

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Новосибирск
2020

Всероссийская научная
конференция молодых ученых

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

Сборник
научных трудов

Часть 4

г. Новосибирск, 30 ноября-04 декабря 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

**Сборник
научных трудов**

**г. Новосибирск, 30 ноября-04 декабря 2020 г.
в 9-и частях**

Часть 4

НОВОСИБИРСК
2020

УДК 62(063)
ББК 72.5я431
Н34

Н34 НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ //Сборник научных трудов в 9 ч. / под ред. Гадюкиной А.В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020.

ISBN 978-5-7782-4288-3

Часть 4: – 319 с.

ISBN 978-5-7782-4292-0

В сборнике публикуются материалы по научным направлениям:
«Энергетика»

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель Оргкомитета:

Батаев А.А., д.т.н., профессор, ректор НГТУ

Зам. председателя Оргкомитета:

Брованов С.В., д.т.н., доцент, проректор по научной работе НГТУ

Программный комитет:

Драгунов В.П., д.т.н., профессор, начальник ОПК ВК

Корель И.И., к.ф.-м.н., доцент, декан ФТФ

Осьмук Л.А., д.соц.н., профессор, директор ИСТР

Рева И.Л., к.т.н., доцент, декан АВТФ

Мелехина Е.А., к.п.н., доцент, декан ФГО

Саленко С.Д., д.т.н., профессор, декан ФЛА

Тимофеев В.С., д.т.н., доцент, декан ФПМИ

Аманжолова Б.А. д.э.н., профессор, декан ФБ

Хрусталева В.А., д.т.н., профессор, декан РЭФ

Вильбергер М.Е., к.т.н., доцент, декан ФМА

Тюрин А.Г., к.т.н. доцент, декан МТФ

Белоглазов А.В., к.т.н. доцент, декан ФЭН

УДК 62(063)
ББК 72.5я431

ISBN 978-5-7782-4292-0 (Ч.4)
ISBN 978-5-7782-4288-3

© Коллектив авторов, 2020
© Новосибирский государственный
технический университет, 2020

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ЭНЕРГЕТИКА

СЕКЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ОБОСНОВАНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДАЛЬНИХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С УСТАНОВКАМИ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Ю.И. Антонова, Т.Г. Красильникова
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, yiant@yandex.ru

В работе рассматривается методика обоснования пропускной способности дальней электропередачи, оснащённой установкой продольной ёмкостной компенсации. В качестве ограничений на пропускную способность дальней электропередачи приняты обеспечение нормированного запаса по статической устойчивости и допустимого напряжения вдоль линии в характерных режимах холостого хода и передачи максимальной мощности, соответствующей пропускной способности дальней электропередачи.

The work considers the methodology for substantiating the capacity of long-distance power transmission equipped with a longitudinal capacitive compensation installation. As limitations on the capacity of long-distance power transmission, it is accepted to ensure a normalized margin of static stability and allowable voltage along the line in typical idle and transmission modes of maximum power corresponding to the capacity of long-distance power transmission.

Дальние электропередачи (далее ДЭП) можно охарактеризовать уровнем допустимой передачи активной мощности, что также называют в теории исследования дальних электропередач пропускной способностью линии [1].

Пропускная способность ДЭП может ограничиваться двумя условиями:

- условием обеспечения статической устойчивости станции, работающей на ДЭП;
- допустимым уровнем напряжения вдоль линии в нормальных режимах.

Немалый интерес представляет повышение пропускной способности ДЭП; этот вопрос обладает высоким уровнем актуальности в масштабах нашей страны. Обусловлен этот факт неизбежным ростом нагрузки, появлением все новых потребителей, соответственным возрастанием

перетоков активных мощностей по линиям и, конечно, экономическими проблемами возведения новых линий.

Особое внимание было уделено такому решению этой проблемы, как применение на протяженных линиях устройств продольной емкостной компенсации (УПК), в мировой эксплуатации зарекомендовавших свою высокую надежность в течение десятков лет (Канада, США, Швеция, Япония, Китай, Индия, Австралия и др.) [2-11]. Разработка средств управления степенью компенсации в настоящее время позволяет также с использованием УПК решать некоторые системные задачи, например, оптимизацию распределения потоков мощности в неоднородной сети или повышение динамической устойчивости связываемых систем.

Для изучения вышеназванной проблемы был разработан расчетный метод определения пропускной способности ДЭП 500 кВ с УПК с аналитическим обоснованием условий работы схем различной комплектации.

Одним из методов стабилизации уровня напряжения как раз является обоснованная компенсация реактивной мощности, которая также снижает потери из-за перетоков реактивных мощностей и, таким образом, обеспечивает надлежащее качество электроэнергии, как следствие, достижение высоких показателей экономической эффективности.

Можно выделить три основные цели применения в электросетях такого вида компенсации, среди которых [12]: баланс реактивной мощности в энергосистеме; снижение потерь электроэнергии в сети; регулирование напряжения.

Возможность регулировать пропускную способность путем последовательного включения емкости в рассечку линии предоставляет широкий диапазон при легко реализуемом строго заданном увеличении максимальной передаваемой мощности, а также, согласно изменяющимся требованиям к стабильности работы ЭЭС, устанавливает устойчивое развитие компенсирующего воздействия в процессе эксплуатации за счет расширения возможностей существующих и сооружения новых УПК.

Для линий, протяженность которых не превышает 500 км, ограничение по режиму напряжений не является основным, однако с ростом длин это ограничение может таковым стать. В результате, пропускная способность ДЭП определится наименьшим значением, определяемых из двух ограничений:

$$P_{\text{дон}} = \min(P_{\text{дон}}^{\text{уст}}, P_{\text{дон}}^{\text{нанп}})$$

ВЛ в общем случае можно представить в виде 4-полюсника. На рис.1 изображена принятая для исследования обобщённая схема ДЭП с учетом сопротивления отправной станции.

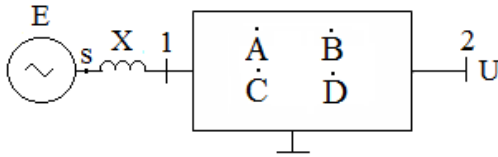


Рис.1 – Обобщённая схема ДЭП

Было выяснено, что запас по статической устойчивости можно оценить без учёта активных потерь, тогда допустимая мощность определяется из выражения:

$$P_{2oon}^{ycm} = \frac{EU}{(1 + K_{san})(B + X \cdot D)},$$

где B, D – соответствующие коэффициенты идеальной линии. [13]

Напряжения вдоль линии во всём диапазоне передаваемых мощностей не должны превышать максимального рабочего напряжения. Из этого условия как раз и определяется пропускная способность по допустимому уровню напряжения P_{oon}^{nanp} .

Для рассматриваемой идеальной (без учета активных потерь) ВЛ 500 кВ задаются первичные параметры: волновое сопротивление линии для соответствующего класса напряжения $Z_w = 280$ Ом и коэффициент фазы $\beta = 1,06 \cdot 10^{-3}$ рад/км.

По зависимостям допустимой мощности от длины по условию статической устойчивости для схем с одной и двумя УПК в средней части линии были выяснены пропускные способности соответствующих линий, что далее позволило ссылаться на необходимую степень продольной компенсации для достижения максимума передаваемой по линии мощности.

При наличии в линии двух УПК для обеспечения необходимой пропускной способности требуется меньшая степень емкостной компенсации, что подтверждает эффективность применения данных устройств. Однако для обеспечения статической устойчивости станции, работающей на ДЭП, при работе с требуемой пропускной способностью достаточно одной УПК.

Режим максимальных нагрузок и режим холостого хода вызывают наибольшие ограничения параметров электропередачи, поэтому именно их анализ является наиболее важным. Основное внимание уделяется

нагрузочному режиму и холостой работе линии. Последний режим вызывает избыток реактивной мощности, которую линия неизбежно генерирует, что вызывает повышение напряжения на ней и определяет необходимость выбора и применения соответствующих средств компенсации. Режим максимальной нагрузки в свою очередь дает понятие об уровне мощности, которую в заданных условиях теоретически возможно передать, обозначает необходимость использования источников реактивной мощности и возможных способов регулирования пропускной способности линии и ее основных параметров.

Ограничение повышения напряжения на холостом ходу линии обеспечивается путем установки ШПР, а продольная емкостная компенсация используется для повышения пропускной способности линий. Шунтирующие реакторы являются постоянным спутником продольной емкостной компенсации. Отказ от их применения делает нецелесообразным использование обычной продольной емкостной компенсации и предопределяет переход к управляемым УПК с использованием их на коротких (менее 400 км) линиях СВН. Установка двух УПК позволяет обходиться меньшим количеством реакторов, чем при сосредоточенной компенсации, и поддерживать напряжение на выводах УПК и вдоль всей линии электропередачи СВН в допустимых пределах.

В начале линии имеет место сток реактивной мощности во всех нормальных режимах от холостого хода до режима максимальных нагрузок. Причиной является генерация этой мощности не только линией, но и УПК, расположенной ближе к началу линии. На приемном конце наблюдаются весьма большие значения вырабатываемой реактивной мощности в режиме холостого хода, а в режиме максимальных нагрузок существенное ее потребление. Для компенсации этой величины требуются КУ, мощность которых стоит определять для каждого конкретного случая с учетом возможностей передающей и приемной систем.

Анализ полученных результатов показывает, что все напряжения на выводах УПК находятся в допустимых пределах. Пропускная способность 1470 МВт в два раза превышает пропускную способность некомпенсированной линии. Этот факт определяет отсутствие необходимости в строительстве двух линий для передачи требуемой мощности, что значительно сокращает капитальные вложения и эксплуатационные затраты.

Схема с применением двух УПК, равномерно размещенных вдоль ДЭП в центральной ее части, может гарантировать выполнение условий статической устойчивости работы станции и соблюдение допустимого режима напряжений на линии.

Литература:

1. Mohamed Mostofa Saied. Optimal Long Line Series Compensation. IEEE Transaction on Power Delivery. 1986. V1. №2.
2. Сборник «Дальние электропередачи 500 кВ». М.: Энергия, 1964.
3. Зарудский Г.К. О результатах исследований по применению продольной емкостной компенсации в электропередачах СВН. «Электричество», 2007, № 9. С. 48-51.
4. Зарудский Г.К., Радилев Т.В. Расчет установившихся режимов электропередачи сверхвысокого напряжения, оснащенной устройствами гибких электропередач. «Электричество», 2014, № 1. С.2-11.
5. Мисриханов М.Ш., Ситникова В.Ф. Опыт внедрения технологии FACTS за рубежом // Энергохозяйство за рубежом, 2007. № 3.
6. Рыжов Ю.П., Некукар А.Р. О возможности сооружения на линиях СВН устройств продольной емкостной компенсации без шунтирующих реакторов на выводах конденсаторных батарей. «Электричество», 2012, № 1. С.9-18.
7. Электрические сети сверх- и ультравысокого напряжения ЕЭС России. Теоретические и практические основы. В трёх томах/ Под общей редакцией чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. А.Ф. Дьякова – Москва: НТФ «Энергопрогресс» Корпорация «ЕЭЭК», 2012.
8. Fuerte-Esquivel C.R., Acha E., Ambriz-Petez H. Thyristor Controlled Series Compensator Model for the Power Flow Solution of Practical Power Networks. IEEE Transaction on Power on Power Systems. 2000. V15. №1.
9. Fuerte-Esquivel Gama C., Angquist L., Ingstrom G., Noroozian M. Commissioning and Operative Experience of TCSC Power Oscillation in the Brazilian North-South Interconnection. CIGRE. 2000. Rep.14-104.
10. Series capacitors for power system. Intern. Standart. IEC. Draft 7, 60143-1, 60143-2, 60143-3, June 2002.
11. Мисриханов М.Ш., Ситникова В.Ф. Опыт внедрения технологии FACTS за рубежом // Энергохозяйство за рубежом, 2007. № 3.
12. Идельчик В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
13. Пропускная способность дальних электропередач с установкой продольной компенсации / Самородов Г.И., Красильникова Т.Г., Кошевой К. Э. / «Электричество», № 3. 2020 г. Стр. 12-17.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ В КОРИДОРАХ НХТИ

Р.И. Ахметшин
НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»,
г. Нижнекамск, timekeeper@yandex.ru

В материале рассматривается технико-экономическое обоснование замены люминесцентных ламп на светодиодные аналоги. В статье приведены расчёты потребляемой мощности, расходы на оплату электроэнергии до и после модернизации, затраты на модернизацию, выводы о целесообразности.

