воздух
КПД элемента, %	50	≈66
КПД ТЭУ, %	45-60*	45-65*
Диапазон мощности ЭУ, кВт	200-5000	1-2000
Область применения	Стационарные малой и средней мощности	Стационарные, гибридные, транспортные, переносные

Из приведенных типов ТЭ преимущественно используются твердооксидные топливные элементы, так как они позволяют применять любое

газообразное топливо. ТОТЭ в большей степени подходит для применения в мощных высокотемпературных энергоустановках. Наиболее подходящее топливо для твердооксидных топливных элементов - чистый водород.

В топливном элементе происходит электрохимическая реакция, с использованием электролита, анода и катода, вследствие которой вырабатываются электрическая и тепловая энергия.

Анод и катод разделяются электролитом (Рис. 1) , проводящим протоны. После того, как водород поступит на анод, а кислород - на катод, начинается химическая реакция, в результате которой генерируются электрический ток, тепло и вода. На катализаторе анода молекулярный водород диссоциирует и теряет электроны. Ионы водорода (протоны) проводятся через электролит к катоду, в то время как электроны пропускаются электролитом и проходят по внешней электрической цепи, создавая постоянный ток, который может быть использован для питания оборудования. На катализаторе катода молекула кислорода соединяется с электроном (который подводится из внешних коммуникаций) и пришедшим протоном, и образует воду, которая является единственным продуктом реакции (в виде пара и/или жидкости).

Ниже приведена соответствующая реакция [1]:

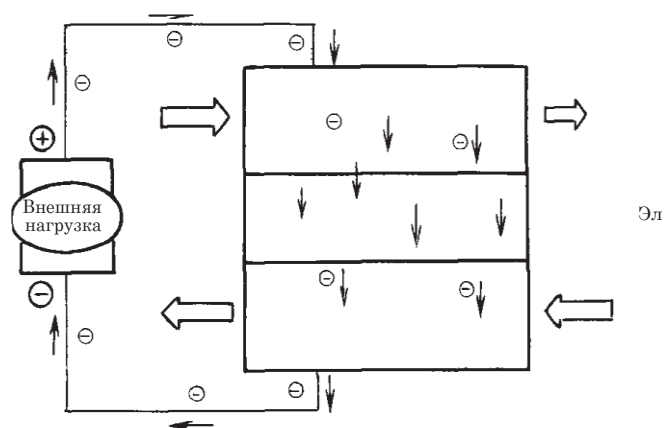
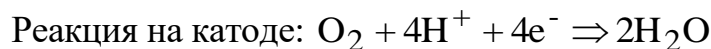
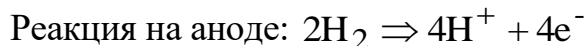


Рис. 1. Принципиальная схема действия ТЭ

В ТЭ осуществляется процесс с выделением тепла, называемый экзотермическим. Полученное тепло можно использовать в централизованном теплоснабжении на основе комбинированного производства тепловой и электрической энергии, и выработке холода.

В высокотемпературных топливных элементах поток тепла имеет большой потенциал, поэтому их можно эффективно применять в гибридных циклах на энергетических установках.

В интересах стабильной энергетики особенно эффективной сферой использования энергетических установок с ТЭ в ближайшие годы нужно рассматривать источники питания у самостоятельных потребителей и распределенного производства [4]. В данном случае установки с ТЭ способны занять место применяемых сегодня в качестве основных и резервных электрогенераторов дизельные и газопоршневые двигатели, газотурбинные установки и микротурбины. В то же время установки с ТЭ способны просто собираться в “Умные сети”, действуя одновременно и/или с сортировочной сетью при отсутствии питания от сети. В дальнейшем, по мере отработки и удешевления технологии они смогут проникать и в большую энергетику. Для климатических условий России особый интерес представляют когенерационные установки с ТЭ, в том числе в целях крайне необходимой модернизации имеющихся систем централизованного теплоснабжения [3].

На сегодняшний день топливные элементы пока остаются дорогими, что не позволяет им получить широкое распространение, что обуславливается низкими объемами их производства. Снижение стоимости в разы позволит добиться распространение массового производства ТЭ, которые в должной степени предназначены для крупносерийного изготовления. Таким образом, необходим комплекс теоретических исследований рациональных схем энергетических установок на базе ТЭ, оптимизация основных параметров рабочих тел и определение рациональных областей применения энергетических установок на базе топливных элементов. Предварительные результаты исследований в этом направлении изложены в [2].

Список литературы

1. Бредихин С.И., Голодницкий А.Э., Дрожжин О.А., Истомин С.Я., Ковалевский В.П., Филиппов С.П. Стационарные энергетические установки с топливными элементами: материалы, технологии, рынки // - М., 2017, НТФ "Энергопрогресс" Корпорации "ЕЭЭК" – С. 392.

2. Никулина Е.Н., Ларин Е.А. Анализ эффективности газотурбинных установок на базе топливных элементов // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: сб. науч. тр. по материалам XVI Междунар. науч.-техн. конф. «Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов». – Саратов, 11-13 октября 2022 г. – Вып. 11. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2022. – 312 с.

3. Filippov S.P., Dilman M.D. CHP Plants in Russia: the Necessity for Technological Renovation // Thermal Engineering, 2018, Vol. 65, No. 11. P. 775-790.

4. Filippov S.P., Dilman M.D., Ilyshin P.V. Distributed Generation of Electricity and Sustainable Regional Growth // Thermal Engineering, 2019, Vol. 66, No. 12. P. 869-880.

5. The Fuel Cell Industry Review.2016.-E4tech/ 2016 (www.e4tech.com).

6. World Energy Outlook 2019. – International Energy Agency, Vienna, 2019 – P. 860.

УДК 004.94

ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ОБЪЕКТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ПО МЭК 61850

¹Петров С.В., ²Галанина Н.А.
^{1,2}г. Чебоксары, ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова»
¹eight@bk.ru, ²galaninacheb@mail.ru

Аннотация: моделирование электроэнергетических объектов для вычислительных систем представляет собой комплексную задачу. Одним из подходов, применяемых при реализации программных моделей объектов или их элементов, является объектно-ориентированный подход (ООП). ООП представляет моделируемый объект как иерархическую совокупность моделей, составляющих целевой объект. Связи между объектами являются скрепляющим механизмом, позволяющим из отдельных кусочков, составить функционально целую единицу – элемент электроэнергетического объекта или весь объект в целом. При проектировании модели электроэнергетического объекта связи между элементами объекта трансформируются в отношения между программными элементами модели электроэнергетического объекта. Отношениями между программными элементами являются: наследование, агрегация, ассоциация. Отношения влияют на архитектуру итоговой программной модели. Правильно примененные отношения между программными элементами позволяют получить правильный, управляемый, легко поддерживаемый, расширяемый программный код.

Ключевые слова: цифровая подстанция, объектно-ориентированный подход, ООП, объектные модели, моделирование электроэнергетических объектов, проектирование моделей, программные модели, отношения между объектными элементами.

COHESION BETWEEN AN OBJECT ELEMENTS OF A DIGITAL SUBSTATION BUILDED ON IEC-61850

¹Petrov S.V., ²Galanina N.A.
^{1,2}Cheboksary, FSBEI HE «ChGU im. I.N. Ulyanov»
¹eight@bk.ru, ²galaninacheb@mail.ru

Annotation: the modeling of an electrical objects for an informational systems is a complex problem. One of an approach using for designing a program models of an objects or

their elements is object-oriented approach (OOA). OOA makes the modeling object like a hierarchic synergy of the models are building the target object. The interactions between the objects are tied mechanism which allows from alone slices to compose whole unit — one element of electrical object or whole object. The design of the model of the electrical object transforms bindings between the elements of object into cohesion between a program elements of the model of electrical object. The cohesion between the program elements are: inheritance, aggregation, association.

Keywords digital substation, object-oriented approach, OOA, object models, modeling electrical objects, design of a models, program models, relationships between an object models. The cohesion between the program elements are: inheritance, aggregation, association. The cohesion impacts on the architecture of finished program model. Rightly built cohesion for program elements allow to have well designed, managed, easy supported and functionality extended program code.

Цифровая подстанция (ЦПС), спроектированная по МЭК 61850, есть электрическая подстанция, архитектура и состав оборудования которой соответствуют требованиям МЭК 61850. В отличие от традиционной электрической подстанции, ЦПС разбита на виртуальные элементы, распределенные по вычислительным мощностям. Все виртуальные элементы представляют собой программные модели элементов традиционной электрической подстанции, а вычислительные мощности, в которых существуют виртуальные элементы являются устройствами РЗА, соответствующими МЭК 61850. Следующее отличие ЦПС от традиционной электрической подстанции — это взаимодействие виртуальных элементов по вычислительным сетям. Устройства РЗА обмениваются информацией в цифровом формате: аналоговые и дискретные сигналы, сервисная информация передаются по информационным сетям. Весь технологический процесс электрической подстанции транслируется в виртуальное пространство, интегрируя ЦПС в АСУ ТП.

Декомпозиция электрической подстанции и представление её во множество виртуальных элементов, структура и взаимодействие которых соответствуют требованиям МЭК 61850, преобразуют обычную электрическую подстанцию в ЦПС по МЭК 61850. Множество виртуальных элементов, реализованных в устройствах, есть моделирование физических и технологических процессов, моделирование устройств и определение протоколов взаимодействия между ними. МЭК 61850 стандартизирует правила описания технологических и физических процессов электрической подстанции. Таким образом, цифровая подстанция по МЭК 61850 есть строго регламентированное описание физических и технологических процессов в виде виртуальной модели электрической подстанции и программно реализованная в устройствах РЗА.

ЦПС состоит из множества материальных и нематериальных объектов, представляющих собой виртуальные модели по МЭК 61850. Модели объектов состоят из простых и сложных элементов.

Простой элемент есть собой неделимая в условиях задачи моделирования единица. Простой элемент имеет простую смысловую нагрузку и выражаются простым числом (целочисленным, с плавающей запятой и т. д.).

Сложный элемент есть множество простых и/или сложных элементов. Сложные элементы моделируют элементы устройств, устройства в целом, куски физических и технологических процессов или весь процесс в целом.

Простые элементы выполняют строго одну функцию: хранение информации. Как правило эта информация является каким-либо свойством моделируемого объекта. Выполняемые манипуляции над простыми элементами: запись и чтение.

Сложные элементы выполняют какие-либо действия, характерные моделируемому объекту, т. е. имеют поведение, характерное объекту. Для взаимодействия с другими моделями объектов сложные элементы имеют интерфейс. Сложный элемент представляется как множество простых элементов, хранящих свойства объекта; множество сложных элементов, составляющих моделируемый объект; множество действий над этими элементами, являющееся поведением моделируемого объекта.

Связи элементов электрической подстанции порождают такие сущности как отношения между программными объектами при трансляции реального объекта в виртуальную модель.

1. Агрегация. Отношение агрегации является основным отношением и возникает при построении модели сложного объекта. Сложный элемент состоит из сложных и/или простых элементов, это отношение подразумевает включение элементов в сложный элемент. Манипуляции объектами осуществляются исходя из их назначения. Функционал сложного элемента не включает в себя функционал внутренних сложных элементов. Внутренние сложные элементы реализуют внутреннюю логику работы сложного элемента. В МЭК 61850 сложным элементом является логический узел (ЛУ). Каждый ЛУ состоит из простых и сложных элементов, которые выполняют свою функцию исключительно внутри ЛУ. Отношение агрегации удобно декомпозирует сложные объекты на составные элементы. Это существенно упрощает понимание работы программного кода, его архитектуру, связи между элементами, поддержку кода и расширение функционала при необходимости.

2. Наследование. Отношение наследования обуславливается расширением функционала уже существующих сложных элементов. Сложные

элементы могут иметь общие свойства и поведение. Общие свойства и поведение упаковываются в сложные элементы, являющиеся родительскими элементами. При расширении функционала родительских элементов образуются дочерние элементы, которые в свою очередь могут стать родительскими элементами. В итоге наследование позволяет строить иерархическую структуру модели объекта. В МЭК 61850 каждый ЛУ, независимо от своего конечного назначения, наследует общий ЛУ (common logical node). При наследовании дочерние объекты имеют функционал родительского объекта дочерних объектов. Как следствие, программная модель дочернего объекта имеет интерфейс родительского объекта. Отношение наследования, помимо поведения, наследует и составляющие элементы родительского элемента.

3. Ассоциация. Отношение ассоциации моделей объектов обуславливается связями элементов моделируемых объектов. Объекты, составляющие физический или технологический процесс, или представляющие элементы устройств или же устройства в целом связаны друг с другом, и, как следствие, их модели ассоциированы друг с другом. Взаимодействие программных моделей объектов осуществляется посредством интерфейсов. Ассоциация может быть однонаправленной и двунаправленной. Однонаправленная ассоциация есть связь только от одного объекта к другому, двунаправленная ассоциация подразумевает взаимную связь от обоих объектов. Так же ассоциация может быть от одного элемента ко многим элементам или от многих элементов к одному элементу. Распространённый пример ассоциации одного элемента со многими элементами есть клиент-серверная архитектура, широко применяемая МЭК 61850. В МЭК 61850 ассоциация регламентирована между логическими узлами устройства и сервисами устройства.

Отношения являются механизмом связи программных сущностей, составляющих ЦПС, и транслируют связи между элементами реальных объектов электрической подстанции в виртуальное пространство.

Список литературы

1. Буч Г., Максимчук Р., Энгл М.У., Янг Б.Д., Коналлен Д. Хьюстон К.А. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений, 3-е изд. : Пер. с англ. - М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2008. - 720 с.

2. Галанина Н.А., Петров С.В. Объектно-ориентированный подход как основа моделирования элементов энергетических объектов //

Информатика и вычислительная техника. Сборник научных трудов. Чебоксары, 2022. С. 113-114.

3. СТО 56947007-25.040.30.309-2020. Корпоративный профиль МЭК 61850 ПАО «ФСК ЕЭС».

4. Эванс Э. Предметно-ориентированное проектирование (DDD): структуризация сложных программных систем.: Пер. С англ. - М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011. - 448 с.

5. IEC-61850 ed.2.

6. Weisfeld Matt A. The object-oriented thought process / Matt Weisfeld. - 3rd ed.- Printed in the United States of America, 2008. - 347 p.

7. Wiener R., Pinson L.J. Fundamentals of OOP and data structures in Java. : Cambridge University Press., 2000. - 508.

УДК 662.99

ЗОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ РАБОТЕ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Полякова Ангелина Сергеевна
Оренбургский государственный Университет г. Оренбург
KorshunAngelina9@yandex.ru

Аннотация: в статье рекомендуется применять системы управления и автоматизации зданий для независимого контроля температуры внутри помещений.

Ключевые слова: зональная система, незонированная система, системы управления, моделирование, температура, термостат, обогрев.

ZONE HEAT SUPPLY OF THE ROOMS DURING AIR HEAT PUMP OPERATION

Polyakova Angelina Sergeevna
Orenburg State University, Orenburg
KorshunAngelina9@yandex.ru

Abstract: in article is recommends the use of building management and automation systems for independent control of indoor temperatures.

Keywords: zonal system, non-zoned system, control systems, modeling, temperature, thermostat, heating.

Зональная система теплоснабжения помещений основана на независимом контроле температуры каждой из зон здания. Для этого в каждой комнате устанавливается термостат, который позволяет в каждой из зон регулировать температуру в зависимости от предпочтений пользователя. При достижении заданной температуры в зоне срабатывает

регулятор. Сигнал подается на электроуправляемую заслонку зоны, которая прерывает подачу воздуха. Итак, в этой ситуации зонирование системы управления обеспечивает возможность независимого управления температурой каждой зоны, держать заслонки востребованных зон открытыми и закрывать зоны, не пользующиеся спросом. Поэтому, температурный комфорт в каждой зоне здания может быть достигнут [1].

Несмотря на то, что зональная система управления может гарантировать тепловой комфорт, это может быть неэффективно, если оно не дополняется системой управления, которая может воздействовать на производительность блока воздушного теплового насоса. Например, когда только одна или две зоны открыты, избыточное давление в воздуховоде может возникнуть, если количество массы расхода не регулируется. Соответственно, новизной данной статьи является презентация новой зонированной системы управления, которая заключается в контроле температуры каждой зоны здания для ее поддержания в комфортных условиях, адаптируя тепловую мощность оборудования на тепловые нужды зон [2].

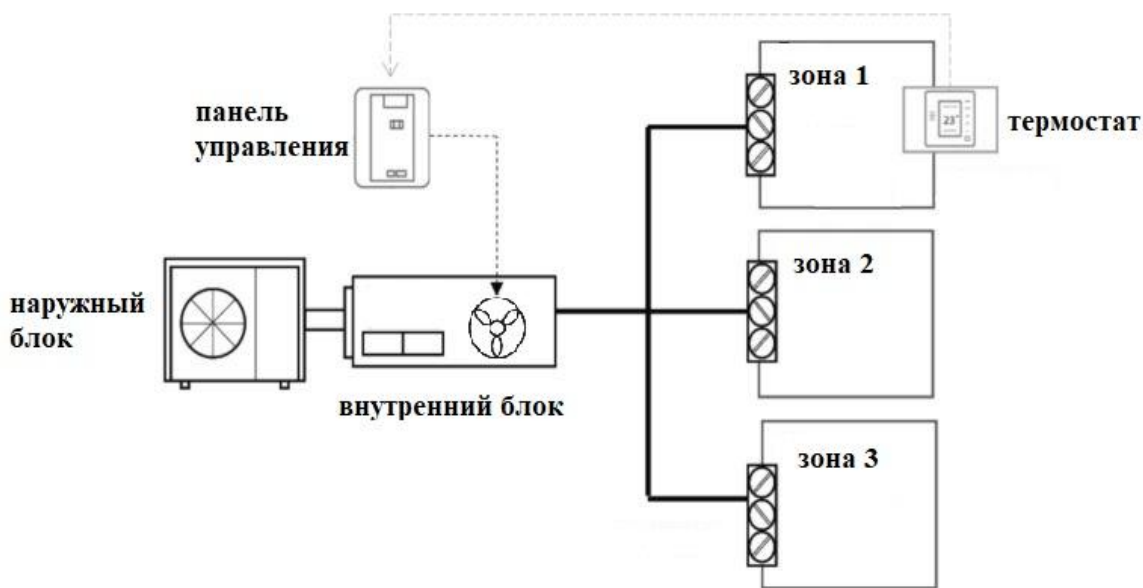


Рис. 1. Незонированная система управления

Описание незонированной системы управления.

Модель незонированной системы состоит из канального инверторного блока DX, который сконфигурирован для обслуживания нескольких зон. Работа системы управляется термостатом, расположенным в «главной» зоне [3].

Таким образом, в зависимости от соотношения между температурой воздуха в главной зоне и установкой зоны, система управления блоком DX выбирает свой режим работы, должно ли оборудование быть включено или выключено, требуемую скорость вентилятора или соответствующую заданную температуру агрегата. Как в результате температура контролируемой зоны поддерживается в пределах комфортного диапазона, в то время как другие температуры зоны зависят от эволюции его тепловой нагрузки.

Все заслонки всегда открыты и воздух подается в каждую комнату при температуре, необходимой для кондиционирования мастер-зоны, обычно это приводит к перегреву или переохлаждению в других зонах. Следовательно, эта система подходит только для объектов с аналогичными целями и профилем тепловых нагрузок [4].

Моделирование незонированной системы управления.

На уровне зоны система была смоделирована как система управления включением/выключением, который постоянно включает и выключает блок DX в зависимости от того находится ли температура зоны внутри или вне зоны комфорта, диапазон температур зоны нечувствительности (обычно $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) по отношению к воздуху заданной температуры. Зона нечувствительности комфорта установлена, чтобы приводы не могли постоянно изменять свою реакцию на незначительные колебания температуры. Установка управляется только мастер-зона, скорость вентилятора и заданная температура агрегата устанавливаются в соответствии с его тепловой обстановкой.

Например, в режиме обогрева зона холодная, в тепловом дискомфорте и блок включается для повышения температуры воздуха до группы комфорта. Устройство остается включенным до тех пор, пока температура не достигнет верхнего предела диапазона комфорта. В этот момент оборудование выключается, а температура по инерции будет продолжать расти в течение короткого промежутка времени, вызывающий перегрев и, впоследствии, из-за потребности в отоплении, она изменяется свободно и уменьшается до тех пор, пока не достигнет снова нижней границы зоны комфорта, в это время система включается снова.

Зональная система управления

Установка состоит из инверторной системы DX, платы управления, коммуникационный шлюз, моторизованные заслонки и термостаты [5].

1. Режим работы по желанию пользователя (стоп, вентиляция, охлаждение или обогрев).

2. Скорость вентилятора внутреннего блока (F) выбирается динамически в соответствии с расходом воздуха, требуемой каждой зоной, количество зон в спрос, а также разница температур между зоной и заданной температурой воздуха.

3. Положение заслонок (D) каждой комнаты, которые регулируют количество воздуха, подаваемого в зоны ($Dz1, Dz2, \dots, Dzn$). Зоны где нет оккупации, заслонки будут закрыты.

4. Система управления может ограничивать заданную температуру каждой комнаты, избегать слишком высоких заданных температур зимой или слишком низких летом.

На рисунке представлена блок-схема модели системы управления, которая возобновляет предложенный алгоритм.

Список литературы

1. Малявина Е.Г. Теплопотери здания // Справочное пособие. 2007. С. 131.

2. Новосельцев Б.Н. Отопление и вентиляция гражданского здания // Пособие для студ. 2006. С. 72.

3. Parker D. user defined functions to provide more accurate part load energy use and humidity. In: 2000 ACEEE Summer Study on Energy efficiency in Buildings Proceedings. Pacific Grove; 2000.

4. Moon JW, Han S-H. Thermostat strategies impact on energy consumption in residential buildings. Energy Build 2011; 43:338–46.

5. Evren MF, Ozsunar A, Kilkis B. Experimental investigation of energy-optimum radiant-convective heat transfer split for hybrid heating systems. Energy Build 2016; 127:66–74.

УДК 621.3.016.23

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРА ДОРОЖНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

¹Прудий Алексей Васильевич, ²Ляшенко Юрий Михайлович

^{1,2}Шахтинский автодорожный институт (филиал) им. М.И. Платова, г. Шахты
¹prudiy@yandex.ru, ²lumdtn@yandex.ru

Аннотация: в статье произведено исследование скоростных характеристик генератора дорожной энергетической установки с ползунно-коромысловым механизмом. Анализ полученных результатов показал, что с увеличением скорости движения автотранспортного средства время тактов 1–3 уменьшается, а время такта 4 увеличивается. Также увеличивается общее время цикла работы дорожной энергетической установки.

Ключевые слова: дорожная энергетическая установка, автономный источник энергии, энергия транспортного потока, искусственная неровность, возобновляемая энергетика.

MODELING OF SPEED CHARACTERISTIC OF THE GENERATOR OF ROAD POWER PLANT

¹Prudiy Alexey Vasilievich, ²Lyashenko Yuriy Mikhailovich
^{1,2}Shakhty Automobile and Road Construction Institute (branch) Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russia
¹prudiy@yandex.ru, ²lumdtn@yandex.ru

Abstract: the paper studies the speed characteristics of the generator of a road-going power plant with a slider-crank mechanism. The analysis of the obtained results showed that with the increase of vehicle speed the time of cycles 1-3 decreases, and the time of cycle 4 increases. Also the total cycle time of the road power plant increases.

Keywords: road power plant, autonomous energy source, energy of traffic flow, artificial bump, renewable energy.

Анализ научной литературы показывает, что учеными из разных стран уделяется внимание разработке такого класса устройств, как дорожные энергетические установки. Исследования проводятся в следующих странах: США [1], Китай [2] и в др. Принцип действия дорожных энергетических установок основан на том, что в момент наезда транспортного средства на искусственную дорожную неровность, последняя получает импульс энергии, который можно преобразовать в электрическую энергию и использовать для электроснабжения объектов дорожной инфраструктуры. Авторами данного исследования предлагается конструкция дорожной энергетической установки с ползунно-коромысловым механизмом [4] и проведены исследования по определению конструктивных параметров ползунно-коромыслового механизма [5].

Предлагаемая конструкция дорожной энергетической установки представлена на рис. 1.



Рис. 1. Дорожная энергетическая установка с ползунно-коромысловым преобразователем

Целью данного исследования является моделирование угловой скорости вращения генератора дорожной энергетической установки в период разбега и в период свободного выбега.

Моделирование угловой скорости включает в себя следующие этапы:
– расчет угловой скорости вращения генератора на 1 такте.

Определяется текущее значение перемещения колеса автомобиля:

$$\Delta s(t_1) = v_a t_1, \quad (1)$$

где v_a – скорость автомобиля, м/с; t_1 – время проезда автомобиля через половину подвижной панели, с.

Определяется зависимость перемещения нажимной платформы от времени:

$$\Delta h(t_1) = \frac{2 \cdot h \cdot \Delta s(t_1)}{l}, \quad (2)$$

где h – высота подвижной платформы, м.

Определяем скорость перемещения подвижной панели:

$$v_{pp}(t_1) = \frac{d}{dt_3} \cdot \Delta h(t_1). \quad (3)$$

Определяется угол поворота коромысла, рад:

$$\varphi(t_1) = \arccos \left(\frac{\sqrt{\frac{r + \lambda^2 + 2\lambda \cdot r - 2 \cdot \lambda \cdot \Delta h(t_1)}{r} - 1}}{\lambda} \right) + \varphi_{нач}, \quad (4)$$

где r – радиус коромысла, м; λ – соотношение длины коромысла и шатуна;
 $\varphi_{нач}$ – начальное положение коромысла.

Определяем угловую скорость вращения генератора на 1 такте, рад/с:

$$\omega_1(t_1) = \frac{v_{pp}(t_1) \cdot \cos(\alpha(t_1))}{r \cdot \sin(\varphi(t_1) + \alpha(t_1))} \quad (5)$$

– расчет угловой скорости вращения генератора на 2 такте.

Определяется момент инерции маховика и генератора, кг·м²:

$$J_{\Sigma} = J_M + J_G \quad (6)$$

где J_G – момент инерции ротора генератора (паспортная величина), $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;
 J_M – момент инерции маховика;

Определяется время вращения генератора при свободном выбеге до полной остановки, с:

$$t_{T1} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\omega_1}{M_c}, \quad (7)$$

ω_1 – начальная угловая скорость вращения генератора на втором такте, рад/с; M_c – момент сопротивления, создаваемый электромагнитным полем при свободном выбеге генератора.

Определяется величина ускорения, с которой будет замедляться ротор генератора при свободном выбеге:

$$\varepsilon = \frac{\omega_1}{t_{T1}} \quad (8)$$

Определяется угловая скорость вращения генератора на втором такте, рад/с:

$$\omega_2(t_2) = \omega_1 - \varepsilon t_2, \quad (9)$$

Расчет угловой скорости на 3 и 4 такте производится аналогично 1 и 2 такту соответственно.

Моделирование угловой скорости производится в прикладной программе Mathcad при скорости автотранспортного средства 10, 20, км/ч.

Рабочий цикл работы дорожной энергетической установки состоит из периода разгона и периода свободного выбега.

На рис. 2 а, б представлены результаты моделирования угловой скорости генератора в период разгона.

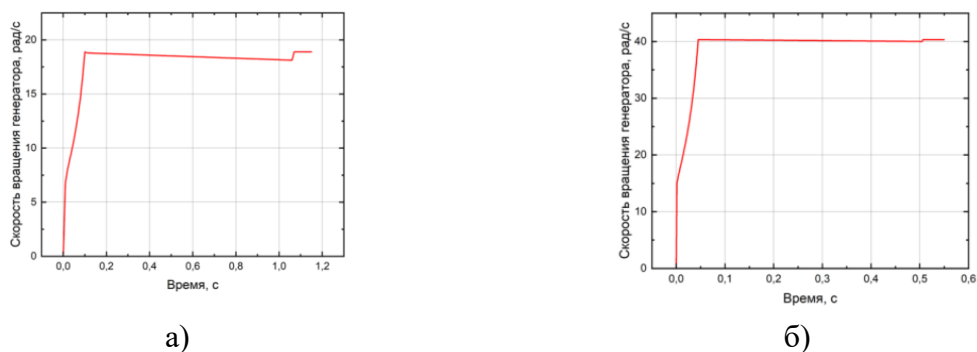


Рис. 2. Изменение угловой скорости генератора дорожной энергетической установки в период разгона при скорости автотранспортного средства: а) 10 км/ч; б) 20 км/ч

На рис. 3 а, б, представлены результаты моделирования угловой скорости генератора за полный цикл работы дорожной энергетической установки.

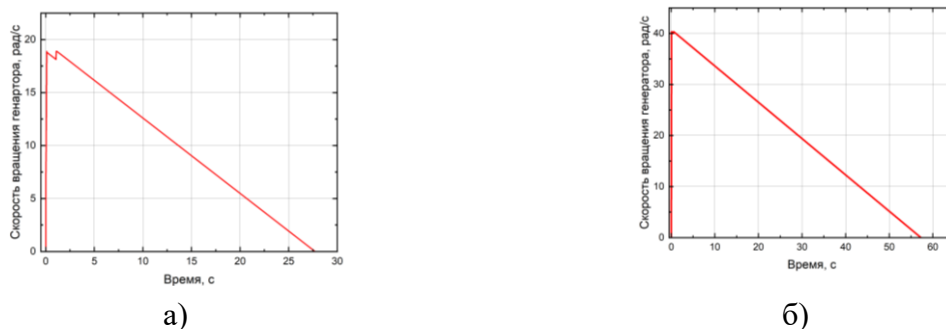


Рис. 3. Изменение угловой скорости генератора дорожной энергетической установки за полный цикл работы при скорости автотранспортного средства: а) 10 км/ч; б) 20 км/ч

Анализ полученных графиков показал, что с увеличением скорости движения автотранспортного средства время тактов 1–3 уменьшается, а время такта 4 увеличивается. Также увеличивается общее время цикла работы дорожной энергетической установки.

Список литературы

1. Walubita LF, Faruk ANM, Helffrich J, Dessouky S, Kamisa L, Roshani H, Montoya A. The Quest for Renewable Energy—Effects of Different Asphalt Mixes and Laboratory Loading on Piezoelectric Energy Harvesters. *Energies*. 2023; 16(1):157. <https://doi.org/10.3390/en16010157>.
2. Sun, M., Wang, W., Zheng, P., Luo, D., & Zhang, Z. (2021). A novel road energy harvesting system based on a spatial double V-shaped mechanism for near-zero-energy toll stations on expressways. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 323 doi:10.1016/j.sna.2021.112648
3. Патент на полезную модель № 205403 U1 Российская Федерация, МПК F03G 7/08. Дорожная энергетическая установка : № 2021110180 : заявл. 12.04.2021 : опубл. 13.07.2021 / Ю. М. Ляшенко, А. В. Прудий, М. Н. Колесник; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова". – EDN LAXZPZ.
4. Ляшенко, Ю. М. Исследование влияния движения звеньев механического преобразователя дорожной энергетической установки на функционирование генератора / Ю. М. Ляшенко, А. В. Прудий // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2021. – Т. 21. – № 3. – С. 41-48. – DOI 10.14529/power210305. – EDN JNEEDO.

РАСЧЁТ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ ЭСТАКАД ПОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРУБОПРОВОДЫ И КАБЕЛИ В УСЛОВИЯХ КОСОГО ИЗГИБА

¹Радайкин Олег Валерьевич, ²Хассун Мажд Сухайль, ³Дарвиш Анас
¹ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань
¹olegxxii@mail.ru

Аннотация: для эстакад, относящихся к сооружениям повышенного уровня ответственности (КС-3) особо опасных объектов, либо эксплуатируемых в условиях сильноагрессивной среды химических производств, определяющим механическим расчётом их функциональной пригодности является расчёт по образованию трещин в железобетонных балках. Инженерной методики определения этой величины для случая косоугольного изгиба в литературе не обнаружено несмотря на то, что исследуемое явление в реальных конструкциях имеет место. Для решения этого противоречия предложена нелинейная деформационная модель нормального железобетонного сечения изгибаемого элемента, сопротивляющегося косоугольному изгибу. В статье приведены расчётная схема и основные выражения алгоритма методики, который составлен авторами с целью автоматизации в ПК «MathCAD 15».