The article discusses the feasibility study of replacing fluorescent lamps with LED counterparts. The article provides calculations of power consumption, the cost of paying for electricity before and after modernization, the cost of modernization, conclusions about the feasibility.

В последнее время в России, да и во всем мире, все определеннее берется курс на развитие инноваций в сфере энергосбережения, поскольку рост потребления электричества обгоняет ввод новых мощностей в электроэнергетике. Некоторые специалисты утверждают, что осветительные приборы на основе светодиодов в ближайшем будущем заменят существующие источники света, что принесет значительную экономию электроэнергии [1].

Большая часть световой нагрузки приходится на газоразрядные лампы, которые применяются как в административно-бытовых зданиях, в качестве потолочных светильников, так для наружного освещения.

Структура распределения света используемого в различных областях народного хозяйства выглядит следующим образом:

В сфере услуг доля светового потока:

- от люминесцентных ламп составляет – 96,2 %
- от ламп накаливания – 3,3%

В промышленности:

- от люминесцентных ламп составляет – 36,5 %
- от ламп накаливания – 56,3% [2]

С развитием светотехники стали появляться линейные светодиодные лампы (далее - СДЛ) Т8 цоколем G13 с входным напряжением 220 В, что соответствует параметрам используемых люминесцентных ламп (далее - ЛЛ). Световой поток от СДЛ СДЛ LED 18 Вт SubstiTUBE Basic равен 1600 Лм, а от ЛЛ OSRAM L36/765 G13 – 2500 Лм. При близких значениях светового потока ЛЛ имеет мощность 36 Вт, а СДЛ – 18 Вт.

Как и для люминесцентных лам, светодиодным лампам нужна пускорегулирующая аппаратура – блок питания. Важное преимущество

СДЛ в том, что блок питания умещается внутри колбы лампы. В то время как для ЭПРА и ЭМПРА ЛЛ располагаются в светильнике. Таким образом, значительно упрощается схема включения лампы в сеть. Так же повышается оперативность ремонтных работ: не работающую СДЛ надо только заменить, нет необходимости проверять исправность пускорегулирующей аппаратуры в светильнике, как в случае с ЛЛ.

Важно отметить, что ЛЛ необходимо хранить в специально отведенном месте и утилизировать соответствующим образом, что так же является статьей расходов. СДЛ не содержат в себе тяжелых металлов или отравляющих веществ, не требуют особых мер хранения и утилизации.

Технические преимущества СДЛ перед ЛЛ очевидны, но необходимо рассчитать экономический эффект от затрат на замену ламп. Для расчётов была взята система освещения в коридорах корпуса «А» Нижнекамского химико-технологического института. Всего по коридорам установлено 192 светильника: 168 типа ЛПО 2×36 и 24 типа ЛПО 4×18. Суммарное количество ламп в светильниках 432 шт.

Таблица 1 – Ведомость осветительной нагрузки до модернизации

Этаж	Количество светильников на этаже, шт	Количество ламп в одном светильнике, шт	Количество ламп, шт	Мощность одной лампы, Вт	Общая мощность, Вт
1	36	2	72	36	2592
	24	4	96	18	1728
2	44	2	88	36	3168
3	45	2	90	36	3240
4	43	2	86	36	3096
Итого	192	-	432	-	13824

Расчёт расхода электроэнергии усложняется тем, что сложно получить достоверные данные о времени работы системы освещения, их коэффициент использования. На них оказывают влияние время года – лето или зима, погодные условия – ясно или пасмурно, человеческий фактор – забыли выключить свет. Поэтому для расчётов введем переменную $t_{\text{раб}}$ – характеризующую время работы системы освещения в часах в течение года. Тогда расход электроэнергии равен:

$$W = P_{\text{общее}} \times t_{\text{раб}} = 13824 \times t_{\text{раб}}, \text{ кВт} \times \text{ч}$$

Вычисленный расход электроэнергии умножается на средний тариф за электроэнергию для потребителей за год первой ценовой категории мощностью менее 670 МВт и уровнем напряжения НН. Предельные

уровни нерегулируемых цен на электроэнергию изменяются ежемесячно, для простоты расчётов введём переменную T – характеризующую средневзвешенный тариф за год. Затраты на электроэнергию для освещения за год составляют:

$$13\,824 \text{ кВт} \times t_{\text{раб}} \text{ ч} \times T \text{ руб/кВт} \times \text{ч} = 13\,824 \text{ кВт} \times t_{\text{раб}} \times T, \text{ руб.}$$

Предлагается заменить все ЛЛ в светильниках ЛПО 2×36 на СДЛ, а светильники ЛПО 4×18 заменить на ДВО-36w 595x595x19. Для работ по модернизации в связи с износом проводов потребуется 384 метра одножильного провода сечением 1,5 мм² из расчёта 2 метра провода на один светильник. Провода необходимы для изменения схемы питания ламп после удаления пускорегулирующей аппаратуры.

Модернизацию предлагается проводить силами обслуживающего персонала, без привлечения сторонних организаций.

Таблица 2 – Расходы на модернизацию

СДЛ		ДВО-36w 595x595x19		Провод сечением 1,5 мм, м	384
Фактическое количество, шт	336	Фактическое количество, 96 шт, но нужно только 12	12		
Количество (110%), шт	370	Количество (110%), шт	13		
Стоимость единицы, руб	145	Стоимость единицы, руб	762,00	Стоимость единицы, руб	20
Расход, руб	53592	Расход, руб	10058,4	Расход, руб	7680

Итого затраты на модернизацию составляют: 71 330,40 рублей/год. Общая мощность не снизилась 7342 Вт. Расход электроэнергии равен:

$$W = P_{\text{общее}} \times t_{\text{раб}} = 6\,480 \times t_{\text{раб}}, \text{ кВтч}$$

Затраты на электроэнергию для освещения за год после модернизации:

$$8\,496 \text{ кВт} \times t_{\text{раб}} \text{ ч} \times T \text{ руб/кВт} \times \text{ч} = 8\,496 \times t_{\text{раб}} \times T, \text{ руб.}$$

Выгода составляет:

$$13824 \times t_{\text{раб}} \text{ руб} \times T \text{ руб/кВт} \times \text{ч} - 8496 \times t_{\text{раб}} \text{ руб} \times T \text{ руб/кВт} \times \text{ч} = 5328 \times t_{\text{раб}} \times T, \text{ руб}$$

Таблица 3– Ведомость осветительной нагрузки после модернизации

Этаж	Количество светильников на этаже, шт	Количество ламп в одном светильнике, шт	Количество ламп, шт	Мощность одной лампы, Вт	Общая мощность, Вт
1	36	2	72	18	1 296
	24	4	12	36	432
2	44	2	88	18	1 584
3	45	2	90	18	1 620
4	43	2	86	18	1 548
Итого	192	-	348	-	6 480

Срок окупаемости:

$$\frac{3}{P_{\text{общее}} \times t_{\text{раб}} \times T} = \frac{71330.40}{7,342 \times t_{\text{раб}} \times T} = \frac{9715}{t_{\text{раб}} \times T}$$

К примеру, если взять, что в среднем в течение года система освещения работает по 10 часов в день, а средний тариф за электроэнергию составляет 5, 98 руб/кВт × ч, то:

$$\frac{3}{P_{\text{общее}} \times t_{\text{раб}} \times T} = \frac{71330.40}{7.342 \times 10 \times 365 \times 5.98} = \frac{9715}{10 \times 365 \times 5.98} = 0,44 \text{года}$$

Важно отметить, что ЛЛ необходимо хранить в специально отведенном месте и утилизировать соответствующим образом, что так же является статьей расходов, которые не были учтены в расчётах. СДЛ не содержат в себе тяжелых металлов или отравляющих веществ, не требуют особых мер хранения и утилизации, а значит срок окупаемости станет ещё меньше.

Можно сделать следующие выводы:

1. Замена ЛЛ на СДЛ экономически целесообразно.
2. СДЛ не требуют особых условий хранения и утилизации, что так же позволит сэкономить средства.
3. Современные СДЛ за счёт своей конструкции и простоты включения в питающую сеть удобны для эксплуатации.

Литература:

1. Романовский А. Освещение для АЗС в "фокусе" // Полупроводниковая светотехника. – 2011. - № 10. – С. 54-55.
2. А.В Абрамов, Н.Г.Дерягин, Ю.М. Мелихов. Эффективность светодиодного освещения // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2012. – №4(22). – С.66-72

ВАЛИДАЦИЯ НОВОГО АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ НА МОДЕЛИ ОЭС ВОСТОКА

Д.Ю. Балуев, Н.Г. Кирьянова, В.М. Зырянов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, baluev.dy@gmail.com

Несмотря на растущую популярность микрогридов, традиционные объединенные энергосистемы являются основой современной электроэнергетики, предлагая значительные технические и экономические преимущества. В крупных энергосистемах особым образом стоит вопрос устойчивой работы. Существующие алгоритмы оценки устойчивости обладают рядом критических недостатков. В настоящей работе рассмотрен новый алгоритм, разработанный на базе метода Ньютона-Рафсона, дополненного условиями трансверсальности. Работоспособность алгоритма подтверждена на примере энергосистемы Дальнего Востока.

Despite the growing popularity of microgrids, interconnected energy systems are still up to date. They offer significant technical and economic benefits. In large power systems, the critical issue is to provide system security. The majority of existing algorithms for power system security assessment have crucial drawbacks. In this paper, the new Transversality Enforced Newton-Raphson algorithm is discussed. The performance of the algorithm was verified using Far East IPS model.

Введение

Объединенные энергетические системы (ОЭС) обладают рядом преимуществ, среди которых следует отметить высокую надежность [1]; экономическую эффективность за счет эффекта масштаба [2, 3] и сокращение загрязнения воздуха, особенно выбросов CO₂ [4, 5]. Несмотря на все достоинства, эксплуатация ОЭС связана с рядом сложностей, например, с риском появления неконтролируемых каскадных аварий [6, 7], с проблемой внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [6, 8].

В настоящий момент электроэнергетика находится на пороге «энергетического перехода», основным катализатором которого является распределенная генерация (РГ) [9]. С внедрением РГ, в частности ВИЭ, которые обладают стохастическим характером генерации, вопрос надежной работы энергосистемы становится особенно актуальным. Надежность электроэнергетической системы напрямую связана с устойчивостью режимов её работы.

Разработка методов и алгоритмов для оперативной оценки расстояния до границы устойчивости – актуальная тема, интерес к которой не утихает. За последние несколько десятилетий было предложено несколько алгоритмов, среди которых следует отметить Continuation Pow-

er Flow (CPF) и Holomorphic Embedding Load Flow Method (HELM). Методы расчета (CPF) обеспечивают очень точные результаты расчета, но для этого требуется большое количество вычислительного времени, так как метод основан на повторяющихся расчетах потокораспределения [10, 11]. Методы расчета, использующие голоморфные вложения (HELM), обеспечивают робастную и быструю оценку расстояния до границы устойчивости, однако точность расчета сильно зависит от начальных условий и степени аппроксимации степенного ряда [12]. Некоторые другие известные работы представлены в [13] и [14].

Основные недостатки указанных методов: низкая скорость вычислений, плохая сходимость, отсутствие возможности масштабирования, а также невозможность учитывать технологические и режимные ограничения электроэнергетических систем (ограничения по напряжению, току и прочие). Совокупность этих факторов делает применение указанных методов крайне затруднительным и проблематичным.

В настоящей работе рассмотрен Transversality Enforced Newton Raphson (TENR) [15]. Этот алгоритм прост в реализации, гарантирует нахождение решения, даже если начальная точка расчета находится вне области решений. Математическая структура метода позволяет естественным образом добавлять в расчет технические ограничения: по напряжению, по току и прочие.

Метод Ньютона-Рафсона с условиями трансверсальности

В общем случае математическая формулировка для расчета границы устойчивости установившегося режима может быть записана следующим образом:

$$f_i(x, \lambda) = 0, \quad i = 1 \dots n, \quad (1)$$

где $f_i : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ – система нелинейных алгебраических уравнений, которые представляют уравнения потокораспределения и эксплуатационные ограничения; $x \in \mathbb{R}^n$ – вектор переменных; λ – коэффициент утяжеления, решение системы уравнений существует для $0 \leq \lambda \leq \lambda_{max}$.

При $\lambda = \lambda_{max}$ решение системы уравнений (1) – граница устойчивости режима. На границе устойчивости или в непосредственной близости к ней вещественное решение системы уравнений (1) исчезает либо из-за нарушения одного из технических ограничений, либо из-за невозможности решения уравнений потокораспределения. Следовательно, решение на границе может быть охарактеризовано дополнительным условием – функциональный определитель уравнений перетока мощности $J_x = \partial_x f(x, \lambda)$ должен быть вырожденным:

$$g(x) = \det J_x = 0. \quad (2)$$

Условие $g(x)$ – условие трансверсальности, описывающее вырожденность матрицы Якоби. Используя это дополнительное условие, исходная система уравнений в общем виде может быть дополнена:

$$f_i(x, \lambda) = 0, \quad i = 1 \dots n, \quad (3a)$$

$$g(x) = 0. \quad (3b)$$

Система уравнений (3) может быть решена с помощью итерационного численного метода Ньютона:

$$f + \partial_x f \Delta x + \partial_\lambda f \Delta \lambda = 0, \quad (4a)$$

$$g + (\partial_x g)^T \Delta x = 0. \quad (4b)$$

Для системы уравнений (4) расширенная матрица Якоби может быть определена следующим образом:

$$J = \begin{bmatrix} \partial_x f & \partial_\lambda f \\ \partial_x g & \partial_\lambda g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial_x f_i / \partial_x x_i & \partial_\lambda f / \partial \lambda \\ \partial_x g / \partial_x x_i & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Условие трансверсальности $g(x)$ может быть реализовано через определитель, однако такой подход связан со сложностью в имплементации метода, а также невозможностью масштабирования метода [15]. Один из возможных вариантов реализации – декомпозиция:

$$g(x) = \sigma_{nn} = u_n^T J_x v_n \quad (6)$$

Уравнение (6) – сингулярное разложение расширенной матрицы Якоби J_x для -ого сингулярного значения σ_{nn} . Расчет такой матрицы может быть выполнен с высокой скоростью, благодаря разреженной структуре матрицы J_x . u_n и v_n – n -ные левые и правые сингулярные вектора, соответственно.

Дополнение исходной системы уравнений условием трансверсальности позволяет расширенной матрице Якоби J_x оставаться невырожденной при расчете режима в непосредственной близости к границе статической устойчивости. Также, TENR обеспечивает более быструю сходимость.

Валидация TENR алгоритма

Тестирование и валидация TENR алгоритма проводилась на модели южной части ОЭС Востока. Тестовая модель разработана в программном комплексе Matlab/Simulink, состоит из 64 узлов. Генерация представлена четырьмя электростанциями, а также моделью эквивалентного генератора, который представляет собой оставшуюся часть энергосистемы ОЭС Востока.

С помощью TENR алгоритма были рассчитаны 3 сценария: оценка расстояния до границы устойчивости без учета технических ограничений (case 1); с учетом ограничений по напряжению, согласно ГОСТ

32144-2013 (case 2); с учетом ограничений по напряжению, активной и реактивной мощности, а также ограничений по потокам (case 3). Результаты расчетов представлены на рисунке 1.

Как видно из графика, независимо от наличия или отсутствия ограничений при расчетах, TENR обладает квадратичной сходимостью. В отношении вычислительного времени, TENR в 4 раза быстрее, чем CPF метод, предложенный в [16].

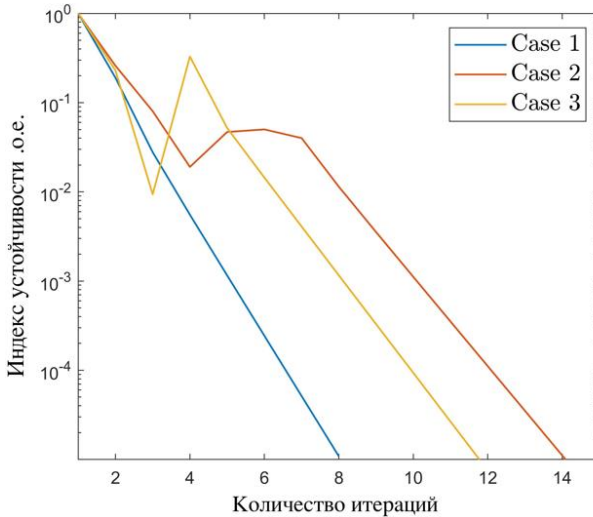


Рис 1. – Сходимость TENR метода на примере модели Южной части ОЭС Востока

Заключение

Рассмотренный алгоритм оценки расстояния до границы статической устойчивости обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными подходами.

Во-первых, алгоритм численно устойчив и основан на сингулярном разложении матрицы, что позволяет значительно снизить необходимые вычислительные мощности (расчет происходит на порядок быстрее). Во-вторых, технические ограничения, которые актуальны в энергосистемах, могут естественным образом добавляться в расчет, не влияя на сходимость метода. Применение этого метода для расчета расстояния до границы устойчивости в рамках современной противоаварийной автоматики позволит сделать большой шаг в сторону адаптивного управления энергосистемами.

Литература:

1. M. Brinkerink, B. Ó. Gallachóir, and P. Deane, “A comprehensive review on the benefits and challenges of global power grids and intercontinental interconnectors,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 107, pp. 274–287, 2019.
2. F. L. Alvarado, J. Meng, C. L. DeMarco, and W. S. Mota, “Stability analysis of interconnected power systems coupled with market dynamics,” *IEEE Transactions on power systems*, vol. 16, no. 4, pp. 695–701, 2001.
3. N. Rau, C. Neculescu, K. Schenk, and R. Misra, “A method to evaluate economic benefits in interconnected systems,” *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, no. 2, pp. 472–482, 1983.
4. S. F. Rafique, P. Shen, Z. Wang, R. Rafique, T. Iqbal, S. Ijaz, and U. Javaid, “Global power grid interconnection for sustainable growth: concept, project and research direction,” *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 12, no. 13, pp. 3114–3123, 2018.
5. M. Singh, V. Khadkikar, A. Chandra, and R. K. Varma, “Grid interconnection of renewable energy sources at the distribution level with power-quality improvement features,” *IEEE transactions on power delivery*, vol. 26, no. 1, pp. 307–315, 2010.
6. Zhu, H.-g. Zhao, Z.-h. Liu, and H.-z. Kou, “The influence of large power grid interconnected on power system dynamic stability,” in *Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao(Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering)*, vol. 27, no. 1, 2007, pp. 1–7.
7. L. Pagnier and P. Jacquod, “Disturbance propagation, inertia location and slow modes in large-scale high voltage power grids,” *arXiv preprint arXiv:1810.04982*, 2018.
8. Z. Xu and H. Dong, “Three basic constraints for the reasonable size of synchronous power systems,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 90, pp. 76–86, 2017.
9. Распределенная энергетика в России: потенциал развития / А. Хохлов, Ю. Мельников, Ф. Веселов, Д. Холкин, К. Дацко // Энергетический центр Московской школы управления СКОЛКОВО. – URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf (дата обращения: 12.11.2020)
10. V. Ajjarapu and C. Christy, “The continuation power flow: a tool for steady state voltage stability analysis,” *IEEE transactions on Power Systems*, vol. 7, no. 1, pp. 416–423, 1992.
11. R. J. Avalos, C. A. Cañizares, F. Milano, and A. J. Conejo, “Equivalency of continuation and optimization methods to determine saddle-node and

limit-induced bifurcations in power systems,” IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 56, no. 1, pp. 210–223, 2009.

12. A. Trias, “The Holomorphic Embedding Load Flow method,” Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE, pp. 1–8, 2012.

13. B. I. Ayuev, V. V. Davydov, and P. M. Erokhin, “Fast and reliable method of searching power system marginal states,” IEEE Transactions on Power Systems, vol. 31, no. 6, pp. 4525–4533, 2016.

14. C. Gómez-Quiles, A. Gómez-Expósito, and W. Vargas, “Computation of maximum loading points via the factored load flow,” IEEE Transactions on Power Systems, vol. 31, no. 5, pp. 4128–4134, 2016.

15. M. Ali, A. Dymarsky, and K. Turitsyn, “Transversality enforced newton raphson algorithm for fast calculation of maximum loadability,” IET Generation, Transmission & Distribution, 2017.

16. R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sanchez, and R. J. Thomas, “MATPOWER: Steady-state operations, planning, and analysis tools for power systems research and education,” Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 26, no. 1, pp. 12–19, 2011.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛОГОТИПА НГТУ ОТ ФЭП

Д.П. Башкиров, С.В.Митрофанов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, baskirovdima2002@gmail.com**

Эта работа посвящена расчету оптимального варианта установки ФЭП на логотип НГТУ и включает в себя расчет солнечной инсоляции на территории г. Новосибирска и электрической мощности фотопанелей.

This work is devoted to the calculation of the most optimal option for installing a photovoltaic converter on the NSTU logo and includes the calculation of solar insolation on the territory of Novosibirsk and the electric power of photo panels.

В настоящее время метод фотоэлектрического преобразования в мире стал одним из приоритетных направлений получения солнечной электроэнергии. Это обусловлено тем, что он обеспечивает: максимальную экологическую чистоту преобразования энергии, возможность получения энергии практически в любом районе, значительный срок службы, малые затраты на обслуживание, независимость эффективности преобразования солнечной энергии от установленной мощности.