Ключевые слова: нелинейная деформационная модель, косоугольный изгиб, момент трещинообразования, железобетон, вторая группа предельных состояний, диаграммный метод, диаграммы деформирования.

CALCULATION OF CRACK FORMATION IN REINFORCED CONCRETE BEAMS OF OVERPASSES FOR TECHNOLOGICAL PIPELINES AND CABLES UNDER OBLIQUE BENDING CONDITIONS

¹Radaykin Oleg V., ²Hassoun Majd S., ³Darvish Anas
¹Kazan State Power Engineering University, г. Kazan
¹e-mail: olegxxii@mail.ru

Abstract: for overpasses belonging to structures of an increased level of responsibility (CS-3) of especially dangerous objects, or operated in a highly aggressive environment of chemical industries, the determining mechanical calculation of their functional suitability is the calculation of the formation of cracks in reinforced concrete beams. Engineering methods for determining this value for the case of oblique bending have not been found in the literature, despite the fact that the phenomenon under study takes place in real structures. To solve this contradiction, a nonlinear deformation model of a normal reinforced concrete section of a bent element resisting oblique bending is proposed. The article presents the calculation scheme and the main expressions of the algorithm of the methodology, which was compiled by the authors for the purpose of automation in the PC "MathCAD 15".

Keywords: nonlinear deformation model, oblique bending, moment of cracking, reinforced concrete, second group of limit states, diagram method, deformation diagrams.

Железобетонные эстакады под технологические трубопроводы и кабели является неотъемлемым элементом строительной инфраструктуры практически всех объектов топливно-энергетического комплекса. Большая

доля существующих и давно эксплуатируемых эстакад выполнена по типовым серийным решениям (например, Серия 3.016.1-11). Немало эстакад возводится в настоящее время из монолитного железобетона.

Для эстакад, относящихся к сооружениям повышенного уровня ответственности (КС-3) особо опасных объектов, либо эксплуатируемых в условиях сильноагрессивной среды химических производств, определяющим механическим расчётом их функциональной пригодности является расчёт по образованию трещин в железобетонных балках.

Как показали результаты наших исследований [1-2] существующие методы расчёта момента трещинообразования изгибаемых элементов и конструкций весьма несовершенны, содержат грубые упрощения, имеют противоречия с экспериментальными фактами. Для простых сечений и условий нагружения всё перечисленное приводит к неоправданным запасам в расчётах и, как следствие, к перерасходу материалов. Путём преодоления этих расчётных проблем является предлагаемая дискретная нелинейная деформационная модель [3]. Модель досконально проработана для случая расчёта прочности косо внецентренно сжатых железобетонных элементов [4]. Тем не менее, как частный случай она может быть модифицирована для случая определения трещинообразования в косо изгибаемых элементах. При этом отметим, что в доступной отечественной и зарубежной литературе этот случай обходится полным молчанием. Все работы по косо изгибаемым элементам затрагивают только вопрос прочности, например, [5]. По всей видимости, это связано со сложностью данной задачи, как в теоретическом, так и в экспериментальном аспектах. Тем не менее, реальные изгибаемые конструкции практически всегда испытывают косой изгиб, возникающих от комбинации вертикальных и горизонтальных нагрузок. В связи со всем перечисленным, заявленная тема публикации является весьма актуальной.

Используя принципы, заложенные в предыдущих работах, на рис. 1 получена расчётная схема нормального сечения косо изгибаемого железобетонного элемента прямоугольного поперечного профиля с двойным армированием.

Особенность этой расчётной схемы заключается в том, что для каждой компоненты железобетонного сечения (бетонной площадки, арматурного стержня) вводится локальная система координат с началом отчёта, расположенном на нейтральной оси сечения. Это позволяет на этой оси приравнять продольные деформации на уровне центра тяжести приведённого сечения нулю и значительно упростить расчётные формулы для определения кривизны и других параметров.

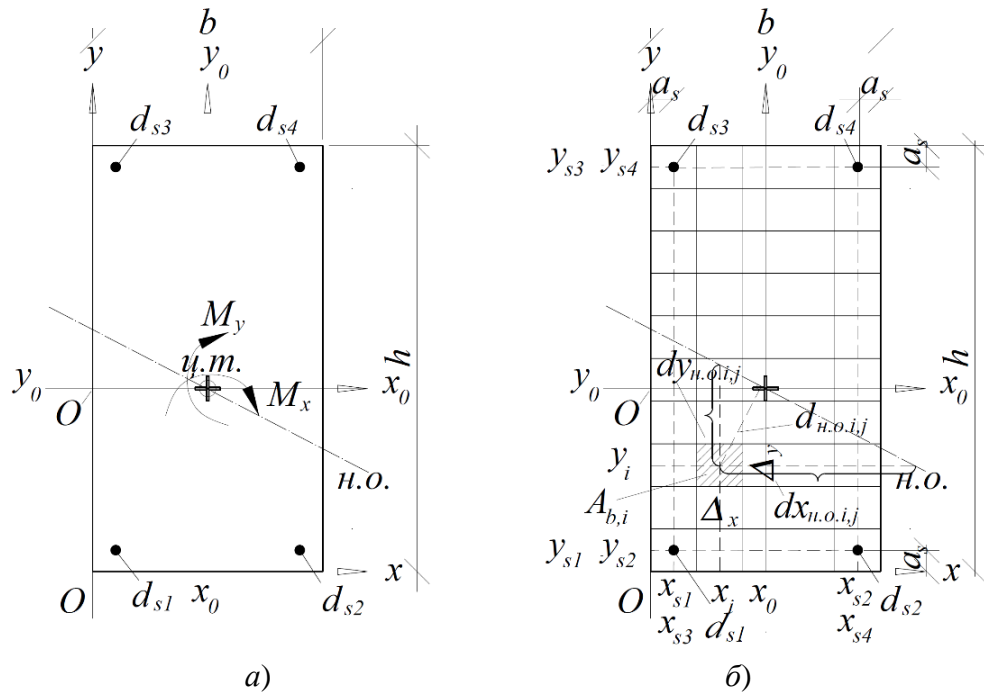


Рис. 1. Расчётная схема косо изгибаемого железобетонного сечения [1-3]: а – схема усилий в поперечном сечении; б – расчётная схема поперечного сечения элемента для построения нелинейной деформированной модели (напряжения и деформации условно не показаны)

Основные выражения, описывающие представленную модель сечения элемента, следующие:

- расстояния от каждой точки железобетонного сечения до нейтральной оси:

$$dx_{н.о.i,j} = x_{н.о.i,j} - x_{i,j}, \quad dy_{н.о.i,j} = y_{н.о.i,j} - y_{i,j}, \quad d_{н.о.i,j} = \frac{|dx_{н.о.i,j}| |dy_{н.о.i,j}|}{\sqrt{(dx_{н.о.i,j})^2 + (dy_{н.о.i,j})^2}}; \quad (1)$$

- расстояние от наиболее растянутой бетонной площадки до нейтральной оси:

$$d_{н.о.б}^{\max} = \frac{|x_{н.о.б}^{\max} - x_b^{\max}| |y_{н.о.б}^{\max} - y_b^{\max}|}{\sqrt{(x_{н.о.б}^{\max} - x_b^{\max})^2 + (y_{н.о.б}^{\max} - y_b^{\max})^2}}; \quad (2)$$

- геометрические характеристики приведённого сечения:

$$\left\{ \Delta A_{b,i,j} = \Delta_x \Delta_y, \text{ если } E_{b,i,j}^{\text{sec}} > 0; \quad \Delta A_{b,i,j} = 0, \text{ если } E_{b,i,j}^{\text{sec}} \leq 0, \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta S_{bx,i,j} &= \Delta_x \Delta_y y_{i,j}, \text{ если } E_{b,i,j}^{\text{sec}} > 0; & \Delta S_{bx,i,j} &= 0, \text{ если } E_{b,i,j}^{\text{sec}} \leq 0 \\ \Delta S_{by,i,j} &= \Delta_x \Delta_y x_{i,j}, \text{ если } E_{b,i,j}^{\text{sec}} > 0; & \Delta S_{by,i,j} &= 0, \text{ если } E_{b,i,j}^{\text{sec}} \leq 0 \end{aligned} \right.$$

$$\begin{cases} \Delta I_{bx0,i,j} = \Delta_x \Delta_y (y_{i,j} - y_0)^2, \text{ если } E_{b,i,j}^{\text{sec}} > 0; & \Delta I_{bx0,i,j} = 0, \text{ если } E_{b,i,j}^{\text{sec}} \leq 0 \\ \Delta I_{by0,i,j} = \Delta_x \Delta_y (x_{i,j} - x_0)^2, \text{ если } E_{b,i,j}^{\text{sec}} > 0; & \Delta I_{by0,i,j} = 0, \text{ если } E_{b,i,j}^{\text{sec}} \leq 0 \end{cases},$$

$$E_{bred}^{\text{sec}} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} E_{b,i,j}^{\text{sec}}}{nm}, \quad A_{red} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} \Delta A_{b,i,j} + \frac{\sum_{l=1}^4 E_{sred,l}^{\text{sec}} A_{s,l}}{E_{bred}^{\text{sec}}}, \quad (3)$$

$$S_{redx} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} \Delta S_{bx,i,j} + \frac{(E_{sred,1}^{\text{sec}} A_{s1} + E_{sred,2}^{\text{sec}} A_{s2}) a_s + (E_{sred,3}^{\text{sec}} A_{s3} + E_{sred,4}^{\text{sec}} A_{s4})(h - a_s)}{E_{bred}^{\text{sec}}}$$

$$S_{redy} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} \Delta S_{by,i,j} + \frac{(E_{sred,1}^{\text{sec}} A_{s1} + E_{sred,2}^{\text{sec}} A_{s2}) a_s + (E_{sred,3}^{\text{sec}} A_{s3} + E_{sred,4}^{\text{sec}} A_{s4})(b - a_s)}{E_{bred}^{\text{sec}}}$$

$$I_{redx0} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} \Delta I_{bx,i,j} + \frac{(E_{sred,1}^{\text{sec}} A_{s1} + E_{sred,2}^{\text{sec}} A_{s2})(a_s - y_0)^2 + (E_{sred,3}^{\text{sec}} A_{s3} + E_{sred,4}^{\text{sec}} A_{s4})[(h - a_s) - y_0]^2}{E_{bred}^{\text{sec}}}$$

$$I_{redy0} = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} \Delta I_{by,i,j} + \frac{(E_{sred,1}^{\text{sec}} A_{s1} + E_{sred,3}^{\text{sec}} A_{s3})(a_s - y_0)^2 + (E_{sred,2}^{\text{sec}} A_{s2} + E_{sred,4}^{\text{sec}} A_{s4})[(b - a_s) - x_0]^2}{E_{bred}^{\text{sec}}}$$

- центр тяжести приведённого сечения:

$$x_0 = \frac{S_{redy}}{A_{red}}, \quad y_0 = \frac{S_{redx}}{A_{red}}; \quad (4)$$

- деформационный критерий трещинообразования:

$$\chi_0^{\max} = \frac{\varepsilon_{br2}}{d_{н.о.б}^{\max}}; \quad (5)$$

- момент трещинообразования:

$$M_{crc} = \chi_0^{\max} \left[\Delta_x \Delta_y \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} E_{i,j}^{\text{sec}} dx_{н.о.и,j} + \sum_{l=1}^4 E_{s,l}^{\text{sec}} A_{s,l} d_{н.о.с,l} \right]. \quad (6)$$

В качестве физических соотношений бетона использованы диаграммы деформирования Радайкина О.В., учитывающие накопление повреждений [6]. Для стальной арматуры применены диаграммы Прандтля согласно СП 63.13330.2018.

На основе представленных формул в ПК «MathCAD 15» составлен алгоритм инженерного расчёта момента трещинообразования в железобетонном сечении.

бетонном сечении. С его использованием предварительно проведён ряд расчётов, в том числе для случая, когда один из изгибающих моментов равен нулю (случай прямого изгиба). Результаты для этого частного случая полностью соответствуют ранее полученным данным [1].

Список литературы

1. Радайкин О.В. К определению момента трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов с учётом пластических деформаций бетона растянутой зоны // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2018. - № 3. – С. 30-38.

2. Радайкин О.В., Карпенко Н.И., Соколов Б.С. Совершенствование методики расчета изгибаемых железобетонных элементов без предварительного напряжения по образованию нормальных трещин // Строительные материалы. – 2013. - № 6. – С. 54-55.

3. Радайкин О.В. Теоретические основы диаграммного метода расчёта стержневых элементов из армированного бетона // Строительство и реконструкция. – 2020. - № 6 (92). - С. 26-42.

4. Радайкин О.В., Сабитов Л.С., Ахтямова Л.Ш., Аракчеев Т.П. Общий случай расчёта стержневых элементов из армированного бетона диаграммным методом // Строительство и реконструкция. – 2021. - № 1 (93). - С. 26-37.

5. Воронцова Н.С., Морозов В.И. Конечно-элементное моделирование косо изгибаемых фиброжелезобетонных элементов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 10 (61). С. 30-41.

6. Радайкин О.В. К построению диаграмм деформирования бетона при одноосном кратковременном растяжении/сжатии с применением деформационного критерия повреждаемости // Вестник гражданских инженеров. – 2017. - № 6 (56). – С. 71-78.

УДК 621.311.17:621.313

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОЙ КОМПАНИИ

Садыкова Ляззат Анатольевна
Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет
г.Уральск, Казахстан
archisad@mail.ru

Аннотация: сегодня электроэнергетика Казахстана испытывает очень серьёзные трудности. Износ генерирующих мощностей и электрических сетей по стране достиг 80 %. Эффективность производства, передачи и непрерывности подачи электроэнергии

при таком износе электрических сетей является огромной проблемой для экономики страны. Без достаточного объема инвестиций в традиционную электроэнергетику невозможно выйти из сложившейся ситуации. Отрасль ожидают катастрофические последствия. Наиболее выгодным для Казахстана является расширение, модернизация и коренное улучшение инфраструктуры государственной системы электрических сетей, которая обеспечит доступность дешевой и стабильной электроэнергии для всех потребителей и полное использование мощности угольных и гидроэлектростанций. В статье рассмотрены проблемы и перспективы развития Западно-Казахстанской распределительной электрической сети.

Ключевые слова: электрическая энергия, электропередача, модернизация, производство, электростанция, мощность, напряжение, подстанции, реконструкция.

WAYS TO SOLVE THE PROBLEMS OF AN ELECTRIC GRID COMPANY

Sadykova Lyazat Anatolyevna

West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, Kazakhstan

Abstract: today, Kazakhstan's electric power industry is experiencing very serious difficulties. The depreciation of generating capacities and electric networks in the country has reached 80%. The efficiency of production, transmission and continuity of electricity supply with such deterioration of electrical networks is a huge problem for the country's economy. It is impossible to get out of the current situation without a sufficient amount of investment in the traditional electric power industry. The industry is facing catastrophic consequences. The most profitable for Kazakhstan is the expansion, modernization and radical improvement of the infrastructure of the state system of electric networks, which will ensure the availability of cheap and stable electricity for all consumers and the full use of the capacity of coal and hydroelectric power plants. The article discusses the problems and prospects of development of the West Kazakhstan distribution electric network.

Keywords: electric energy, power transmission, modernization, production, power plant, power, voltage, substations, reconstruction.

Национальная Энергетическая Система (НЭС) Казахстана состоит из 376 воздушных линий электропередачи общей протяженностью 26,9 тыс.км и 81 электрической подстанции напряжением 35-1150 КВ с установленной мощностью трансформаторов 38 746,05 МВА. Все они находятся на балансе Системного оператора Единой электроэнергетической системы Республики Казахстан АО «КЕГОС» [1].

190 электрических станций в Казахстане различной формы собственности осуществляют производство электроэнергии. На 01.01.2022г. общая установленная мощность электростанций РК составляет 23957,3 МВт., располагаемая мощность — 19004,0 МВт.

Линии электропередач и распределительные сети страны разделены на 3 части: одна на юге и две на севере. С Объединённой энергетической системой Средней Азии она соединена на юге, а с Единой энергетической системой России она соединена на севере. Нет в стране единой

диспетчерской службы и единой запитательной сети, в северных областях-избыток энергии, а в южных областях-недостаток [2].

В настоящее время ведётся строительство линии, которая соединит Северную и Южную энергосистемы и рассматривается возможность строительства линии, соединяющей Западную энергосистему с Северной.

Президент Касым-Жомарт Токаев заявил о намерении Казахстана к 2060 году добиться полной углеродной нейтральности экономики. 1 июля 2021 года вышел новый «Экологический кодекс Республики Казахстан», по которому необходимо уменьшение негативного воздействия на окружающую среду. К первой, наивысшей категории относятся «сжигание топлива, за исключением газа, на станциях с общей номинальной тепловой мощностью 50 мегаватт (МВт) и более» [3].

Чтобы удовлетворить растущие потребности государства в электроэнергии, необходимо ввести 7 ГВт новых мощностей и вывести из работы 1 ГВт устаревших энергетических мощностей. Необходимы инвестиции на десятки миллиардов долларов США, их отсутствие приведет к катастрофическим последствиям.

В отдельных регионах показатели износа превышают 80%. К таким регионам относится Западно-Казахстанская область.

ТОО «Западно-Казахстанская региональная электросетевая компания» основано в 2021 году и является субъектом естественной монополии, оказывающей услуги по передаче и распределению электрической энергии по сетям на территории Западно-Казахстанской области. В состав предприятия входят городские электрические сети (ГЭС) и 16 районные электрические сети (РЭС) Общая протяженность линий электропередач по трассе 20304 км, износ линий электропередач 82 %. Действующие объекты требуют модернизации, расширения мощностей и реконструкции. При этом из-за растущего спроса на тепло- и электроэнергию нагрузка и требования к работе объектов постоянно усиливаются. При этом, уровень износа генерирующего, передающего и вспомогательного оборудования, а также производственных зданий и сооружений в определенных случаях превышает аварийный.

Консалтинговая компания Accenture в рамках программы перечисляет риски, с которыми обязательно столкнутся руководители электропередающих компаний в процессе глобальной трансформации отрасли. Необходима диспетчеризация небывалого уровня, достичь которой невозможно без технологического рывка. Вовремя трансформироваться смогут не все – переломный момент наступит неожиданно и, скорее всего, уже в ближайшее десятилетие. Зато те, кому

это удастся, получат возможность значительно расширить базу управляемых активов, увеличить спектр предоставляемых услуг за счет совершенно новых продуктов и наладить выгодное сотрудничество с другими звеньями создания стоимости энергии [5].

Для решения вопроса изношенности электропередач в Казахстане планируют выделить 123 млрд тенге. По информации Минэнерго, за счет этих средств будет приведено в порядок 6,3 тыс. км электросетей, в том числе 41,3 км в Западно-Казахстанской области.

ТОО «ЗапКазРЭК» принимает меры: в 2022 году произведен ремонт объектов электроснабжения протяженностью 1830 км, который позволил сократить износ объектов электроснабжения на 2 %:

- заменено 159 опор на ВЛ-10 кВ ПС «Фрунзе»;
- закуплены 16 силовых трансформаторов на КТП 10/0,4 кВ;
- отремонтировано 17 подстанции и 252 комплексно-трансформаторных подстанций.

Укрепление материальной базы сократило время устранения аварий на электросетях на 30 %:

- приобретено 17 спецтехники на общую сумму 495 млн тенге.

Совместно с управлением Энергетики и жилищно-коммунального хозяйства области была разработана проектно-сметная документация на реконструкцию сетей электроснабжения области в количестве 37 проектов на общую сумму 113,2 млн тенге.

Реализацию данных проектов планируется осуществить 2024-2026 гг за счет бюджетных средств, необходимая сумма для реализации проектов – 20 млрд тенге.

Казахстанские специалисты считают, что необходим резерв электроэнергии: развитие ВИЭ. Но источники альтернативной энергии будут подключаться к распределительным сетям. Возникнет необходимость строительства маневрирующих мощностей и готовность к новым режимам работы распределительных сетей; необходимость диспетчеризации, которая потребует колоссальной, мгновенной трансформации.

Покрыть дефицит электроэнергии решили путем строительства атомной электростанции. Но такой системы, в которой отключения не будут случаться, в мире пока нет.

В связи с вышеизложенным, низким уровнем развития современных технологий и оборудования в области энергетики, необходимо периодически проводить семинары в рамках научно-технического партнерства с другими государствами, стимулировать и инвестировать, создавать благоприятные условия для реализации проектов по новым энергоэффективным, энергосберегающим технологиям.

А для существенного прогресса в области успешного применения новой техники и новых технологий необходимы квалифицированные кадры. Для этого необходимы стажировки, семинары, курсы повышения квалификации, организация круглых столов, диалогов для профессорско-преподавательского состава высших учебных заведений страны по обмену опытом.

Список литературы

1. Приказ Министерства Энергетики РК от 17.10.2014 г. № 61.
2. Нургалиев Д. Технология, меняющая индустриальный мир// Казахстанская правда. 2017. – С. 8.
3. Экологический кодекс Республики Казахстан / №400-VI ЗРК.02.01.2021 г.
4. Садыкова Л.А. Проблемы Западно-Казахстанской электросетевой компании// Изд. ЧГУ им. И.Н. Ульянова. – 2022. – Чебоксары. – С. 173.
5. <https://lsm.kz/energetika-kazahstana-problemy-resheniya-i-perspektivy>

УДК 620.97

ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ОБЪЕКТОВ ВИЭ-ГЕНЕРАЦИИ В ОЭС ЮГА В ДОЛГОСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ

Трегубов Андрей Анатольевич
Аспирантура ФГБУН Институт энергетических исследований
Российской академии наук
г. Москва
projectbox@inbox.ru

Аннотация: в статье анализируются издержки на интеграцию ВИЭ-генерации в ОЭС Юга, приводятся данные об удельных капитальных затратах, необходимых для подключения ВЭС и СЭС к электрическим сетям 110 кВ и выше, выполнена оценка возможной выдаваемой мощности ВИЭ в ОЭС Юга на 2028 и 2035 годы без реализации мероприятий по усилению электрической сети, оценка сетевых издержек, необходимых для выдачи большего объема мощности ВИЭ, а также возможный объем мощности и стоимость накопителей электрической энергии.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, интеграция, маневренные мощности, накопители электрической энергии, издержки, удельные капитальные затраты.

ASSESSMENT OF THE COST OF INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO THE UPS OF THE SOUTH IN THE LONG-TERM PERSPECTIVE

Abstract: the article analyzes the costs of integrating RES-generation into the UPS of

the South, provides data on the unit capital costs required to connect WPPs and SPPs to electric networks of 110 kV and above, assesses the possible output power of RES in the IPS of the South for 2028 and 2035 without implementing measures to strengthen electrical network, network costs required to produce a larger amount of RES power, as well as the possible volume and cost of electrical energy storage.

Keywords: renewable energy sources, integration, flexible capacities, electrical energy storage, costs, unit capital costs.

Тренд на декарбонизацию энергетики приводит к увеличению доли ветряных и солнечных электростанций в структуре генерирующих мощностей энергосистем во всем мире. Вопросам интеграции электростанций на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Единую энергетическую систему России посвящено множество научных публикаций, в которых освещаются как технические, так и организационные мероприятия, необходимые для обеспечения надежности функционирования энергосистем и электроснабжения потребителей в условиях растущей доли ВИЭ [1, 2].

В настоящей статье анализируются основные категории издержек на интеграцию ВИЭ-генерации и приводятся результаты расчетов удельных капиталовложений, необходимых для реализации технических мероприятий, направленных на обеспечение выдачи мощности объектов ВИЭ-генерации в соответствии с требованиями действующей нормативно-технической документации при их интеграции в объединенную энергетическую систему (ОЭС) Юга на долгосрочном горизонте планирования до 2035 года.

Процесс внедрения в единую энергетическую систему электростанций на основе переменчивых возобновляемых источников энергии, таких как ветряные и солнечные электростанции, имеет ряд особенностей по отношению к традиционным объектам генерации.

Можно выделить следующие характеристики ВИЭ, влияющие на стоимость интеграции в ЕЭС:

- изменчивость нагрузки – ВЭС и СЭС не предусматривают возможность диспетчерского управления и их мощность изменяется в зависимости от наличия ресурсов (ветра и солнечного света);
- непредсказуемость – загрузку ВЭС и СЭС невозможно точно спрогнозировать. Точность прогноза загрузки возрастает с приближением к моменту поставки мощности;
- зависимость доступных энергетических ресурсов от местоположения - площадки, располагающие благоприятными условиями, часто сконцентрированы в одной и той же зоне, находящейся вдали от центров нагрузки.

Издержки на интеграцию ВИЭ можно разделить на четыре категории:

а) издержки на подключение — это затраты на подключение электростанции к ближайшей точке соединения с существующей электрической сетью;

б) сетевые издержки — затраты на усиление электрической сети, связанные с ограничениями при передаче электрической энергии на большие расстояния по причине географической удаленности электростанций от центров нагрузки;

в) издержки на резервирование — затраты на сооружение маневренных электрических станций, предусматривающих возможность диспетчерского управления, необходимых для поддержания параметров электроэнергетического режима в допустимых пределах в случае снижения нагрузки ВИЭ;

г) издержки на выравнивание нагрузок — затраты на сооружение накопителей электрической энергии, в том числе ГАЭС, для уменьшения количества вращающегося резерва, числа пуска и остановов, повышения требований к обеспечению маневренности, связанных со скоростью набора и снижения мощности, снижения износа генерирующего оборудования.

Анализ информации по развитию электрических сетей напряжением 110 кВ и выше, учитываемой в качестве мероприятий по выдаче мощности генерирующего оборудования объектов по производству электрической энергии, по данным региональных схем и программ развития электроэнергетики (СиПР) и СиПР ЕЭС России показал, что для реализации схем выдачи мощности (СВМ) ветряных и солнечных электростанций в период до 2028 года достаточно мероприятий по подключению проектируемой электростанции к электрической сети без выполнения дополнительных мероприятий по усилению прилегающей электрической сети.

На основании «Укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики в части объектов электросетевого хозяйства» (УНЦ), утвержденных Приказом Минэнерго России № 10 [3], определены объемы капитальных затрат на реализацию мероприятий для СВМ, действующих ВЭС и СЭС, и планируемых к сооружению до 2028 года в соответствии с СиПР. УНЦ приведены в ценах по состоянию на 1 января 2018 года. Для определения величины капитальных затрат в текущих ценах 2023 года применяются индексы-дефляторы инвестиций в основной капитал, указанные в среднесрочных Прогнозах социально-экономического развития Российской Федерации.

Как показывают расчеты, удельные капитальные затраты на реализацию СВМ ВЭС находятся в диапазоне от 0,15 млн руб./МВт до 2,92 млн руб./МВт, при этом среднее значение удельных капитальных затрат для подключения ВЭС к электрической сети составило 0,99 млн руб./МВт. Удельные капитальные затраты на реализацию СВМ СЭС находятся в диапазоне от 0,20 млн руб./МВт до 2,86 млн руб./МВт, при этом среднее значение удельных капитальных затрат для подключения СЭС к электрической сети составило 0,83 млн руб./МВт. На рисунках 1 и 2 приведены графики распределения количества рассмотренных проектов СВМ ВЭС и СЭС по величине удельной стоимости подключения ВИЭ-объектов соответствующего типа.

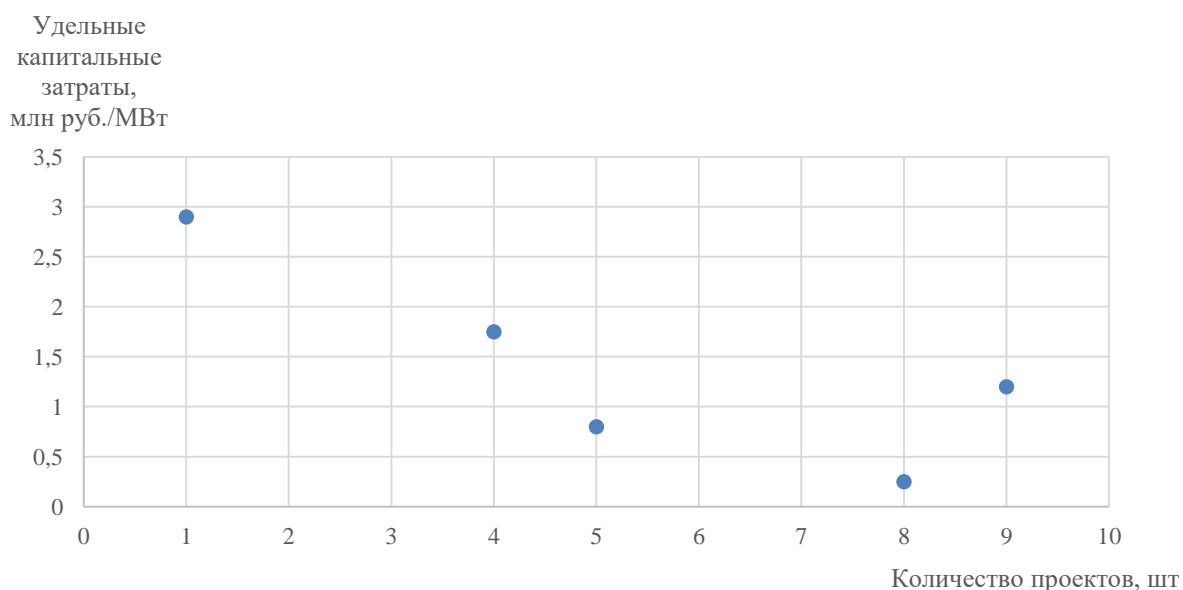


Рис. 1. Распределение количества рассмотренных проектов СВМ по величине удельной стоимости подключения ВЭС

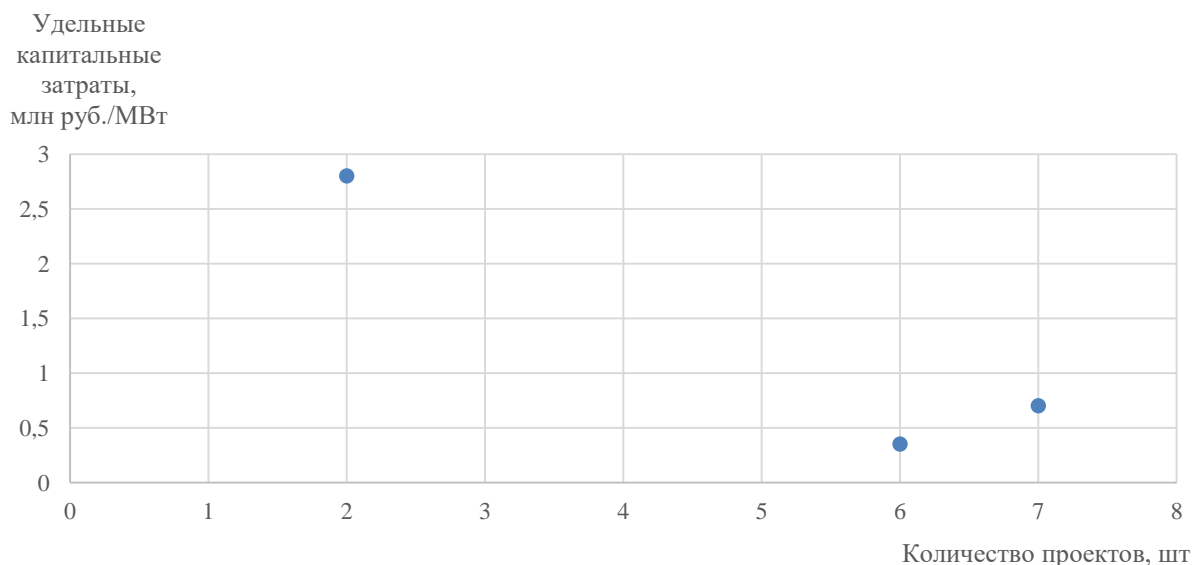


Рис. 2. Распределение количества рассмотренных проектов СВМ по величине удельной стоимости подключения СЭС

Как видно из результатов расчетов, удельные капитальные затраты на реализацию СВМ ВЭС и СЭС очень близки по величине. Это объясняется тем, что ВЭС и СЭС имеют одинаковые требования к СВМ и схожие принципы выбора местоположения площадок для сооружения электростанций.