Общая площадь в мире под солнечные установки превышает 120 млн м². Основная часть этих установок размещается в Европе и Китае. Наиболее богатыми на солнечную энергию являются районы Чер-

ного и Каспийского морей, Северный Кавказ, Дальний Восток, Южная Сибирь. С недавнего времени Крым присоединился к России. А в Крыму действовали 4 крупные промышленные электростанции суммарной мощностью 220 МВт. Наиболее развитыми регионами нашей страны в отрасли солнечной генерации можно назвать Республику Алтай, Краснодарский край и Белгородскую область. Самая крупная на сегодняшний день отечественная станция мощностью 5 МВт была запущена в 2014 году в Республике Алтай.

Одна из целей этого проекта – привлечение внимания общественности к ВИЭ. Именно поэтому источником электрической энергии для логотипа (Рис. 1) являются фотоэлектрические панели, работающие на солнечной радиации.



Рис.1 – Логотип НГТУ

С официального сайта NASA была взята инсоляция. И при помощи сайтов <https://planetcalc.ru/300/> и <https://planetcalc.ru/320/> были рассчитаны продолжительность дня, азимут и высота Солнца для пятнадцатого и тридцатого числа каждого месяца.

Далее был произведен расчет инсоляции по формуле

$$G = G_0 \cdot \cos\theta, \quad (1)$$

где G это среднесуточная инсоляция на плоскость панели; G^* это поток на площадку, перпендикулярную прямым лучам; θ – угол между направлением потока излучения и нормалью к поверхности приемника;

Угол θ можно найти по формуле

$$\cos\theta = \cos\beta \cdot \sin h + \sin\beta \cdot \cos h \cdot \cos\psi \quad (2)$$

где β это угол между плоскостью панели и горизонтальной плоскостью; ψ это азимут; h это высота солнца;

Угол ψ можно найти по формуле

$$\psi = \psi_0 - \gamma, \quad (3)$$

где ψ_0 это азимут солнца; γ это азимут панели (Рис.2);

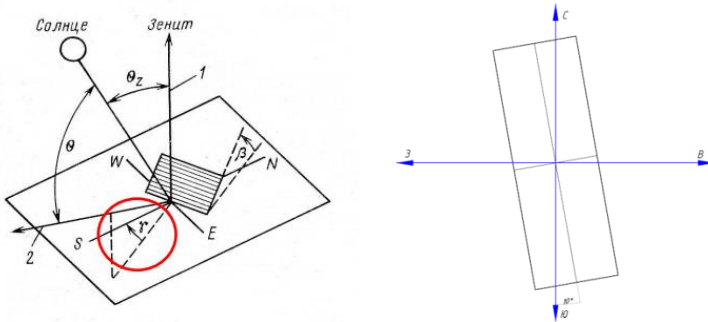


Рис.2 – Азимут ФЭП

Была рассчитана инсоляция для трех разных углов β (0° , 20° и 40°) (Рис.3).

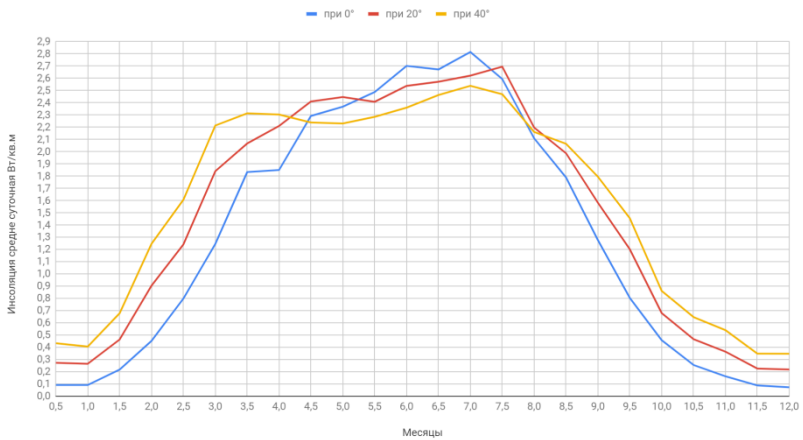


Рис.3 – График инсоляция в НСО при трех разных углах наклона ФЭП.

По полученным данным было решено выбрать угол в 40° потому что при данном угле максимальная годовая инсоляция (Таблица 1)

Таблица 1 – Суммарная годовая инсоляция

Месяц	Среднемесячная инсоляция Вт/кв.м		
	при 0°	при 20°	при 40°
1,00	4,80	11,30	16,81
2,00	17,53	30,04	39,94
3,00	47,71	60,56	70,17

Месяц	Среднемесячная инсоляция Вт/кв.м		
	при 0°	при 20°	при 40°
4,00	62,13	69,31	68,14
5,00	75,26	75,24	69,99
6,00	80,60	76,65	72,35
7,00	83,85	82,40	77,63
8,00	60,43	64,86	65,50
9,00	31,20	41,77	48,78
10,00	11,06	17,77	23,38
11,00	3,76	8,86	13,33
12,00	2,46	6,80	10,80
Суммарная инсоляция	480,78	545,57	576,82

Литература:

1. Кенжаев З.Т. Преимущества и недостатки фотопреобразователей // Молодой ученый. — 2017. — № 36(170). — С. 3-5.
2. Удалов С. Н. Возобновляемая энергетика. – НГТУ. – Новосибирск, 2016. – 606 с.
3. Митрофанов С.В. Зубова Н.В. Автономные системы электроснабжения. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 10 с.
4. Азимут и высота солнца в Новосибирской области [Электронный ресурс]. URL: <https://planetcalc.ru/320/>. (Дата обращения: октябрь 2020).
5. Восход и закат солнца [Электронный ресурс]. URL: <https://planetcalc.ru/320/>. (Дата обращения: октябрь 2020).
6. Чебанов К.А. Карамян О.Ю. Соловьева Ж.А. Совершенствование солнечной генерации на уровне массового использования [Электронный ресурс]// Neftegaz.RU:электрон. деловой журнал— №2(62). — 2017. — URL: <https://cutt.ly/2g3f8sb>
7. Power data access viewer [Электронный ресурс]. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. (Дата обращения: октябрь 2020).

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕПРОМЫСЛОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ

Д.А. Боярова, В.М. Левин

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zykova_diana@mail.ru

Настоящая статья посвящена оценке показателей эксплуатационной надежности распределительных сетей 35 кВ, находящихся на балансе предприятия нефтедобычи. На основе реальных данных аварийной статистики за период с 2008 года по 2018 год были рассчитаны показатели надежности, необходимые для проработки стратегии по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) по техническому состоянию.

This article is dedicated to the assessment of reliability measures of 35 kV overhead transmission lines, which are on the balance sheet of an oil production enterprise. On the basis of real data of emergency statistics for the period from 2008 to 2018, the reliability measures were calculated, which were necessary to develop a strategy for maintenance and repair (MRO) according to the technical condition.

Любой электросетевой комплекс в течении эксплуатации развивается: к старым эксплуатируемым объектам добавляются новые. Обеспечить бесперебойное электроснабжение возможно посредством обеспечения эксплуатационной надежности, что в свою очередь можно достичь путем применения подходящей стратегии технического обслуживания и ремонта (ТОиР) по техническому состоянию. Первично оценить техническое состояние электрооборудования можно при помощи обработки данных аварийной статистики каждого вида оборудования, что, через существующие показатели надежности, даст представление о состоянии объекта.

Система ТОиР представляет собой совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления объектов, входящих в эту систему [1]. Подбор стратегии ТОиР является стратегически важной задачей для энергообъекта, поскольку данное мероприятие помогает максимально эффективно использовать производственные активы предприятия и обеспечивает их работоспособность с минимальными затратами, что является актуальной задачей для любой организации, которая желает оставаться конкурентоспособной на рынке.

На данный момент существует еще четыре стратегии ТОиР, альтернативные ремонту по техническому состоянию. Самая старшая из них – это «эксплуатация до отказа». Она отличается наибольшей продолжи-

тельностью межремонтного состояния объекта, соответствующего сроку службы, однако возникающий отказ, при таком выборе стратегии, обычно тяжелый и на его устранение требуется много времени, что приводит к длительным простоям ремонтируемого оборудования, недоотпуску продукции и к значительным затратам на ремонт. Поэтому на сегодняшний день стратегия по факту отказа применяется для недорогого и несложного электрооборудования [2].

Стратегия «планово-предупредительных ремонтов» (ППР) широко применялась в годы СССР, ее суть заключалась в том, что ремонт каждого вида оборудования производился через установленный период времени, вычисленный при помощи обработки статистических данных исследуемого вида объекта. Этот вид стратегии ТОиР наиболее простой и надежный для планирования работ, однако стоит учесть, что не все виды оборудования подчиняются стандартной модели износа. Поэтому сегодня реализуется постепенный переход на риск-ориентированное управление активами. Предпосылкой для этого перехода явилось развитие отрасли технической диагностики, что позволило возникнуть стратегии ТОиР «по техническому состоянию объекта».

Также существуют еще две, более продвинутые, стратегии – «надежно-ориентированная» (RCM) и «по оценке прогнозируемых рисков» (RBM). На основании первой стратегии строятся наиболее эффективные планы ТОиР с точки зрения надежности. RCM предполагает углубленный анализ оборудования с расчетом необходимых показателей надежности. Вторая упомянутая стратегия характеризуется оценкой вероятности отказов оборудования и степени его важности. Исходя из оцененного уровня риска, определяются объемы, виды работ по ТОиР оборудования и их приоритетность [3].

В качестве объекта исследования были выбраны распределительные сети 35 кВ, принадлежащие предприятию ООО «Ноябрьскэнерго-нефть». До начала расчетов показателей надежности по данным аварийной статистики за 2008-2018 гг. были выявлены и проанализированы основные причины отказов ВЛ-35 кВ и составлена статистика по видам отказавших функциональных узлов данного объекта исследования (рисунок 1). Всего за период с 2008 по 2018 гг. было зафиксировано 410 отказов ВЛ-35 кВ, 63% из которых произошли из-за грозových явлений, а 11% - из-за атмосферных. Это объясняется природно-климатическими факторами расположения ВЛ. Из первой диаграммы на рисунке 1 видно, что большая часть отказавшего оборудования (57%) приходится на изоляцию, что согласуется с данными второй диаграммы на рисунке 1, которая показывает, что большая часть отключений происходила из-за грозы.



Рис. 1 – Статистика основных причин отказов (диаграмма 1) и статистика по виду отказавших функциональных узлов ВЛ-35 кВ (диаграмма 2)

Для оценки показателей эксплуатационной надежности электрооборудования нефтепромыслов были рассчитаны три основных показателя надежности – параметр потока отказов (ППО), наработка на отказ и время восстановления. Результаты расчета перечисленных показателей сведены в таблицу 1. Сравнение результатов расчета и справочных данных из [4] (таблица 2) для ВЛ-35 кВ показывает, что объект исследования является более подверженным отказам, нежели его справочный эквивалент. Об этом говорит больший ППО ($0,0904 \text{ год}^{-1} > 0,055 \text{ год}^{-1}$) и меньшее значение наработки на отказ ($11,06 \text{ лет} > 18,18 \text{ лет}$), однако с точки зрения восстановления, рассматриваемые ВЛ-35 кВ имеют меньшее среднее время восстановления по сравнению со справочным ($3,94 \text{ ч} < 6 \text{ ч}$). Такие различия значений объясняются несколькими факторами, а именно различным объемом выборки данных, природно-климатическими условиями места расположения рассматриваемых ВЛ, особенностями эксплуатации и т.д.