Лидером по внедрению ВИЭ на всей территории Российской Федерации является объединенная энергетическая система (ОЭС) Юга. На 01.01.2023 к электрическим сетям 110 кВ и выше ОЭС Юга подключено 78 ВЭС и СЭС установленной мощностью 3 070 МВт. При этом всего в ЕЭС России введены в эксплуатацию 95 объектов ВИЭ-генерации совокупной мощностью 3 747 МВт. В соответствии с утвержденной Схемой и программой развития электроэнергетических систем России на 2023-2028 годы (далее – СиПР ЭЭС на 2023-2028) в ОЭС Юга прогнозируется ввод еще 2 104 МВт ВЭС и СЭС.

Наибольший объем введенных и отобранных проектов реализован и запланирован к размещению в Волгоградской области, Ставропольском крае и Ростовской области.

В целях определения максимальной возможной выдачи мощности ВИЭ в ОЭС Юга в настоящей работе выполнены расчеты электроэнергетических режимов на период 2028 года и 2035 года.

Расчеты выполнены в соответствии с требованиями Методических указаний по проектированию развития энергосистем (Методические указания по проектированию) [4], утвержденных приказом Минэнерго России от 06.12.2022 N 1286, и «Правилами разработки и согласования схем выдачи мощности объектов по производству электрической энергии и схем внешнего электроснабжения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии» (Правила разработки СВМ/СВЭ) [5], утверждёнными Приказом Минэнерго России от 28.12.2020 N 1195 (ред. от 17.02.2023).

Необходимо отметить, что в соответствии с Правилами разработки СВМ/СВЭ для существующих электростанций АЭС, ТЭС, ГЭС и ВЭС нагрузка в режимах зимнего максимума потребления мощности, зимнего минимума потребления мощности, летнего максимума потребления мощности, летнего минимума потребления мощности, режимах минимума и максимума потребления мощности в период паводка (половодья) должна приниматься равной их характерной нагрузке для соответствующего режима, определяемой как абсолютная суммарная максимальная нагрузка указанного типа электростанций энергорайона для соответствующего режима за последние пять лет. Однако, в настоящей работе в целях определения максимальной возможной выдачи мощности ВИЭ, нагрузка

тепловых электрических станций, являющихся участниками оптового рынка электрической энергии и мощности (ОРЭМ), принята не по уровню характерной нагрузки для соответствующего режима, а определяется из условия достаточности находящейся в работе генерации для поддержания электроэнергетического режима в области допустимых значений при снижении нагрузки ВИЭ до нуля, в том числе с учетом скорости набора нагрузки действующих электростанций в течение 20 минут. Также при анализе балансов мощности учтены ограничения минимальной нагрузки тепловых станций, работающих по графику теплоснабжения в осенне-зимний период. Такой подход полностью соответствует принципам определения включенного состояния генерирующего оборудования, которое в общем случае определяется по результатам проведения формализованной процедуры ВСВГО (выбор состава включенного генерирующего оборудования) и распределения нагрузки между электростанциями при оптимизации режима по минимуму расхода топлива в рамках конкурентного отбора ценовых заявок на сутки вперед в установленном регламентами ОРЭМ порядке. Таким образом, происходит замещение генерации, работающей на ископаемом топливе, более экономичной и экологичной ВИЭ-генерацией.

В результате расчетов установлено, что при собственной максимальной нагрузке ОЭС Юга на уровне 2028 года равной 18 855 МВт с учетом планируемых изменений установленной мощности электростанций, а также развития электрических сетей 110 кВ и выше в соответствии с СиПР ЭЭС на 2023-2028 годы [6] возможная выдаваемая мощность ВИЭ составила:

- в период паводка (половодья)
 - 3 290 МВт для ВЭС,
 - 1 070 МВт для СЭС,
- в летний период
 - 4 195 МВт для ВЭС,
 - 1 630 МВт для СЭС,
- в осенне-зимний период
 - 4 560 МВт для ВЭС,
 - 1 648 МВт для СЭС.

Величина возможной выдаваемой мощности ВЭС определяется в характерные часы минимума нагрузок (ночной провал) ОЭС Юга по условию не превышения максимально допустимого перетока активной мощности из ОЭС Юга в рассматриваемых контролируемых сечениях в нормальной схеме. Величина возможной выдаваемой мощности СЭС

определяются в характерные часы утренних максимальных нагрузок при неизменной величине нагрузки ВЭС, определенной в ночной провал. Так как мощность СЭС определена по остаточному принципу, то возможно увеличение мощности СЭС за счёт снижения мощности ВЭС.

С учетом принятых в настоящей работе коэффициентов отношения нагрузки существующих электростанций в ОЭС Юга максимальная возможная установленная мощность ВЭС в 2028 году составит 4 770 МВт, СЭС – 1 425 МВт. При среднегодовом КИУМ равном 32 % для ВЭС и 14 % для СЭС (данные отчета АО «СО ЕЭС» [6]) доля выработки ВИЭ-генерации в структуре производства электроэнергии в ОЭС Юга составит 12,2 %.

При собственной максимальной нагрузке ОЭС Юга на уровне 2035 года в соответствии с Генеральной схемой [7] равной 20 555 МВт с учетом принятых в работе коэффициентов отношения нагрузки существующих электростанций в ОЭС Юга максимальная возможная установленная мощность ВЭС составит 5 239 МВт, СЭС – 1 614 МВт. При этом доля выработки ВИЭ-генерации в структуре производства электроэнергии в ОЭС Юга составит 13,0 %.

Расчеты показали, что для обеспечения возможности выдачи мощности ВИЭ в ОЭС Юга в указанном объеме требуется наличие резерва на загрузку генерации ТЭС не менее 1 050 МВт в 2028 году и 1 440 МВт в 2035 году. Существующие электростанции на территории ОЭС Юга располагают достаточным диапазоном регулирования активной мощности и скоростью набора нагрузки для поддержания параметров электроэнергетического режима в допустимых пределах в случае снижения нагрузки ВИЭ до нуля. Строительство новых объектов генерации в целях увеличения манёвренной мощности в ОЭС Юга не требуется.

Для обеспечения возможности выдачи большего объема мощности ВИЭ-генерации в ОЭС Юга требуется строительство новых межсистемных связей ОЭС Юга с ОЭС Центра, где сосредоточены крупные узлы нагрузки. Расчеты показали, что строительство ВЛ 500 кВ Балашовская – Фроловская № 2 и ВЛ 500 кВ Балашовская – Липецкая Восточная № 2 совместно с установкой устройств противоаварийной автоматики с действием на ограничение генерации позволит увеличить выдачу мощности из ОЭС Юга на 530 МВт, что соответствует дополнительной включенной мощности ВИЭ 660 МВт. С учетом принятых в настоящей работе коэффициентов отношения нагрузки существующих электростанций дополнительная установленная мощность ВИЭ-генерации в ОЭС Юга составит 880 МВт. Сетевые издержки необходимые для интеграции объектов ВИЭ в случае реализации описанного варианта развития электросетевого комплекса составят 24,8 млн руб./МВт.

Для выравнивания суточного графика потребления мощности в соответствии с расчетами электроэнергетических режимов в ОЭС Юга допустимо строительство ГАЭС мощностью до 980 МВт в 2028 году и 1160 МВт в 2035 году. Величина возможной выдаваемой мощности ГАЭС определена в характерные часы вечерних максимальных нагрузок ОЭС Юга при неизменной величине нагрузки ВЭС, определенной в часы ночного провала. Средняя удельная стоимость сооружения ГАЭС, полученная на примере планируемых и реализованных проектов в России, Германии, Великобритании, Китае, Японии, США, составляет 98 млн руб./МВт [8].

Решение о необходимости развития электрических сетей, увеличения доли быстро вводимых (в течение 20 минут) маневренных генерирующих мощностей, включая газотурбинные и газопоршневые установки, строительства ГАЭС или других накопителей электрической энергии, или об отказе в размещении ВЭС и СЭС должно приниматься на основе оценки экономического эффекта реализации указанных технических решений. Такое технико-экономическое сравнение вариантов перспективного развития электроэнергетики заключается в определении степени влияния реализации технических решений на конечную цену электрической энергии для потребителей, находящихся не только на территории ОЭС Юга, но и за ее пределами. Так, обоснованием необходимости строительства межсистемных связей и выбора районов размещения новых электростанций в условиях конкурентного рынка является не только обеспечение нормативных показателей балансовой надежности, но и максимизация функции «благополучия» всех субъектов рынка при соблюдении технологических и режимных ограничений.

Список литературы

1. Илюшин П.В. Интеграция электростанций на основе возобновляемых источников энергии в Единую энергетическую систему России: обзор проблемных вопросов и подходов к их решению // Вестник МЭИ. 2022. № 4. С. 98—107. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-98-107.

2. Илюшин П.В., Георгиевский И.Д. Обзор возможностей для увеличения доли ветровых и солнечных электростанций в структуре генерирующих мощностей энергосистем // Энергетик. 2023. № 5. С. 13—18. DOI: 10.34831/EP.2023.71.22.002.

3. Российская Федерация. М-во энергетики. Приказы. Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики в части объектов

электросетевого хозяйства : Приказ М-ва энергетики Российской Федерации от 17 января 2019 г. № 10 : зарегистрирован М-вом юстиции 7 февраля 2019 г., регистрационный № 53709. – Текст : электронный. – URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 27.06.2022).

4. Методические указания по проектированию развития энергосистем : утверждены Приказом М-ва энергетики Российской Федерации от 6 декабря 2022 г. № 1286 «Об утверждении Методических указаний по проектированию развития энергосистем и о внесении изменений в приказ Минэнерго России от 28 декабря 2020 г. № 1195», зарегистрирован М-вом юстиции 30 декабря 2022 г., регистрационный № 71920. – Текст : электронный. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202212300055> (дата обращения: 09.01.2023).

5. Правила разработки и согласования схем выдачи мощности объектов по производству электрической энергии и схем внешнего электроснабжения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии : утверждены Приказом М-ва энергетики Российской Федерации от 28 декабря 2020 г. № 1195 (ред. от 06.12.2022) «Об утверждении Правил разработки и согласования схем выдачи мощности объектов по производству электрической энергии и схем внешнего электроснабжения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии и о внесении изменений в приказы Минэнерго России от 3 августа 2018 г. № 630 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем», от 8 февраля 2019 г. № 81 «Об утверждении требований к перегрузочной способности трансформаторов и автотрансформаторов, установленных на объектах электроэнергетики, и ее поддержанию и о внесении изменений в Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные приказом Минэнерго России от 19 июня 2003 г. № 229», зарегистрирован М-вом юстиции 27 апреля 2021 г. № 63248. – Текст : электронный. – URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 18.01.2023).

6. Схема и программа развития электроэнергетических систем России на 2023–2028 годы : утверждены Приказом М-ва энергетики Российской Федерации от 28 февраля 2023 г. № 108 «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2023–2028 годы». – Текст : электронный. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/24125> (дата обращения: 20.03.2023).

7. Отчет об объемах поставленной на оптовый рынок мощности в 2022 году. – Текст : электронный. – URL: https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/markets/power_reports/power_report_2022.pdf (дата обращения: 01.08.2023).

8. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года : утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2017 г. № 1209-р (ред. от 25.11.2021). – Текст : электронный. – URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 28.09.2022).

9. Егоров А. Н., Аминов Р. З. Сравнительная оценка системной эффективности водородно-теплового аккумулирования на АЭС // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2022. – № 1. – С. 25–31. <https://doi.org/10.18635/2071-2219-2022-1-25-31>.

УДК 004.8+621.31

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ» В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

¹Терентьев Павел Валерьевич, ²Мартюхин Даниил Алексеевич
¹Нижегородский Государственный Агротехнологический Университет,
г. Нижний Новгород, Россия
²Нижегородский Государственный Агротехнологический Университет,
г. Нижний Новгород, Россия
¹terentyevpv@inbox.ru, ²daniilmartyukhin@mail.ru

Аннотация: в данной статье рассматриваются возможности использования технологии «Большие данные» для оптимизации управления электроэнергетическими системами, повышения их надежности и качества услуг, а также снижения издержек. Для достижения этих целей рассматриваются возможности применения таких инструментов, как машинное обучение, имитационное моделирование, статистический анализ и визуализация данных. В статье приводятся примеры применения этих методов для анализа данных о потреблении электроэнергии, производстве и других параметрах отрасли, а также описываются ожидаемые экономические эффекты от использования технологии «Большие данные».

Ключевые слова: электроэнергетика, цифровая трансформация, большие данные, искусственный интеллект, машинное обучение, цифровая сеть.

PRACTICAL APPLICATION OF BIG DATA TECHNOLOGY IN THE FIELD OF ELECTRIC POWER INDUSTRY

¹Terentyev Pavel Valerievich, ²Martyukhin Daniil Alekseevich
¹Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia
²Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia
¹terentyevpv@inbox.ru, ²daniilmartyukhin@mail.ru

Abstract: this article discusses the possibilities of using Big Data technology to optimize the management of electric power systems, improve their reliability and quality of

services, as well as reduce costs. To achieve these goals, the possibilities of using such tools as machine learning, simulation modeling, statistical analysis and data visualization are being considered. The article provides examples of the use of these methods for analyzing data on electricity consumption, production and other industry parameters, as well as describes the expected economic effects from the use of Big Data technology.

Keywords: electric power industry, digital transformation, big data, artificial intelligence, machine learning, digital network.

Введение. Современный подход к развитию единой электроэнергетической системы Российской Федерации предполагает внедрение и применение структурированных и облачных технологий, позволяющих управлять базами данных и бизнес-аналитикой посредством обработки огромных структурированных или неструктурированных массивов данных с использованием методов искусственного интеллекта на основании методологии, которая используется для создания, развертывания и управления сетями связи. Данное направление, представленное в концепции одной из крупнейших в мире электросетевых холдингов ПАО «Россети» – «Цифровая трансформация 2030», является ключевым. Ожидаемый эффект от внедрения – повышение эффективности управления электросетевым бизнесом [3]. Целью данной научной статьи является рассмотрение возможностей использования технологии «Большие данные» для оптимизации управления электроэнергетическими системами, повышения их надежности и качества услуг, а также снижения издержек.

Материалы и методы. Большие данные (англ. Big Data) – крупные массивы данных, которые относятся к наличию или отсутствию определенной организации информации, и набор специализированных технологий (англ. Special Technology Stack), инструментов и методов, разработанных для решения конкретных задач. Большие данные имеют следующие особенности: поступающий объем информации – более 130 гигабайт в сутки; потребность в больших вычислительных ресурсах для обработки крупных массивов информации; наличие различной степени структурированности информации [2].

Большие данные, исследуемые в области электроэнергетики, позволяют проводить аналитические исследования по оптимизации работы системы генерации и распределения электроэнергии потребителям. Аналитические исследования проводятся с применением методологии анализа больших данных, которая позволяет выявлять скрытые закономерности и тренды в различных параметрах электрической системы, а также прогнозировать её поведение в будущем. Эффективными методами являются:

Машинное обучение (англ. Machine Learning – ML). Модель, основанная на алгоритме глубокого обучения (англ. Deep Learning – DL) –

метод машинного обучения, который использует нейронные сети с несколькими слоями искусственных нейронов, позволяет обнаружить аномальные действия в работе электрической сети. Одним из возможных способов описания работы данной модели является работа искусственного интеллекта (англ. Artificial Intelligence – AI) в связке с системой сбора данных (англ. Data Gathering Systems) по выявлению аномального снижения потребления электроэнергии в определенной области. Целью данного анализа является предотвращение технических аварий на объектах электроэнергетики [1].