Таблица 1 – Результаты расчета показателей надежности

Год	ППО ω , 1/год	Наработка на отказ T_0 , лет	Среднее время восстановления T_v , ч
2008	0,0485	20,62	2,98
2009	0,1358	7,36	2,43
2010	0,1067	9,37	10,28
2011	0,1285	7,78	2,94
2012	0,1576	6,35	4,36
2013	0,0994	10,06	3,14
2014	0,1091	9,16	2,57
2015	0,0679	14,73	3,70
2016	0,0703	14,22	4,42
2017	0,0533	18,75	4,77

Год	ППО ω , 1/год	Наработка на отказ T_0 , лет	Среднее время восстановления T_v , ч
2018	0,0170	58,91	2,35
2008-2018 гг.	0,0904	11,06	3,94

Таблица 2 – Сравнение расчетных и справочных показателей надежности

	ППО ω , год ⁻¹	Наработка на отказ T_0 , лет	Среднее время восстановления T_v , ч
Фактические данные	0,0904	11,06	3,94
Справочные данные	0,055	18,18	6

Данное исследование носит практический характер и нацелено на решение актуальных задач эксплуатации электрооборудования. В настоящее время имеется необходимость в повышении качества и объема диагностики ВЛ и связанного с ними оборудования для того, чтобы своевременно находить «узкие» места и предупреждать отказы. Результаты настоящей работы могут быть обобщены и использованы для планирования стратегии ТОиР по техническому состоянию ВЛ-35 кВ.

Литература:

1. ГОСТ 18322-2016 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – Введ. 2017-09-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 16 с.
2. Левин В. М. Оптимизационные модели технического обслуживания и ремонтов электрооборудования передачи и распределения [Текст] / В. М. Левин, Е. А. Рычагова, И. В. Сорокин // Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. – Казань, 2015. – № 2. – С. 20–29.
3. Ассоциация эффективного управления производственными активами [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://eam.su/8-obszluzhivanie-osnovannoe-na-ocenke-riskov-rbm-risk-based-maintenance.html>, свободный.
4. Китушин В.Г. Надежность электроэнергетических систем. Часть 1. Теоритические основы: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2003. – 256 с. – (Серия «Учебники НГТУ»).

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

Н.Р. Гайсин, Е.С. Денисов

**Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
г. Казань, GaisinNR@gmail.com**

В данной работе рассмотрено использование рекуррентной нейронной сети (RNN) для прогнозирования и моделирования работы твердополимерного топливного элемента (PEMFC), а также анализа критических режимов. Помимо этого, рассмотрено использование нейросетевой модели для определения наиболее важных параметров топливного элемента, для уменьшения количества датчиков целевой установки.

In this paper the use of the Recurrent Neural Network (RNN) for prognosticating and modeling the proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) currents as well as analysis of critical operating modes are considered. Besides, the use of neural network model to determine the most important parameters of a fuel cell and to reduce the number of sensors of the target installation is considered.

Перспективными источниками электроэнергии на основе водорода являются твердополимерные топливные элементы с протонообменной мембраной. Они имеют относительно невысокую температуру работы и в то же время высокие энергетические характеристики. Несмотря на это остаётся открытым вопрос обеспечения их бесперебойной и безопасной работы во время эксплуатации [1-3]. Исходя из этого, актуальность разработки эффективных методов анализа, прогнозирования и моделирования поведения различных, в том числе и динамических рабочих режимов остаётся необходимой. В основе этой задачи лежит условие оценки эффективности работы и близость технического состояния топливного элемента к оптимальным. В данной работе рассматривается эффективность использования рекуррентных нейронных сетей для прогнозирования напряжения батареи водородных топливных элементов при изменениях нагрузки.

Для обучения нейронной сети использовались данные, полученные при долговременных измерениях, сопровождающихся вариацией рабочих параметров PEMFC: ток нагрузки, влажности, температуры и массовых расходов подводимых газов, давлений с анодной и катодной газотранспортной системе, напряжений на ячейках батареи водородных топливных элементов и других параметров. Измерения параметров проводились с периодом 0,2 с.

После ручного отсева параметров и подготовки данных, для обучения первых моделей использовалось 22 сигнала на входном слое и 8 на выходном. Помимо задачи прогнозирования поведения топливного элемента, встал вопрос также в уменьшении количества обрабатываемых входных сигналов, для уменьшения количества датчиков, а также для более эффективного обучения нейросетевой модели.

Основная сложность при обучении нейросетей – это подготовка данных. Как результат малый объём данных мог не иметь нужных шаблонов поведения в результате чего не давал нужной выборки для обучения, и модель не имела необходимую гибкость. В то время как наличие большого объёма неструктурированных данных не оказывало нужного влияния на интересующие нас параметры, что в свою очередь приводило к преждевременному переобучению модели не позволяя использовать архитектуру полноценно и получая низкую точность нейросети. Как результат всего вышесказанного, было использовано 2 метода для поиска наиболее значимых сигналов. Для визуальной иллюстрации и дальнейшего сокращения количества входных параметров была использована функция корреляции между входными и выходными сигналами. Данная методика позволила уменьшить количество входных параметров, что положительно сказалось на количестве эпох обучения и в следствии на точности модели. В виде альтернативного метода было применено вычисление энтропии многомерного гауссовского распределения для входных и выходных сигналов, что позволило, имея числовые значения оставить наиболее важные параметры. Тем самым удалось снизить количество входных параметров до 13 (8 из которых также являются и выходными сигналами). При выборе архитектуры модели выбор встал за использованием GRU вместо LSTM в связи с тем, что ячейки GRU на практике показали себя с лучшей стороны в задачах, где более значима скорость обработки данных. Помимо этого были применены технологии отсева (dropout) и пакетная нормализация (batch normalization). Данные технологии позволили работать с не столь большим объёмом данных для обучения и увеличить точность модели соответственно.

Вышеописанные манипуляции позволили в значительной степени увеличить количество эпох обучения, что в свою очередь позволило более эффективно обучить модель. В конечном итоге удалось получить результат с высокой степенью точности прогнозирования в 93%.

Важным результатом является то, что наилучшее качество прогнозирования обеспечивается при уменьшении количества признаков в обучающей выборке до тринадцати. Результаты работы позволят реализовать новые модели топливных элементов и энергетических систем на их

основе. Такие модели могут применяться в системах контроля батарей топливных элементов, когда сигнал возможной неисправности генерируется при существенных различиях в поведении систем и ее модели.

Литература:

1. Евдокимов Ю.К., Мартемьянов С.А., Денисов Е.С., Электрический шум водородного топливного элемента и исследование его диагностических свойств / Нелинейный мир. 2009. Т. 7. № 9. с. 706-712.

2. Jinfeng W., Xiao Z.Y., Jonathan J.M., A review of PEM fuel cell durability: Degradation mechanisms and mitigation strategies / Journal of Power Sources, 2008.

3. Nigmatullin RR, New approach for PEMFC diagnostics based on quantitative description of quasi-periodic oscillations, International Journal of Hydrogen Energy, (2016)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОТРЕБИТЕЛЯ

А.Д. Гриньков, Н.А. Стрельников

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, grinkovaleksandr97@gmail.com**

Статья посвящена исследованию ключевых вопросов, связанных с качеством электрической энергии и энергетической эффективностью потребителя. Актуальность данной работы состоит в том, что как надежность электроснабжения потребителей, так и качество электроэнергии выступают ключевыми факторами, которые характеризуют энергетическую, а также технико-экономическую эффективность электроснабжения потребителей.

The article is devoted to the study of key issues related to the quality of electric energy and energy efficiency of the consumer. The relevance of this work is that both the reliability of power supply to consumers and the quality of electricity are key factors that characterize the energy, as well as the technical and economic efficiency of power supply to consumers.

Сегодня, для большинства стран мира, актуальной является проблема, связанная с повышением энергетической эффективности. Потенциальная нехватка топливно-энергетических ресурсов, а также необходимость в их рациональном распределении - вот основные предпосылки экономического развития в области рационального электроэнергетического потребления.

Под решением проблем, связанных с энергоэффективностью, подразумевают изменение отношения к самому процессу потребления элект

троэнергии с помощью многих инструментов, включая и энергосбережение.

Отметим, что снижение качества электроэнергии приводит к значительному изменению режимов работы электрооборудования и в результате приводит к снижению производительности узлов рабочих механизмов, снижению качества продукции, а также сокращению срока службы электрооборудования, повышению вероятности возникновения аварийных ситуаций.

В ходе реформирования электроэнергетики недостаточное внимание уделялось вопросам качества электроэнергии, что, в свою очередь, привело к увеличению потерь электроэнергии и, соответственно, снижению уровня энергетической эффективности. При этом вопрос качества электроэнергии традиционно был в основном проблемой электрифицированного железнодорожного транспорта, а также крупных промышленных предприятий, однако в настоящее время данная проблема касается всех потребителей, включая коммунальную инфраструктуру, население, государственные учреждения [1].

Качество электроэнергии – это соответствие параметров электроэнергии установленным значениям. Параметр электрической энергии, в свою очередь, это величина, количественно характеризующая какое-либо свойство электроэнергии. Параметрами электрической энергии являются напряжение, частота, форма кривой электрического тока.

Важно то, что качество электрической энергии является основой электромагнитной совместимости, которая характеризует электромагнитную среду. Качество электроэнергии зависит от изменения погодноклиматических условий, времени суток, изменения нагрузки энергосистемы, возникновения аварийных ситуаций в сети и т.д.

В России в настоящее время принято много нормативных документов, которые напрямую связаны с энергосбережением, а также повышением энергоэффективности [2, с. 53]. Согласно которым как надежность электроснабжения, так и качество электроэнергии определяют энергоэффективность.

Так, надежность в энергетическом плане можно охарактеризовать долей недоотпуска потребителям электроэнергии, а в экономическом аспекте – сокращением ущерба от перерывов в электроснабжении в валовом внутреннем продукте. Высокая чувствительность к проблемам качества электроэнергии подавляющей части промышленных потребителей, а также потребителей услуг, в том числе коммунальных, приводит к тому, что доступность электроэнергии с высоким качеством становится главным фактором конкурентоспособности в любой сфере деятельности.

Важно подчеркнуть, что наиболее важными отраслями являются отрасли с непрерывными технологическими циклами и информационно-технологическими услугами. В то же время следует отметить, что в последние несколько десятилетий характер нагрузки электрических сетей претерпевает значительные изменения. Так, происходит широкое внедрение электронных устройств, в том числе информационно-технологического оборудования, силовой электроники (преобразователи частоты, электронные регуляторы скорости, инверторы, программируемые логические контроллеры, энергосберегающие осветительные приборы с электронными балластами, диммеры), что приводит, в свою очередь, к резкому ухудшению качества электроэнергии.

Вследствие нелинейности данные нагрузки ведут к тому, что формы напряжения искажаются, увеличиваются высшие гармоники в электросети, колебания, а также отклонения напряжения от нормированных значений при изменении мощностей нагрузок, другими словами, на параметры качества электроэнергии оказывается негативное влияние со стороны потребителя.

При этом бизнес-риск, представляющий собой проблемы качества электроэнергии, является вполне реальным, можно сказать, что низкотехнологичные отрасли несут, в этом случае, серьезные финансовые потери, безусловно, с последующим снижением производительности, а также конкурентоспособности. При этом величина ущерба, которая, непосредственно, связана с проблемами качества электроэнергии, зависит от нескольких факторов, ключевым из которых выступает вид деятельности. Данные факторы, как наличие на предприятии чувствительного оборудования, а также рыночные условия – влияют на величину ущерба.