Имитационное моделирование – метод исследования сложных систем, основанный на замещении реального объекта математической моделью, с целью оптимизации его работы и повышения эффективности. При использовании имитационных моделей определяется количество потребителей электроэнергии для обеспечения максимальной нагрузки на сеть.

Статистический анализ. Для проведения статистического анализа используются различные методы, такие как корреляционный анализ, регрессионный анализ, анализ дисперсии. Данные методы позволяют определить связи между различными переменными и выявить наиболее значимые факторы, влияющие на работу системы электроснабжения. При анализе качества электроэнергии используется метод корреляционного анализа для определения степени взаимосвязи между параметрами качества электроэнергии и другими факторами, такими как температура окружающей среды или уровень загрузки оборудования.

Визуализация данных. Данный метод позволяет представить данные о потреблении электроэнергии, производстве и других параметрах отрасли, что упрощает процесс принятия решений.

Совмещение данных методов позволяет создавать многоуровневые интеллектуальные механизмы, такие как цифровой двойник (англ. Digital Twins – DT / Digital Shadows – DS) объекта электроэнергетической инфраструктуры – представляет собой технологию интеллектуального управления реальным объектом в цифровой среде [4, 5]. Согласно прогнозу аналитиков, дополнительный экономический эффект от использования технологии «Большие данные» в области электроэнергетики составляет 500 млрд. рублей.

Как указывалось ранее, для обработки многотерабайтных массивов данных требуется наличие высокоэффективных вычислительных ресурсов. Для решения данного рода задач существует отечественная облачная платформа, способная проводить полный цикл обработки данных любого типа – Yandex Cloud.

Алгоритм обработки крупных массивов информации происходит следующим образом (Рис. 1):

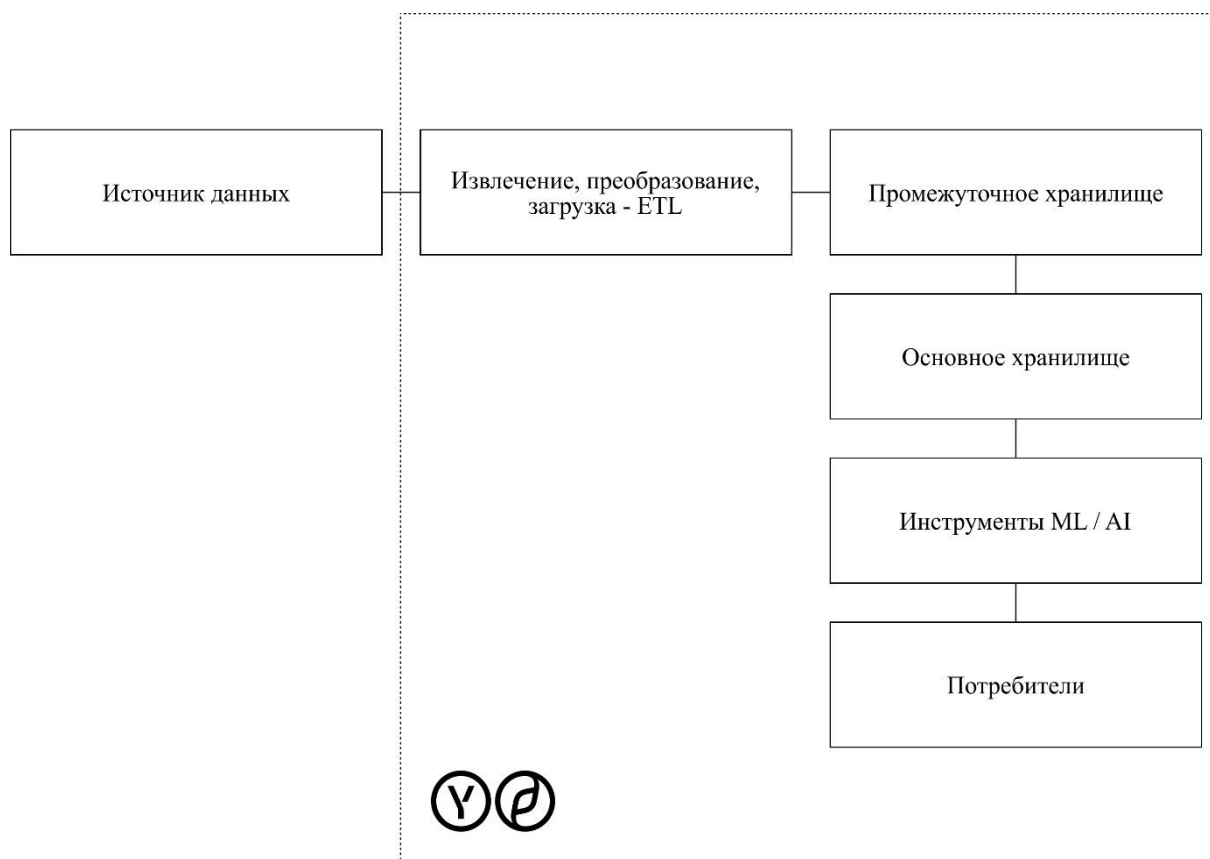


Рис. 1 – Алгоритм выполнения обработки массивов данных

1 – Источник данных – источник информации, который содержит данные, полученные от систем сбора данных.

2 – Извлечение, преобразование, загрузка – ETL-процессы позволяют извлекать данные из различных источников, а затем преобразовывать их в формат, который может загружен и обработан с помощью специализированных инструментов.

3 – Промежуточное хранилище – структура данных, которая используется для временного хранения промежуточных результатов обработки данных. Хранилище содержит результаты предыдущих этапов обработки, а также информацию о текущем состоянии процесса обработки.

4 – Основное хранилище – структура данных, которая используется для хранения окончательных результатов обработки данных. Данное хранилище может содержать все необходимые данные для принятия решений по управлению электроэнергетической инфраструктурой.

5 – Инструменты ML / AI – инструменты, которые используются для анализа данных и выявления закономерностей в процессе обработки.

Позволяют автоматизировать процессы обработки данных и повысить эффективность работы системы управления электроэнергетической инфраструктурой [4,6].

6 – Потребители – конечные пользователи, которым предоставляются результаты обработки данных. Пользователи могут использовать эти данные для принятия решений по оптимизации потребления электроэнергии, определения оптимальных параметров производства и т.п.

Результаты. В результате проведенного научного исследования было выявлено, что использование технологии «Большие данные» в управлении электроэнергетическими системами имеет значительный потенциал для оптимизации работы электроэнергетического бизнеса. Результаты исследований показали высокую эффективность использования интеллектуальных технологий при обработке больших объемов структурированной или неструктурированной информации, полученной с помощью специализированных инструментов ML / AI. Продемонстрирована возможность использования облачной платформы Yandex Cloud для полного цикла обработки данных любого типа.

Заключение. Использование крупных массивов данных является ключевым фактором, способствующим повышению электроэнергетической безопасности Российской Федерации путем создания новых инфраструктурных возможностей. Применение современных технологий, таких как машинное обучение, имитационное моделирование, статистический анализ и визуализация данных, позволяет эффективно обрабатывать крупные массивы информации и принимать обоснованные решения по управлению электроэнергетической инфраструктурой.

Список литературы

1. Вьюгин, В. В. Математические основы машинного обучения и прогнозирования / В.В. Вьюгин. – Москва : МЦНМО, 2013, 2018. – 484 с. – ISBN 978-5-4439-1249-3.

2. Крылов, В. В. Большие Данные и их приложения в электроэнергетике. От бизнес-аналитики до виртуальных электростанций / В.В. Крылов, С.В. Крылов. – Москва : 2014. – 166 с. – ISBN 978-5-519-02625-3.

3. ПАО «Россети». Концепция. Цифровая трансформация 2030 – URL: https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.

4. Агравал, А. Искусственный интеллект на службе бизнеса. Как машинное прогнозирование помогает принимать решения / А. Агравал, А. Голдфарб, Д. Ганс. – Москва : 2019. – 336 с. – 978-5-00117-881-1.

5. Гудфеллоу, Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль. – Москва : ДМК Пресс, 2018. – 652 с. – ISBN 978-5-97060-618-6.

6. Элбон, К. Машинное обучение с использованием Python / К. Элбон. – Санкт-Петербург : 2019. – 384 с. – ISBN 978-5-9775-4056-8.

УДК 621.316

К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТАНОВОК ВЫСШИХ ГАРМОНИК НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСЕТИ И ТОКА НЕЛИНЕЙНЫХ НАГРУЗОК

¹Тукшаитов Рафаил Хасьянович, ²Лозина Наталья Георгиевна,
¹Зарипов Рустам Котдусович

¹Казанский государственный технический университет

²Научно-исследовательский институт постоянного тока (СПб)

Аннотация: результаты изучения материалов целого ряда публикаций сделали необходимым разработать и предложить перечень показателей для характеристики фильтркомпенсирующих установок. На примере анализа данных установки Дж. Арриллага и соавт. [1] и вычисления ряда дополнительных ее показателей предложена определенная основа для сравнительной характеристики эффективности таких установок.

Ключевые слова: фильтркомпенсирующая установка, высшие гармоники, нелинейная нагрузка, эмиссия высших гармоник, добротность, резонансный контур.

TO THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF FILTER COMPENSATING DEVICES OF HIGHER HARMONICS OF MAINS VOLTAGE AND CURRENT OF NONLINEAR LOADS

¹Tukshaitov Rafail Khasyanovich, ²Lozinova Natalia Georgievna
¹FSBEI HE KSPEU

²Scientific Research Institute of Direct Current (St. Petersburg)

Abstract: the results of studying the materials of a number of publications made it necessary to develop and propose a list of indicators for characterizing filter compensating installations. On the example of the data analysis of the installation by J. Arrillaga et al. [1] and the calculation of a number of its additional indicators, a certain basis was proposed for a comparative characteristic of the efficiency of such installations.

Keywords: filter compensating installation, higher harmonics, nonlinear load, emission of higher harmonics, Q-factor, resonant contour of the circuit.

Одним из важных показателей качества электроэнергии в условиях широкого внедрения преобразовательной техники является уровень

несинусоидальности напряжения электросети в соответствии с требованиями ГОСТ 32144-2013, оцениваемый по коэффициенту его нелинейных искажений напряжения.

Рассмотрев более 50 публикаций [2–9 и др.], вышедших за последние 15 лет, посвященных разработке пассивных фильтркомпенсирующих установок (ФКУ) на основе моделирования, достаточно трудно, без специального анализа, дополнительных расчетов и результатов экспериментальной апробации, понять для каких целей предназначена та или иная их модель – для подавления высших гармоник (ВГ) напряжения электросети или тока нелинейных нагрузок]; только для подавления ВГ или и для компенсации сдвига фазы индуктивного тока в электросети (ЭС); применена дополнительная расстройка резонансной частоты и допустимая ее величина или она отсутствует; нужен ли дополнительный резистор в резонансном контуре или нет; при каких его значениях фильтр еще функционирует; отсутствует класс напряжения ЭС в точке подключения; величина потери мощности на ФКУ и ряд других сведений, что не позволяет раскрыть его функциональные возможности и оценить уровень достоверности приводимых данных. Большинство работ, практически за исключением [10], выполнено без экспериментальной апробации результатов моделирования ФКУ и оценки степени их эффективности. Такое положение не позволяет оперативно провести сравнительную оценку предложенных и новых моделей ФКУ [11] и способов снижения эмиссии ВГ в ЭС [12]. Для характеристики применяемых ФКУ можно отчасти воспользоваться также перечнем показателей предлагаемых использовать для выполнения их расчетов [6].

Многие вопросы у читателя могли бы не возникнуть, если бы авторы в публикациях приводили в обобщенном виде основные характеристики предлагаемых ФКУ.

В связи с изложенным на основе изучения и обобщения данных многих источников литературы разработан приближенный перечень показателей ФКУ, который в систематизированном виде представлен в табл. 1. Последовательность расположения показателей приведено с учетом приближенной оценки их информативной значимости.

Первые одиннадцать показателей ФКУ могут быть отнесены к основным, а остальные шесть – условно к дополнительным. Представление технических характеристик в обобщенном виде может облегчить и ускорить ознакомление с предлагаемыми моделями ФКУ, а также позволит оценить их эффективность.

Для наглядности изложения на рис. 1 приведена типовая схема ФКУ [1], которая отличается от последующих лишь значениями параметров

применяемых элементов и соответственно добротностью резонансных контуров. Форма представления характеристик таких ФКУ и его описание практически остается в литературе без изменения на протяжении последних 30 лет.

Таблица 1

Перечень основных и дополнительных показателей, характеризующих
фильтркомпенсирующую установку

№	Наименование показателя
1	Основное предназначение ФКУ
2	Класс напряжения в точке подключения, U, В
3	Количество фаз напряжения электросети
4	Номера подавляемых гармоник
5	Коэффициент эффективности подавления высших гармоник ($K_{эфф.}$)
6	Суммарная мощность нагрузок, ВА
7	Суммарная реактивная мощность фильтра, ВАр
8	Предельное значение коэффициента нелинейных искажений напряжения ($K_{U пред.}$), %
9	Предельное значение коэффициента нелинейных искажений по току нагрузки ($K_{I пред.}$)
10	Потери мощности на фильтре, Вт при принятом предельно допустимом значении $K_{U пред.}$
11	Коэффициент использования конденсаторной батареи в фильтре, о.е.
12	Активное сопротивление реакторов (r_L), Ом
13	Отношение импеданса ЭС к сопротивлению реактора ($Z_{ЭС}/r_L$)
14	Значение емкости конденсаторов, мкФ
15	Значение индуктивности реакторов, мГ
16	Сопротивление дополнительных резисторов в резонансных контурах (РК), Ом
17	Добротность резонансных контуров
18	Отклонение частоты настройки РК ФКУ, %
19	Масса, кг
20	Габариты, мм

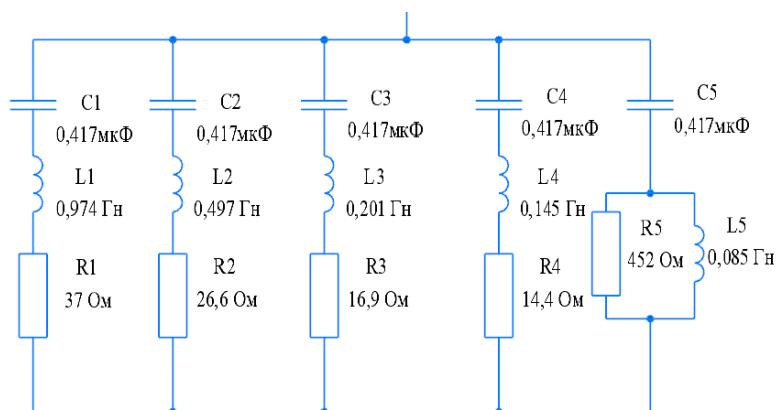


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема ФКУ [1]

Оценим, какую информацию можно получить на основе анализа представленных параметров ФКУ и результатов дополнительных вычислений (табл. 2).

Таблица 2

Основные и дополнительные показатели технической характеристики ФКУ [1]

№	Показатели ФКУ	Номер гармоники				
		5	7	11	13	17
1	Предназначение	Для подавления гармоник напряжения (тока)				
2	$F_{рез.}$, Гц	250,0	349,9	550,1	648	846
3	Отклонение частоты настройки, \pm , %	0	0,014	0,01	0,07	0,5
4	Количество фаз напряжения	3				
5	Реактивная мощность (Θ), ВАр при 230 В и 35 кВ	7,0/160	7,0/160	7,0/160	7,0/160	7,0/160
6	L, мГн	974	497	201	145	85
7	C, мкФ	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417
8	Xс, Ом	7630	7630	7630	7630	7630
9	Характеристическое сопротивление РК (ρ), Ом	1530	1091	694	590	451
10	$R_{кон.}$, Ом	37,0	26,6	16,9	14,4	452
11	Добротность РК (Q)	41	41	42	41	1,0
12	$Z_{наг.}$, Ом/ $P_{ном.}$, Вт при 230 В	370/145	266/201	169/316	144/371	-

Из сопоставления данных табл. 2 и табл. 1 следует, что в представленном в [1] виде описания и представления ФКУ не позволяют выявить целый ряд ее показателей и, соответственно, дать обстоятельную характеристику. Несмотря на это, попытаемся провести анализ на основе представленных данных и результатов дополнительного вычисления ряда параметров и показателей.