Подчеркнем, что ущерб, который связан с нарушением качества электроэнергии, можно разделить на прямой и косвенный. Так, прямой ущерб напрямую связан с нарушением качества электроэнергии. В него входят затраты, которые связаны с повреждением оборудования, затраты вследствие снижения производительности труда, брака продукции и сырья, затраты на заработную плату за период простоя и остановки производства с затратами на его повторный пуск. Прямой ущерб, в свою очередь, может быть связан с уменьшением производительности, а также сокращением срока службы оборудования.

Косвенный ущерб оценить гораздо сложнее. Обычно это связано с срывом сроков доставки. Косвенный ущерб можно оценить по размеру инвестиций, чтобы предотвратить возникновение проблем, которые связаны с качеством электроэнергии.

Резюмируя вышесказанное, отметим оптимальные решения проблемы качества электрической энергии, которые способствуют повышению энергетической эффективности потребителей.

Так одним из необходимых, в настоящее время, вариантов решения проблемы качества электрической энергии является реконструкция и модернизация действующих систем электроснабжения предприятий, распределительных схем питания трансформаторных подстанций (ТП) и других электроустановок.

Также, нужно осуществлять постоянный контроль и мониторинг качества электроэнергии, который напрямую сказывается на экономических показателях потребителей электроэнергии [3].

Помимо этого, ученые активно разрабатывают концепцию так называемых «умных», или активно-адаптивных, сетей – Smart Grid, позволяющих эффективным образом реализовать процессы управления потреблением электрической энергии. Система собирает информацию о производстве и потреблении электроэнергии, что позволяет корректно распределять энергоресурсы, обеспечивать надёжность их потребления. Развёртывание проектов в области Smart Grid способствует развитию инновационных технологий, стимулирует производство высокоинтеллектуальной продукции. Потребители становятся активными участниками рынка, поскольку получают возможность продавать электрическую энергию, выработанную на локальных генерирующих источниках.

Литература:

1. Овсейчук, В.А., Жежеленко И.В. Экономически обоснованное нормирование надёжности и качества электроснабжения потребителей в России // Электрификация транспорта. – 2015. - № 10. – С. 117-123.

2. Королева, Т.Г., Морозов Е.М. Надёжность и качество электроэнергии как показатели энергоэффективности // Энерго- и ресурсосбережение. – 2015. – С. 53-55.

3. Кобина, А.А. Анализатор качества электроэнергии и анализ факторов, влияющих на качество электроэнергии // Международный студенческий научный вестник. – 2018. - № 6. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36653941>& (дата обращения: 10.09.2020).

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ КРУПНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

И.В. Дулов, А.Г. Фишов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dulov.96@mail.ru**

В настоящее время актуальным направлением развития энергетики является создание автономных систем электроснабжения малой мощности (Microgrid), способных функционировать, как изолированно, так и параллельно с внешними энергосистемами, при сохранении структуры потребления электроэнергии. Этим актуализируется задача обеспечения надежных пусков и устойчивой работы асинхронных двигателей, электрическая мощность которых сопоставима с мощностью генерации.

В данной работе представлены условия успешности пуска асинхронной машины в Microgrid.

Currently, an urgent direction in the the energy sector development is the autonomous low-power power supply systems (Microgrid) functioning both in isolation and in parallel with external power systems creation capable, while maintaining the electricity consumption structure. This keep up to date the task of ensuring reliable starts and stable operation of asynchronous motors, the electric power of which is comparable to the generation power.

This paper presents the conditions for the starting success of an asynchronous machine in Microgrid.

В настоящее время в электроэнергетике наблюдается тенденция развития распределенной генерации, а также создание новых островных система электроснабжения малой мощности, которые, впоследствии, могут включаться на параллельную работу с подобными или крупными энергосистемами. В локальных системах энергоснабжения потребителями часто используются достаточно мощные асинхронные двигатели, соизмеримые по мощности с суммарной генерацией самой энергосистемы [1]. Зачастую в таких системах остро стоят вопросы поддержания заданного уровня надежности электроснабжения, качества электрической энергии и устойчивой работы узлов нагрузки.

Пуск асинхронной машины сопровождается значительными токами, из-за которых происходит снижение напряжения в узлах потребления электрической энергии, а в локальных системах энергоснабжения - практически во всех узлах электрической сети, что может привести к лавине напряжения и остановке производственного процесса, как у потребителей, так и на электрической станции. Кроме того, пуск сопровождается снижением частоты, которая может оказаться ниже допусти-

мой для генерирующей установки, что вызовет ее отключение и прекращение электроснабжения потребителей.

Из всего вышесказанного следует, что для нормального функционирования и поддержания заданных показателей качества электрической энергии в локальных системах энергоснабжения необходимо контролировать пуск мощных асинхронных двигателей.

В работе рассмотрен прямой пуск асинхронного двигателя под нагрузкой, как наиболее простой, быстрый и надежный способ пуска, недостатком которого является пусковой ток, на порядок превышающий номинальный. Для его эффективного применения в локальных системах энергоснабжения необходима разработка методов априорного определения успешности пуска асинхронного двигателя и создание устройств, предотвращающих пуск двигателя в условиях его не успешности.

К условиям успешности пуска асинхронного двигателя в локальной системе энергоснабжения следует отнести:

1. Допустимость снижения частоты для генерирующей установки.

$$f_c > f_{кр} \quad (1)$$

где, f_c – минимальное значение частоты при пуске двигателя, $f_{кр}$ – предельно допустимое минимальное значение частоты.

2. Допустимость величины частоты в системе электроснабжения для пуска асинхронного двигателя.

$$f_c < f_{двкр} \quad (2)$$

где, f_c – результирующее значение частоты при пуске двигателя, $f_{двкр}$ – предельно допустимое значение частоты для успешного пуска двигателя.

3. Допустимость снижения напряжения в сети и его продолжительности для прочей двигательной нагрузки.

$$U_{изм} > U_{кр} \quad (3)$$

$$t_{дон} > t_{пуск} \quad (4)$$

где, $U_{изм}$ – измеренное значение напряжения в заданном узле электрической системы, $t_{дон}$ – максимально допустимое время пуска двигателя по условию снижения напряжения в смежном нагрузочном узле,

$U_{кр}$ – минимальное напряжение для успешного пуска асинхронной машины, $t_{пуск}$ – рассчитанное время пуска.

4. Превышение пусковым моментом двигателя момента нагрузки на его валу при пуске.

$$M_{пуск} > M_{сопрм}$$

где, $M_{пуск}$ – пусковой момент асинхронной машины, $M_{сопрм}$ – момент механического сопротивления на валу асинхронной машины, определяемый из предшествующего режима, при котором произошло опрокидывание.

В качестве модели асинхронного двигателя была выбрана Г-образная схема замещения, представленная на Рисунке 1. Ее использование, при относительной простоте, позволят добиться погрешности, не превышающей 5% [2].

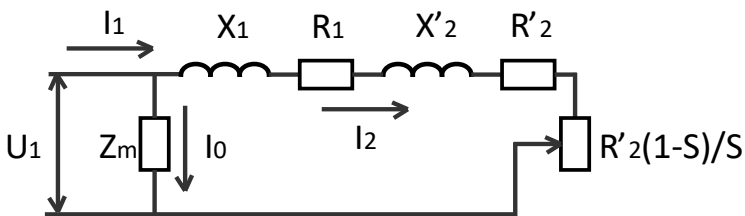


Рис. 1 – Модель энергосистемы со СНЭ

В соответствии с допущениями Г-образной схемы замещения были разработаны методы определения критических состояний асинхронного двигателя. На основе выявленных условий и методов определения критических состояний асинхронного двигателя разработан алгоритм управления, построенный методом ведущей линии. Структура алгоритма приведена на Рисунке 2.

Если хотя бы одно из предложенных условий не будет выполняться, то пуск двигателя будет прерван. Пуск асинхронной машины будет возобновлен через некоторый промежуток времени с актуальными поправочными коэффициентами, если это необходимо.

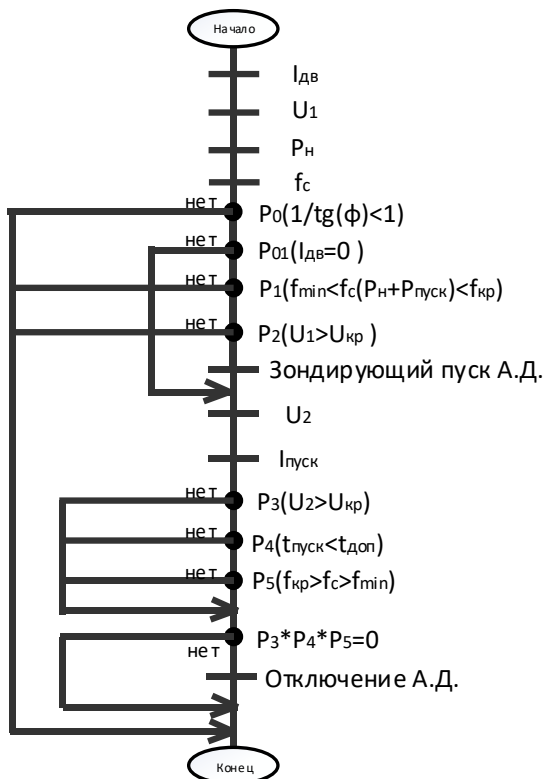


Рис. 2 – Алгоритм управления пуском асинхронного двигателя

В работе выявлены условия пуска, предложены методы определения его критических состояний, разработан алгоритм управления пуском асинхронного двигателя в локальной системе энергоснабжения. В дальнейшем планируется провести верификацию разработанного алгоритма управления, предотвращающего пуск двигателя в условиях его не успешности, на цифровой модели в программном пакете Matlab/Simulink, а также сформировать прототип устройства, что позволит испытать предложенные модели и методы на физической модели локальной системы энергоснабжения.

Литература:

1. Мелешкин Г.А. Переходные режимы судовых электроэнергетических систем. – Л.: Судостроение, 1971, 342 с

2. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1978. –832 с.

СИСТЕМНЫЕ И ЛОКАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ ОТ СОЗДАНИЯ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК

Е.С. Жукова, Л.С. Мышкина, Ф.Л. Бык

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zhukova0806@gmail.com**

Растущий мировой спрос на энергию и необходимость снижения влияния энергетики на окружающую среду актуализировали вопрос изучения достаточности существующих источников энергии. Это способствовало появлению и развитию гибридных локальных энергосистем в составе единых электроэнергетических систем различных стран мира.

The rise in global energy demand and the need to reduce the impact of energy on the environment have updated the issue of researching the sufficiency of existing energy sources. This contributed to the emergence and development of hybrid Energy Cells as part of the unified power systems of different countries of the world.

Во многих странах мира, в том числе и в России, в настоящий момент происходит изменение традиционной организации энергетической отрасли. Возрастающие требования потребителей к экономичности, надежности энергоснабжения и качеству электрической энергии подталкивают их к поиску альтернатив энергоснабжения от централизованной энергетической системы. В связи с этим растет интерес к созданию локальных энергосистем и микрогрид.

Микрогрид (MicroGrid) — объединенная энергосистема, состоящая из распределенных энергоресурсов и электрических нагрузок (потребителей), работающая как единый управляемый объект параллельно работающей централизованной энергосистеме или в островном режиме [1].

Создание микрогрид предполагает размещение генерации в непосредственной близости от потребителей. Это позволит достичь роста надежности и доступности электроснабжения для потребителей, в том числе в отдаленных районах. В России мощность генерации в микрогрид можно разделить на мини-электростанции с мощностью до 5 МВт, и малые - электростанции с мощностью до 25 МВт.