Прежде всего, отметим, что в ФКУ резонансные контуры (РК) настроены на 5, 7, 11 и 13 гармоники с достаточно высокой точностью (погрешность не более 0,01-0,1 %).

Пятое звено является комбинированным устройством, состоящим из РК и РС-фильтра верхних частот с частотой среза (846 Гц), равной резонансной частоте РК. Широкополосный фильтр с резонансной частотой 846 Гц настроен на 17 гармонику, и имеет небольшую добротность, равной единице. Высокое совпадение частот РК с частотой номера гармоники обусловлено только тем, что они получены расчетным путем. Пренебрежение авторами 3 и 9 гармониками косвенно свидетельствует о том, что ФКУ предназначен для работы в трехфазной сети.

Положительным моментом анализируемой работы является представление значений элементов РК без завышения точности их представления на 2-3 порядка, имеющее место в других работах. Третью значащую цифру в числах целесообразно было дополнительно округлить и представить нулем. При этом вносимая дополнительная погрешность не будет превышать 0,2-1,0 %, которой вполне можно пренебречь.

Теряет определенный смысл использовать подход [1] к выбору добротности РК. Авторы данной работы вначале осуществляют завышение значений характеристического сопротивления РК до 500–1500 за счет использования катушек с большой индуктивностью, а далее, дополнительно применяют резисторы с завышенными сопротивлениями (14–37 Ом), чтобы осуществить обратное понижение добротности РК до выбранного уровня (до 41). Результаты моделирования АЧХ фильтров показывает, что при таком подходе по мере применения разных сопротивлений в РК избирательность их существенно меняется.

Из анализа эквивалентной схемы подключения ФКУ к ЭС и нелинейным нагрузкам можно прийти к выводу, что подавление ВГ напряжения ЭС и тока нагрузки возможно только в том случае, если значение сопротивления РК ($R_{кон.}$) будет значительно меньше импеданса ЭС ($Z_{эс}$) и одновременно удовлетворять следующему неравенству:

$$Z_{эс} \gg R_{кон.} \ll Z_{наг} , \quad (1)$$

где $Z_{наг}$ импеданс нагрузки в точке присоединения.

Выполнение этого неравенства практически возможно при исключении дополнительного резистора $R_{кон.}$ в РК. Поэтому применения его целесообразно избегать [1, 4, 8]. В этом случае сопротивление контура сводится только к сопротивлению реактора (r_L). Из этого неравенства также следует, что при его выполнении происходит одновременное подавление ВГ напряжения не только ЭС, но и тока нагрузок в пределах определенной их мощности.

Поскольку импеданс ЭС даже в конце однофазной линии остается незначительным (порядка 0,5 Ом на основной частоте), то для обеспечения эффективного ослабления ВГ напряжения ЭС и тока нагрузки сопротивление реактора r_L должно быть значительно меньше 0,5 Ом, что далеко не всегда выполнимо. Последние сведения фирмы производители реакторов обычно не приводят.

Для обеспечения неравенства (1) значение $R_{наг}$, исходя из значения $R_{кон.}$ первого звена (37 Ом) [1], должно быть на порядок больше, то есть не

менее 370 Ом. При этом эффективность всех звеньев ФКУ при U равном 230 В будет проявляться только при мощности нагрузок не более 145-371 Вт (табл. 2). Следовательно, и по этому показателю ФКУ непригоден для практического применения.

Сравнительно небольшая суммарная реактивная мощность ФКУ (всего 35 ВАр) при подключении его к ЭС напряжением 230 В свидетельствует о том, что он также не осуществляет компенсацию индуктивной составляющей тока ЭС. Таким образом, работоспособность ФКУ и повышение ее эффективности может быть обеспечены только при выполнении неравенства (1).

Выводы

1. Разработан приближенный перечень показателей, предназначенный для характеристики эффективности предлагаемых фильтркомпенсирующих установок.

2. Предложено неравенство для оперативной оценки степени работоспособности фильтркомпенсирующих установок.

3. На основе детального анализа фильтркомпенсирующей установки Дж. Арриллага показано, что она предложена без апробации на основе моделирования, является не пригодной для использования в электросетях.

Список литературы

1. Арриллага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических сетях: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.

2. Колмаков В.О. Схемотехническое обеспечение качества электрической энергии в сетях с нелинейными электроприемниками массового применения // Автореферат дисс. на соиск. канд. техн. наук. Красноярск, 2015. 20 с.

3. Xiao Y. The method of redesigning the third order filter // Proc. 8th IEEE Int. Conf. Harmonics and Quality of Power. Oct. 1998. Pp. 139-142.

4. Колмаков В.О. Надежность фильтркомпенсирующих устройств различной топологии // Вестник КрасГАУ. 2017. № 8. С. 55-61.

5. Довгун В.П., Егоров Д.Э., Новиков В.В., Звягинцев Е.С. Параметрический синтез широкополосных силовых фильтров // Электричество. 2018. № 12. С. 14-21.

6. Шандрыгин Д.А. Проектирование фильтркомпенсирующих устройств для электроэнергетических систем с тяговой нагрузкой // В сборнике: Борисовские чтения. Мат. III Всерос. научно-техн. конф. с Международным участием. Отв. за выпуск Е.С. Володин. Красноярск, 2021. С. 186-191.

7. Смирнов С.С. Свойства активных мощностей гармоник искажающих нагрузок // Электричество. 2010. № 9. С.45-49.
8. Валеев И.М., Альзаккар А.М.-Н. Гармоники и их влияние при определении метода компенсации реактивной мощности в электрических сетях // Вестник КГЭУ, 2020. № 1 (45). С. 24-39.
9. Коверникова Л.И., Нгуен Чи Тхань, Хамисов О.В. Оптимизационный подход к определению параметров пассивных фильтров // Электричество. 2012. № 1. С.43-49.
10. Герман Л.А., Субханвердиев К.С., Герман В.Л. Автоматизация электроснабжения тяговой сети переменного тока // Часть 1 и 2. М.: ФГБУ ДПО. Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2021. 194 с.
11. Кулешова Г.С. Разработка и моделирование фильтркомпенсирующих устройств на основе индуктивно-емкостных элементов // Автореферат диссертации на соиск. канд. тех. наук. М., 2023. 20 с.
12. Тукшаитов Р.Х., Зарипов Р.К. Об одном эффективном способе снижения уровня эмиссии светодиодными лампами в электросеть высших гармоник промышленной частоты // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. 2023. № 1. С. 70-74.

УДК 621.313.3

СИНТЕЗ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЗИЦИОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

¹Федотов Владимир Владимирович, ²Рожков Вячеслав Владимирович
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
Смоленск, Россия

¹fedotov.smol67@gmail.com, ²umo@sbmpei.ru

Аннотация: рассматривается вариант упрощения классической трехконтурной системы подчиненного регулирования для позиционных электроприводов за счет отказа от контура скорости. Выполнен синтез регулятора положения для варианта двухконтурной системы управления. В широком диапазоне регулирования положения средствами имитационного моделирования получены лучшие показатели качества регулирования по сравнению со стандартными настройками. Предложена оригинальная структура регулятора положения. Показаны ограничения на отработку малых углов позиционирования в предлагаемой структуре. Разработаны рекомендации по расширению диапазона регулирования положения в предлагаемом варианте.

Ключевые слова: позиционный электропривод, двухконтурная система управления, точность, быстродействие, компьютерное моделирование.

SYNTHESIS OF AN OPTIMIZED DOUBLE-LOOP CONTROL SYSTEM FOR A POSITIONAL ELECTRIC DRIVE

¹Fedotov Vladimir Vladimirovich, ²Rozhkov Vyacheslav Vladimirovich
branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National
Research University "MPEI", Smolensk, Russia
¹fedotov.smol67@gmail.com, ²umo@sbmpei.ru

Abstract: a variant of simplifying the classical three-loop system of subordinate control for positional electric drives is considered due to the rejection of the speed loop. The synthesis of a position controller for a variant of a two-loop control system is carried out. In a wide range of position control by means of simulation modeling, the best indicators of the quality of control were obtained compared to standard settings. The original structure of the position regulator is proposed. The restrictions on the development of small positioning angles in the proposed structure are shown. Recommendations have been developed to expand the range of position control in the proposed version.

Keywords: positional electric drive, two-loop control system, accuracy, speed, computer simulation.

Позиционные электроприводы (ПЭП) находят широкое применение в промышленности, транспорте, спецтехнике. Синтез систем управления ПЭП, как правило, осуществляется по принципу подчиненного регулирования (ПР) с тремя контурами [1], [2]. Известно, что реализация автоматического управления методом ПР предполагает последовательное соединение контуров регулирования. Ясен и недостаток последовательной коррекции – снижение быстродействия системы с ростом числа таких контуров. Для двухконтурных систем стабилизации скорости в общепромышленных электроприводах нормируемое оптимумами быстродействие вполне приемлемо. Однако, для ПЭП, где быстродействие часто критически важно, недостаток трехконтурной системы ПР проявляется более ярко и требуется либо синтез систем параллельной коррекции, также не лишенных недостатков, либо модификация ПР и его структуры, например, снижение числа контуров регулирования. В свою очередь, чтобы обеспечить высокие качества регулирования с сохранением устойчивости в двухконтурном ПЭП необходима более сложная структура регулятора положения (РП). Варианту синтеза РП для двухконтурной ПЭП с ПР и посвящена настоящая статья.

На рис.1 сверху показана трехконтурная система ПР для двигателя постоянного тока. Она традиционно включает внутренний контур тока (КТ), внешний к КТ контур скорости (КС) и внешний к КС контур положения (КП) с соответствующими регуляторами тока, скорости и положения – РТ (W_{per}^I), РС (W_{per}^ω), РП (W_{per}^θ). Предлагается упростить структуру до двух контуров (рис.1 - снизу), отказавшись от W_{per}^ω .

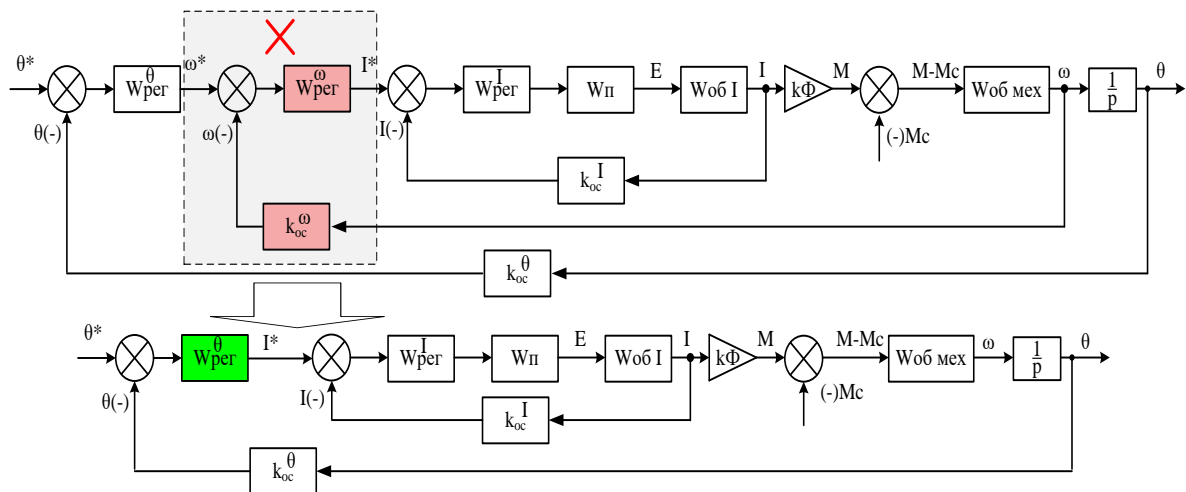


Рис. 1. Модификация системы ПР позиционным электроприводом

КТ настраивается на технический оптимум (ТО), как в традиционном ПР. Применение для РП классических настроек на ТО или симметричный оптимум приводит к сложной структуре РП и относительно малой точности регулирования при условии сохранения устойчивости. Возможный вариант разомкнутого КП можно представить в виде передаточной функции:

$$W_{\text{раз}} = \frac{p}{2 \cdot T_{\text{п}} \cdot p^3 \cdot (T_{\text{п}} \cdot p + 1)}.$$

При такой настройке РП требуется дифференциальный (Д-типа). Для повышения помехоустойчивости РП снабжен цифровым фильтром с выборкой в 100 значений. Серия экспериментов показала, что при такой настройке ПЭП обрабатывает положение с большой статической ошибкой, компенсировать которую можно изменением структуры РП на пропорционально-дифференциальный (ПД). Кроме того, моделирование показывает, что коэффициент пропорциональной части нелинейно зависит от сигнала задания перемещения. В связи с этим, пропорциональную часть РП предлагается синтезировать путем настройки ПЭП в характерных точках, соответствующих некоторому углу поворота. На примере электропривода для двигателя ПЯ 250Ф мощностью 250 Вт экспериментально были получены коэффициенты РП для 11 точек, представленные в табл. 1.

В случае, если сигнал задания попадает в интервал между точками из табл. 1, то коэффициент РП на таких интервалах аппроксимируется. Для этих целей в модель добавлена программная часть Eucol по автоматическому вычислению коэффициентов РП. В итоге, модель ПЭП имеет вид, представленный на рис. 2. Результаты моделирования при задании отработки угла в 360 градусов или $2 \cdot \pi$ рад представлены на рис. 3.

Характерные точки функционирования РП

Сигнал задания, о.е.	Сигнал задания, рад	Коэффициент РП
1	6,28	5,5325
0,9	5,652	5,8498
0,8	5,024	6,2367
0,7	4,396	6,7203
0,6	3,768	7,3451
0,5	3,14	8,189
0,4	2,512	9,402
0,3	1,884	11,315
0,2	1,256	14,852
0,1	0,628	24,080
0,05	0,314	39,720

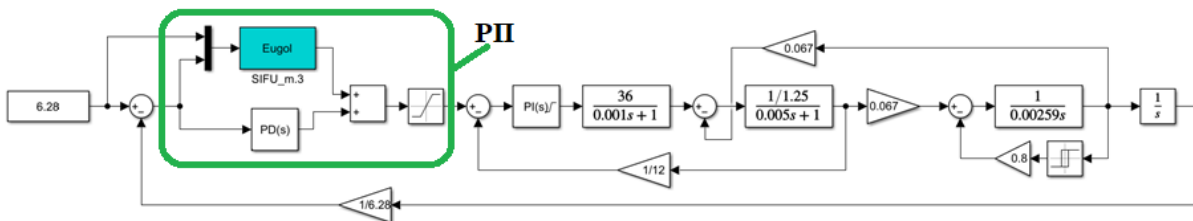
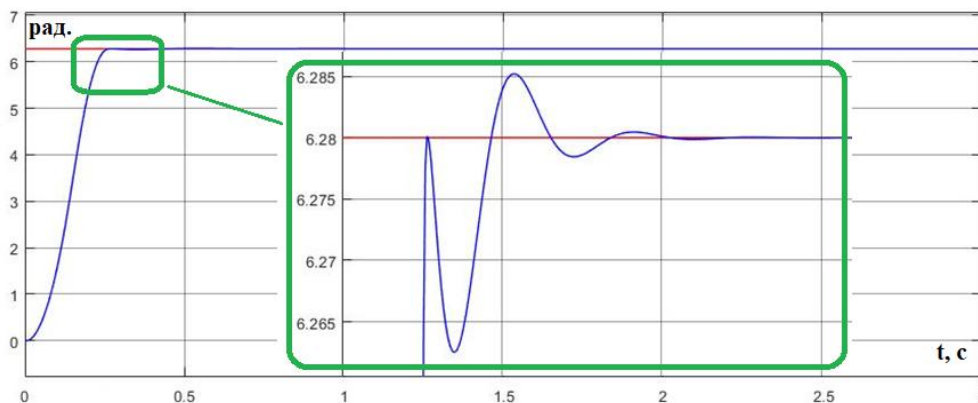


Рис. 2. Модель двухконтурной системы ПР ПЭП с нелинейной частью РП

По рис.3 видно, что система обрабатывает полный оборот за 0,25 секунды с небольшим перерегулированием в 0,005 рад, и затем обеспечивается позиционирование с очень высокой точностью – с погрешностью, не превышающей десятитысячных долей радиана.