По данным Navigant Research, годовой объем рынка микрогрид, работающих параллельно с централизованной энергетикой, в 2018 году составил 1463 МВт. Суммарно объем рынка в денежном выражении — более 3 млрд долларов США. К 2027 г рынок вырастет до 11576 МВт

или 30 млрд долларов США суммарного годового объема рынка. Наибольшее количество MicroGrid расположено в США.

MicroGrid создаются как для промышленных потребителей, так и для коммерческих. В России примером может служить решение Правительства по созданию промышленных MiniGrid, получивших название «Активный энергетический комплекс» (АЭК) на основе генерации до 25 МВт. Примерами микрогрид для коммерческих потребителей может служить создание микрогрид в г. Новосибирске на базе мини-ТЭЦ «Березовая» мощностью 11 МВт.

Однако сегодня большое внимание уделяется не только растущему мировому спросу на энергию, но и вопросу покрытия данного спроса с минимальным влиянием на окружающую среду. Это вызвало интерес и расширило использование генерации на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Динамика выработки электроэнергии на базе ВИЭ представлена на рисунке 1.

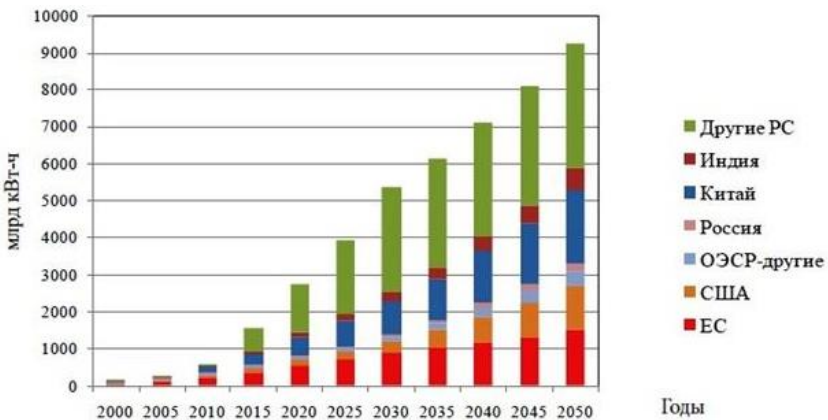


Рис. 1 – Динамика выработки электроэнергии ВИЭ за период 2000-2050 годы [2]

Тенденция использования ВИЭ для производства электроэнергии во всем мире очень быстро растет. Рост обусловлен необходимостью декарбонизации производства электроэнергии, экологичностью и безопасностью источников энергии на ВИЭ, а также повышением доступности использования данных технологий.

Включение в состав микрогрид генераторов на ВИЭ и систем накопления энергии позволит повысить техническую и экономическую эффективность этих систем. При интеграции генерации на базе ВИЭ в состав MicroGrid образуется гибридная локальная энергосистема, в зару-

бежной литературе такие системы часто обозначаются как энергетические ячейки (Energy Cell). Таким образом, создание гибридных Energy Cell – это сочетание двух актуальных трендов: создание микрогрид и использование ВИЭ.

Энергетические ячейки (Energy Cell) – это сбалансированные по нагрузке и генерации микрогриды. Такие Energy Cell способны работать автономно (в острове) с требуемым уровнем балансовой и режимной надежности, с нормативной бесперебойностью электроснабжения при сочетании генерации на ВИЭ и управляемой генерации на углеводородном топливе.

В общем случае в состав Energy Cell могут входить (рисунок 2):

- маневренная и управляемая генерация;
- генерация на базе ВИЭ;
- системы накопления энергии (СНЭ);
- энергопринимающие устройства потребителей;
- элементы зарядной инфраструктуры электрического транспорта;
- элементы электрифицированных систем теплоснабжения.



Рис. 2 – Состав оборудования Energy Cell

Исследование эффективности создания и присоединения гибридных локальных энергетических систем и их работы параллельно, синхронно с централизованной энергетикой, а также сопоставление полученных результатов с полученными эффектами от аналогичной работы однородной микрогрид является актуальным. В рамках данного исследования необходимо найти решение для следующего комплекса задач:

1. Анализ существующих технологий микрогрид, обеспечивающих надежность, бесперебойность и доступность электроснабжения коммунальных потребителей;

2. Моделирование нормальных режимов работы гибридной и однородной микрогрид при их интеграции с централизованной энергетикой в программном комплексе ЕТАР для определения показателей, характеризующих функции надежности, бесперебойности и доступности электроснабжения;

3. Определение климатических и схемно-режимных условий, выполнение которых позволит оценить полученные локальные и системные эффекты от работы микрогрид в параллельной работе с централизованной энергетикой;

4. Анализ количества и состава полученных системных и локальных эффектов от формирования, исходя из заданных условий, гибридной микрогрид, обеспечивающей электроснабжение коммунальных потребителей.

Решение данных задач позволит определить места и условия, при соблюдении которых создание гибридных Energy Cell и последующее присоединение наиболее актуально. Также это позволит оценить системные и локальные эффекты от присоединения к ЕЭС России.

Литература:

1. Распределенная энергетика в России: потенциал развития / А. Хохлов, Ю. Мельников, Ф.В. Веселов, Д. Холкин, К. Дацко // Сколково. – Москва, 2018. – 88 с.

3. Левинзон С.В. Энергоресурсы: прогнозы и реальность. – Академия Естествознания, 2018. – 409 с.

УЛУЧШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКЛОУЗЕРОВ

А.Ф. Исхаков, В.Я. Любченко, Д.А. Павлюченко
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, @unitedfan@list.ru

В данной статье рассмотрены показатели количественной оценки надежности электроснабжения, а также способы повышения надежности с использованием реклоузеров.

This paper discusses methods of quantitative assessment of power supply reliability and ways to increase reliability indicators using automatic reclosers.

Распределительная сеть является последним этапом в цикле электроснабжения потребителя перед непосредственным преобразованием электрической энергии в иной вид энергии, необходимый потребителю. По статистике около 80% аварий, приходящихся на эти сети, являются неустойчивыми (удар молнии, соприкосновение с посторонними объектами), а значит могут быть устранены в цикле АПВ [1]. Один из наиболее оптимальных способов повышения надежности распределительной сети – использование автоматического реклоузера. Данное устройство позволяет осуществлять секционирование электрической сети, и, как следствие, сокращение продолжительности поиска и локализации поврежденного участка.

Повышение надежности при использовании реклоузеров, определяется следующими эффектами:

- Уменьшение количества отключаемых потребителей
- Уменьшение времени ликвидации аварий
- Уменьшение количества отключений, вызванных неустойчивыми повреждениями

По определению надежность характеризует возможность системы или устройства сохранять свои параметры в заданных пределах и работать в нормальном режиме при заданных условиях эксплуатации. В электроэнергетике под надежностью электроснабжения потребителей следует понимать вероятность сохранения электроснабжения при нормальных и аварийных режимах работы. Однако классическое понятие надежности электроснабжения не всегда подходит для того, чтобы объективно оценить эффективность мероприятий.

Для количественной оценки надежности электроснабжения существуют следующие показатели:

Годовой недоотпуск электроэнергии – принятый CIGRE показатель надежности, отображающий суммарное значение электроэнергии, не отпущенной потребителям в следствие аварий в сети, определяющийся по формуле (1).

$$\Delta W_{\text{но}} = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot T \cdot L \cdot P, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год} \quad (1)$$

где ω_0 – удельная частота повреждений, 1/100км в год; T – среднее время восстановления устойчивого повреждения, час; P – мощность нагрузки, кВт; L – длина участка линии, км.

Показатель надежности, предложенный институтом инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE):

SAIFI (средняя частота устойчивых отключений потребителей) – отношение общего числа отключенных потребителей электроэнергии в следствие устойчивого повреждения, к общему числу подключенных

потребителей электроэнергии за рассматриваемый период времени. SAIFI, определяется по формуле (2) [2].

$$SAIFI = \frac{1}{N_T} \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot (\lambda_i \cdot \gamma_i) \cdot K_i, 1/\text{год} \quad (2)$$

где N_T – общее количество потребителей в сети; L – длина рассматриваемого участка сети, км; λ – количество устойчивых отключений потребителей на 1 км ВЛ в год, 1/км•год; γ – количество неустойчивых отключений потребителей на 1 км ВЛ в год, 1/км•год; K – количество потребителей, отключенных на длительное время в следствие устойчивого или неустойчивого повреждения в сети.

Для сравнения показателей надежности было рассмотрено две схемы: распределительная сеть с односторонним питанием с использованием разъединителей (рисунок 1) и с использованием реклоузеров (рисунок 2).

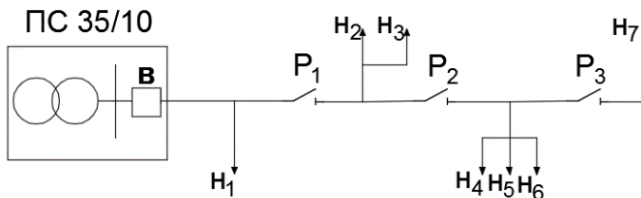


Рис. 1 – сеть с разъединителями ($P_1 - P_3$ – разъединители, $H_1 - H_3$ – нагрузка, B – головной выключатель, ПС 35/10 – трансформаторная подстанция 35/10 кВ)

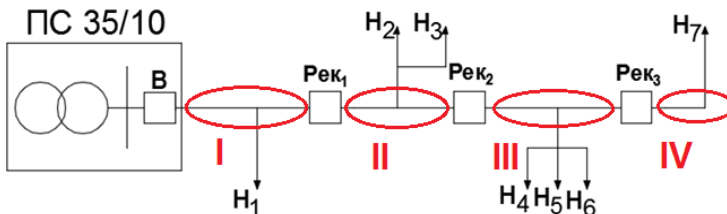


Рис. 2 – сеть с реклоузерами (Рек₁ – Рек₃ – реклоузеры, $H_1 - H_3$ – нагрузка, B – головной выключатель, ПС 35/10 – трансформаторная подстанция 35/10 кВ, I, II, III, IV - секции)

Исходные данные для расчета показателей надежности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – исходные данные

№ нагрузки	$P_{нагр}$, кВт	$L_{отп}$, км	$L_{маг}$, км	Секция	L_c , км	$\omega, 1/100км*го$ д	$T, ч$	$K, по тр$
1	416,5	3	40	I	10	17	8	350
2	382,4	6		II	10			341
3	604,8	4						573
4	1037,0	7		III	6			850
5	646,0	7						558
6	418,2	8						330
7	663,0	5						600
			IV	14				

В таблице 1: $P_{нагр}$ – расчетная мощность нагрузки, кВт; $L_{отп}$ – длина отпайки, км; $L_{маг}$ – длина магистрали, км; L_c – длина магистрального участка сети между реклоузерами, км.

Расчет показал, что установка трех реклоузеров вместо трех линейных разъединителей положительно сказывается на показателях надежности. Годовой недоотпуск электроэнергии, рассчитанный по формуле (1) в исходной схеме составил $\Delta W_{но} = 453467,5$ кВт•ч/год, что на 34,26 % больше, чем в схеме с реклоузерами ($\Delta W'_{но} = 298119,21$ кВт•ч/год). SAIFI в исходной схеме составил $SAIFI = 12,75$ 1/год, что на 34,8 % больше, чем в варианте с реклоузерами ($SAIFI' = 8,31$ 1/год).

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – результаты расчётов

Вариант схемы	Показатель надежности	
	$\Delta W_{но}, кВт*ч/год$	SAIFI, 1/год
Без реклоузеров	453467,5	12,75
С реклоузерами	298119,21	8,31

Таким образом, использование реклоузеров повышает надежность электроснабжения потребителей.