Обработка малых перемещений сопровождается ростом колебательности. С принятыми настройками РП минимальное обрабатываемое угловое положение с гарантированной точностью составляет 17,8 градусов или 0,31 рад.

Рис. 3. Обработка угла $2 \cdot \pi$ рад

Анализ показывает, что увеличение диапазона минимального перемещения возможно путем исключения из структуры регулятора дифференциальной части, причем это необходимо осуществлять только при задании малых перемещений. Развитием проведенных исследований является также реализация адаптивной дифференциальной части регулятора, чем можно добиться снижения перерегулирования при позиционировании.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2023-0012.

Список литературы

1. Фомин Н.В. Системы управления электроприводами [Электронный ресурс]: учебное пособие / ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2014.

2. Рожков В. В., Федотов В. В. Имитационное моделирование адаптивного идентификатора скорости асинхронного двигателя агломерационной машины // Прикладная информатика. 2022 Т. 17 № 6, с.36–55. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-6-36-55.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 4. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, СВЕТОТЕХНИКА

<i>Абдреев К.А.</i> Зависимость периода окупаемости солнечных батарей от выбора региона установки.....	3
<i>Абдреев К.А.</i> Экономическая целесообразность использования солнечных батарей для частичного электроснабжения алюминиевого завода.....	6
<i>Антипов А.С.</i> Развитие и применение солнечных батарей в малой энергетике.....	10
<i>Антрашитов Д.С., Рудаков А.И.</i> Анализ перспективных направлений развития гидроэнергетики в условиях изменения климата.....	13
<i>Атласов Д.П.</i> Использование светодиодов в энергосбережении: достоинства и недостатки.....	17
<i>Баданов К.А., Рудаков А.И.</i> Раскрытие потенциала возобновляемых источников энергии в городе Казань: перспективы для устойчивого развития.....	19
<i>Бережной Я.А., Бадертдинова Д.Р.</i> Оптимизация расстояния между опорами освещения на автомагистрали при использовании различных светильников.....	23
<i>Брызгалов Д.А.</i> Оценка производительности малых ветряных турбин.....	27
<i>Брызгалов Д.А.</i> Сбор энергии из внешних источников для малых энергетических систем.....	31
<i>Валиева Э.Р.</i> Эффективность возобновляемых источников энергии и улучшение их производительности.....	34
<i>Валиева Э. Р.</i> Развитие возобновляемых источников энергии.....	37
<i>Валиева Э. Р.</i> Альтернативные источники энергии в промышленности	41
<i>Воронкова И.С., Гибадуллин Р.Р.</i> Энергоэффективные системы освещения городских территорий.....	44
<i>Востриков Д.Ю., Лепешкин Н.С., Сандаков В.Д.</i> Разработка принципов работы автоматического светомузыкального фонтана.....	47
<i>Гайфиева Л.Ф., Писковацкий Ю.В.</i> Применение систем накопления электрической энергии.....	52
<i>Гайфиева Л.Ф., Писковацкий Ю.В.</i> Основные проблемы и ограничения, связанные с использованием ветровой энергии.....	55

<i>Павлов И.С.</i> Влияние погодных условий на производительность малых.. ветряных турбин	59
<i>Павлов И.С.</i> Интеграция возобновляемых источников энергии в энергетическое оборудование: проблемы и решения.....	63
<i>Гиниятуллина Л.Р.</i> Автономное электроснабжение на примере блочного парового турбогенератора	66
<i>Глоткина Л.А.</i> Исследование эффективности использования возоб- новляемых источников энергии для обеспечения устойчивого электроснабжения.....	70
<i>Гумерова Г.М.</i> Исследование полупроводниковых ламп и влияние освещения на зрительную комфортность.....	73
<i>Гумерова Г.М.</i> Анализ применения возобновляемых источников энергии для электроснабжения промышленных предприятий.....	77
<i>Гурьева П.Ю.</i> Малая энергетика: эффективные решения для устойчивого будущего.....	81
<i>Гурьева П.Ю., Писковацкий Ю.В.</i> Возобновляемые источники энергии: путь к устойчивому будущему.....	85
<i>Иванова В.Р., Жукова Ю.В.</i> О построении систем с применением <i>IoT</i> - технологии.....	89
<i>Кабиров А.А., Денисова А.Р.</i> Реализация системы резервного электроснабжения предприятия на основе фотоэлектрических панелей...	93
<i>Кострюков С.А., Гусева Ю.В.</i> Сравнительный анализ моделей ветрогенераторов с вертикальным расположением ротора.....	98
<i>Лю Жуньда, Груздев А.С., Чжан Ханьян, Фан Юйхэн.</i> Контроль максимальной мощности фотоэлектрического преобразователя в <i>MATLAB</i>	101
<i>Малаева Е.Д., Маслов С.Ю., Хамидуллин И.Н.</i> Разработка установки по созданию благоприятной световой среды для растений с применением искусственного и гелио-освещения.....	105
<i>Маркова М.Г.</i> Импортозамещение в энергетике.....	109
<i>Молодова К.К.</i> Применение возобновляемых источников энергии для электроснабжения изолированных потребителей.....	112
<i>Мубаракишина Р.Р.</i> Малая энергетика - драйвер развития России.....	117
<i>Мухаметова А.Р., Иванова В.Р.</i> О конструктивном исполнении солнечных концентраторов.....	120
<i>Савельев М.О., Писковацкий Ю.В.</i> Мировые тенденции развития солнечной энергетики.....	124

<i>Сагиров В.Р., Писковацкий Ю.В.</i> Определение наиболее эффективного района республики для внедрения солнечной энергетики.....	127
<i>Сагиров В.Р., Писковацкий Ю.В.</i> Основные проблемы, связанные с использованием солнечной энергии.....	130
<i>Салахов А.М.</i> Малая электроэнергетика: сущность и перспективы развития.....	134
<i>Сафин Р.Р.</i> Генерация электрической энергии на автомобильных трассах.....	137
<i>Субханова А.М.</i> Эффективная и надежная силовая электроника для систем возобновляемой энергетики.....	139
<i>Султанова Р. Р.</i> Использование солнечных панелей.....	143
<i>Таепов Э.Ф.</i> Обзор альтернативных способов очистки солнечных панелей.....	146
<i>Терентьев П.В., Шильников С.В., Чертилов Д.А.</i> Влияние погодных условий на выработку электроэнергии объектами микрогенерации на основе фотоэлектрических солнечных модулей.....	149
<i>Тихонов Н.Э., Денисова А.Р.</i> Получение электроэнергии с помощью использования энергии океана.....	154
<i>Умурзаков А.К.</i> Построение микросетей с применением возобновляемых источников энергии.....	157
<i>Умурзаков А.К.</i> Сравнительный анализ солнечных коллекторов.....	160
<i>Урманчеева А.А.</i> Энергоэффективные системы освещения городских территорий.....	164
<i>Урманчеева А.А.</i> Системы «умных домов» и их роль в повышении эффективности энергопотребления.....	167
<i>Хабиров Т.А., Мухаметова А.Р., Гусамов Д.И.</i> Автоматизированная гибридная система освещения.....	169
<i>Чжан Ханьян, Груздев А.С., Лю Жуньда, Фан Юйхэн.</i> Контроллер ветроэнергетической установки на основе нечеткой логики	174
<i>Шаймарданов И.И., Писковацкий Ю.В.</i> Проектирование и эксплуатация объектов малой энергетики.....	178
<i>Шарифуллин Б.Р.</i> Перспективы использования технологии интернета вещей (IoT) в электроэнергетике.....	183
<i>Юнусова Л.И.</i> Автономное электроснабжение частного дома.....	186
<i>Аккад Ахмад Ферас, Соснина Е.Н., Эрдили Н. И.</i> Моделирование электрической сети с распределенной генерацией на ВИЭ и D-STATCOM	190

Секция 5. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

<i>Абдуллина Л.В., Бакирова Р.Р., Герасюнин М.А., Карташов Д.Л., Денисова А.Р.</i> Освоение гидроэнергетических ресурсов путём строительства объектов гидроэнергетики большой мощности.....	193
<i>Агеев В.А., Ревьев Д.С., Казаков Д. В.</i> Применение специализированного программного комплекса при проектировании систем электроснабжения городов.....	197
<i>Альзаккар Ахмад, Грачева Е.И., Николай П.М.</i> Исследование графиков температуры элементов трансформаторов подстанции «Кабун-1» Сирийской Арабской республики.....	201
<i>Белов О.Е., Бондарев В.В., Пиунов А.А. Шадрухин Е.Р.</i> Анализ гибридных электростанций на основе возобновляемых источников электроэнергии и дизель-генераторных установок.....	204
<i>Белов О.Е., Сухарь Г.А.</i> Размещение резервных источников электроэнергии с учётом требований пожарной безопасности в существующей застройке	207
<i>Богимова А.А., Меньшов Е.Н., Гаврилова С.В.</i> Проблемы расчёта несимметричного магнитного режима трехфазных трансформаторов....	211
<i>Вахнина В.В., Черненко А.Н., Кретов Д.А.</i> Особенности функционирования дифференциальной токовой защиты силовых трансформаторов при воздействии квазипостоянных токов.....	215
<i>Величко В.А., Чернова А.Д.</i> Предложения по совершенствованию системы критериев оценки состояния электрооборудования по результатам инфракрасного контроля.....	219
<i>Володкин Р.И., Кулешова Г.С., Михеев Д.В.</i> Моделирование гребенчатой фильтрокомпенсирующей установки на основе индуктивно-емкостного элемента.....	228
<i>Галяутдинова А.Р., Ившин И.В.</i> Анализ параметров силового маслонаполненного трансформатора распределительных сетей для оценки его технического состояния.....	234
<i>Геркусов А.А.</i> Многомерная оптимизация экономико-математической модели воздушных линий электропередачи на основе целевой функции удельных дисконтированных затрат.....	238
<i>Гимадов Д.Р.</i> Исследование переходных процессов в системах электропривода при изменении нагрузки на оборудование для увеличения эффективности работы и устойчивости процессов.....	243

<i>Елфутин М.Д.</i> Применение современных способов компенсации реактивной мощности в электроэнергетических системах и сетях.....	247
<i>Гринев Н.В.</i> Комплектно-блочный метод организации строительства для распределительных устройств узловых подстанций и электростанций....	250
<i>Ерашова Ю.Н., Тюрин А.Н., Вассунова Ю.Ю.</i> Внедрение устройства для проверки аппаратов защиты от последовательного и параллельного дуговых пробоев и искровых промежутков.....	255
<i>Качелаяев О.В., Полуянович Н.К., Дубяго М.Н., Светличный Н.И.</i> Нейро-сетевой анализ электромагнитного поля в задачах безотказной эксплуатации кабельных систем.....	260
<i>Климов С.А., Тямкин В.П.</i> Модернизация троллейбусов под асинхронный привод.....	264
<i>Ливенцов В.С.</i> Результаты исследования отклонения величины питающего напряжения в распределительных электрических сетях.....	267
<i>Лю Жуньда, Груздев А.С., Чжан Ханьян, Фан Юйхэн.</i> Контроль максимальной мощности фотоэлектрического преобразователя в MATLAB.....	271
<i>Лутфуллоев Д.С.</i> Проблемы энергосбережения использования водяных насосов в жилищно-коммунальном хозяйстве.....	276
<i>Малаева Е.Д., Маслов С.Ю., Хамидуллин И.Н.</i> Перспективы развития беспилотного наземного транспорта при обследовании ВЛЭП.....	280
<i>Мезенцев П.Е., Кожов К.Б.</i> Моделирование эффективности бестопливной малой генерации.....	283
<i>Мялковский И.К., Романова М.С.</i> Цифровая трансформация предприятия электротехники в системе массового опережающего образования....	286
<i>Надергулов М.М., Исаков Р.Г.</i> Проблемы внедрения распределенной генерации в распределительную сеть 6-10 кВ.....	294
<i>Назаров М.А.</i> Снижение потерь на собственные нужды подстанции с использованием трансформаторов серии ТМГ.....	298
<i>Никулина Е.Н., Ларин Е.А.</i> Перспективы развития топливных элементов и водородной энергетики.....	302
<i>Петров С.В., Галанина Н.А.</i> Отношения между объектными элементами цифровой подстанции по МЭК 61850.....	307
<i>Полякова А.С.</i> Зональная систем теплоснабжения помещений при работе воздушного теплового насоса.....	311
<i>Прудий А.В., Ляшенко Ю.М.</i> Моделирование скоростной характеристики генератора дорожной энергетической установки.....	314

<i>Радайкин О.В., Хассун Мажд Сухайль, Дарвиш Анас.</i> Расчёт образования трещин в железобетонных балках эстакад под технологические трубопроводы и кабели в условиях косоугольного изгиба.....	319
<i>Садыкова Л.А.</i> Перспективы развития электросетевой компании.....	323
<i>Трегубов А.А.</i> Оценка Стоимости интеграции объектов ВИЭ-генерации в ОЭС Юга в долгосрочной перспективе.....	327
<i>Терентьев П.В., Мартюхин Д.А.</i> Практическое применение технологии «большие данные» в области электроэнергетики.....	336
<i>Тукушаитов Р.Х., Лозина Н.Г., Зарипов Р.К.</i> К разработке технических характеристик фильтркомпенсирующих установок высших гармоник напряжения электросети и тока нелинейных нагрузок.....	341
<i>Федотов В.В., Рожков В.В.</i> Синтез оптимизированной двухконтурной системы управления позиционным электроприводом.....	347

Научное издание

V ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
(С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ) КОНФЕРЕНЦИЯ,
ПОСВЯЩЕННАЯ ПРАЗДНОВАНИЮ 55-ЛЕТИЯ КГЭУ
«ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

11–12 октября 2023 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

В двух томах

Том 2

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова

Корректор *В.Р. Иванова*
Компьютерная верстка *В.Р. Ивановой*
Дизайн обложки *Ю.Ф. Мухаметшиной*

Подписанов печать 03.10.2023.
Формат 60x84/16. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ
Усл. печ. л. 20,81. Уч.-изд. л. 18,35
Тираж 200 экз. Заказ № 5286

Казанский государственный энергетический университет
420066, Казань, Красносельская, д.51



В 2023 году Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ) отмечает юбилей – 55 лет со дня основания. За время своего существования университет превратился в крупнейший научно-образовательный центр Поволжья и Урала, признанный как в России, так и в международном пространстве. Гордость университета это выпускники – целая плеяда талантливых инженеров, многие из которых стали руководителями ведущих предприятий Татарстана и России, внесли огромный вклад в развитие экономики не только в нашей стране, но и за рубежом.

В КГЭУ действует Технопарк, Инжиниринговый центр «Компьютерное моделирование и инжиниринг в области энергетики и энергетического машиностроения», Центр компетенций и технологии в области энергосбережения, Молодежный инновационный центр, Молодежный бизнес-инкубатор, научно-образовательный центр «Компьютерные тренажеры в тепло- и электроэнергетике», научно-технические центры и учебные классы компаний: Bosch, Danfoss, IEK, SchneiderElectric, Эван, Акку-Фертриб, Московский завод тепловой автоматики. На базе КГЭУ созданы не имеющие аналогов в России учебно-исследовательские полигоны «Подстанция 110/10 кВ» и «Распределительные сети 0,4-10 кВ».

Ученые КГЭУ занимают ведущие позиции в области электро- и теплотехники, цифровых технологий, защиты окружающей среды и водных биоресурсов. Университет является участником ряда технологических платформ России. По объему и уровню выполняемых научных работ КГЭУ сегодня является наиболее динамично развивающимся вузом России.

Сегодня в КГЭУ работают над технологиями, которые изменят будущее!

ISBN 978-5-89873-643-9