Литература:

1. Thompson, S. Auto-Recloser - Safety and Minimising Downtime Transmission & Distribution Issue 1 2018. Retrieved 2018-07-02.
2. IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices Std. 1366-2012

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПАУЗЫ ДВУХФАЗНОГО АПВ НА НАДЁЖНОСТЬ И ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПО УСЛОВИЮ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

К.А. Махмудов, Т.Г. Красильникова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, mahmudovkaromat@gmail.com**

В данной статье обсуждается проблема, связанная с авариями на воздушной линии (ВЛ) сверхвысокого напряжения (СВН) в связи с её большой длиной. В статье показана достаточная эффективность использования ДАПВ при ликвидации ДКЗ в одноцепной ВЛ напряжением 500 кВ, предложена зависимость пропускной способности электропередачи по условию сохранения динамической устойчивости от длительности паузы ДАПВ.

The article up for discusses the problem connected with the accidents of the extra-high voltage (EHV) aerial line (AL) due to its large length. The article demonstrates the sufficient efficiency of using double-phase auto-reclosing when eliminating double-phase short circuit in a single-circuit aerial line with a voltage of 500 kV.

В линиях напряжением 500-1150 кВ подавляющая доля отключений вызывается однофазными короткими замыканиями (ОКЗ), значительная часть которых, будучи неустойчивыми дуговыми авариями, успешно ликвидируется в цикле однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ). В литературе большое внимание посвящено ликвидации ОКЗ в цикле ОАПВ вместо трёхфазного быстродействующего АПВ (БАПВ), что сопровождается минимальными возмущениями на примыкающие системы [1-3]. Однако заметную долю повреждений (порядка 5 – 10 %) составляют двухфазные КЗ (ДКЗ), для ликвидации которых обычно используется БАПВ. Представляет интерес проанализировать эффективность использования двухфазного АПВ (ДАПВ) для устранения двухфазных КЗ. В статье анализируется характер динамических переходов при использовании ДАПВ различной продолжительности и даётся оценка уровня пропускной способности дальнейшей электропередачи сверхвысокого напряжения (ДЭП СВН) по условию динамической устойчивости. Основной задачей, возникающей при применении ДАПВ, является определение требуемой для успешности его осуществления длительности бестоковой паузы в каждой конкретной проектируемой или эксплуатируемой воздушной линии сверхвысокого напряжения.

В качестве расчетной схемы будем использовать классическую схему, представляющую станцию, работающую через линию на шины бесконечной мощности (рис.1).

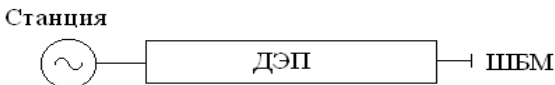


Рис. 1. – Расчётная схема.

Если минимальная бестоковая пауза при БАПВ обычно принимается порядка 0.5 с, то в случае ДАПВ она зависит от величины токов дуги подпитки. Поэтому представляет интерес проанализировать характер динамических переходов при использовании ДАПВ различной продолжительности и оценить уровень пропускной способности ДЭП СВН по условию динамической устойчивости.

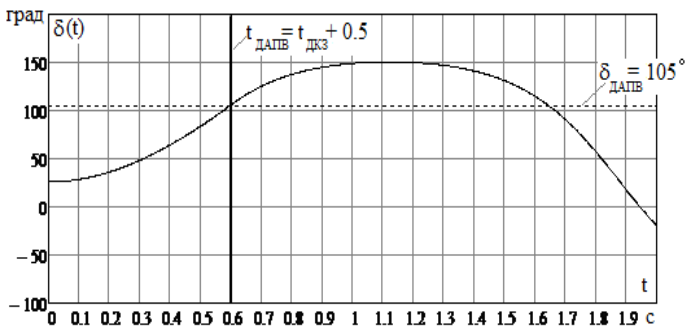
Особенности динамического перехода при расчётной аварии можно проследить с помощью угловых характеристик нормального режима, режима ДКЗ, АПВ (БАПВ или ДАПВ) и послеаварийного режима [4].

Угловые характеристики позволяют проанализировать характер динамического перехода, используя метод площадей. Для определения изменения угла генераторов станции во времени требуется решение уравнения движения генератора [5]

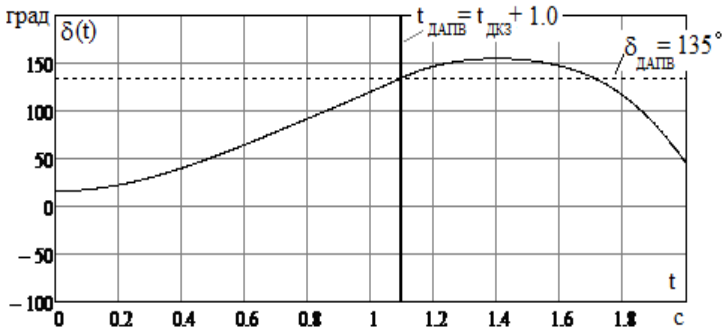
$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{18000}{T_j \cdot S_{cm}} [P_T(t) - P_{эм}(\delta, t)]$$

Оценим эффективность использования ДАПВ при ликвидации ДКЗ в одноцепной ВЛ напряжением 500 кВ. Анализ проведем применительно к схеме (рис.1), в которой при передаче 940 МВт удовлетворяются требования по статической устойчивости.

Использование ДАПВ. Решение уравнения при длительности ДКЗ 0.1 сек и пауз ДАПВ 0.5 и 1.0 сек иллюстрируется на рис. 2.



а)

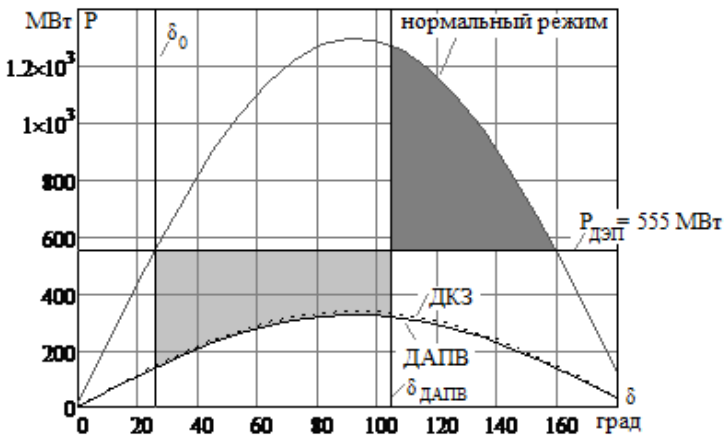


б)

Рис. 2. – Изменение угла в процессе динамического перехода:
а – $\Delta t=0.5\text{с}$; б – $\Delta t=1\text{с}$.

Условия сохранения динамической устойчивости при различных паузах ДАПВ иллюстрируются с использованием угловых характеристик на рис. 3, где показано равенство соответствующих площадок ускорения и торможения.

Используя угловые характеристики, можно найти пропускную способность электропередачи, при которой длительность паузы ДАПВ по условию динамики может быть сколь угодно большой ($P_{\text{ДЭПmin}}=260 \text{ МВт}$).



а)

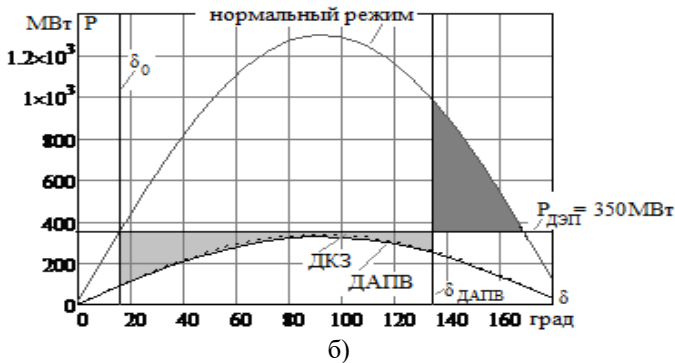


Рис. 3. – Угловые характеристики и площадки ускорения и торможения при ДАПВ: а – $\Delta t=0.5\text{c}$; б – $\Delta t=1\text{c}$.

Далее может быть построена зависимость пропускной способности электропередачи по условию сохранения динамической устойчивости от длительности паузы ДАПВ (рис. 4). На рис. 4 также показана величина пропускной способности электропередачи по условию динамики при использовании БАПВ с длительностью паузы 0.5 сек.

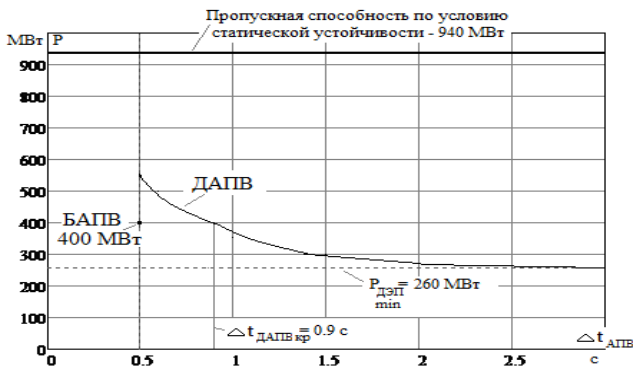


Рис. 4. – Зависимость пропускной способности электропередачи по условию динамической устойчивости от длительности паузы АПВ

Заключение

Использование ДАПВ позволяет заметно повысить пропускную способность ДЭП по условию динамической устойчивости в том случае, если длительность паузы ДАПВ не превышает критическую величину $\Delta t_{\text{ДАПВкр}}=0.9\text{c}$.

Литература:

1. Красильникова Т.Г., Джононаев С.Г. Способы ликвидации однофазных коротких замыканий в воздушных линиях сверхвысокого напряжения // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2016. – № 2 (84). – С. 116-130.
2. Рашкес В.С. Обобщение эксплуатационных данных эффективности ОАПВ ВЛ СВН и опытных данных времени гашения дуги подпитки // Электрические станции. – 1989. – №3. – С. 65-72.
3. Джононаев, С. Г. Влияние длительности паузы ОАПВ на пропускную способность электропередачи по условию динамической устойчивости / Т. Г. Красильникова, С. Г. Джононаев [Текст] // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2017. – № 2.(67) – С. 163–176.
4. Зарудский Г.К., Пуятин Е.В., Рокотян И.С. и др. Режимы дальних электропередач в примерах. / под редакцией Ю.П. Рыжова. – М.: Издательский дом МЭИ, 1994. – 88 с.
5. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах / Учеб. для электроэнергет. спец. вузов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1985. – 536 с.

ПОРТАТИВНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ ВОДОРОДНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

О.Н. Морозова, А.А. Павленко, С.С. Титов

Институт проблем химико-энергетических технологий

Сибирского отделения Российской академии наук,

г. Бийск, morozova_olga15@mail.ru

Рассмотрена возможность применения источников электрической энергии на основе водородных топливных элементов, их перспективность, а так же предложена конструкция генератора водорода для питания такого устройства.

The article discusses the possibilities of using electrical energy sources on based hydrogen fuel cells, their prospects, as well as proposes the scheme of hydrogen generator for power such a device.

В настоящее время наметилась тенденция к увеличению спроса на альтернативные источники электрической энергии. Связано это в первую очередь с тем, что современные аккумуляторные батареи уже не удовлетворяют требованиям современной электроники, а так же саморазряжаются со временем. Поэтому последнее десятилетие ученые все-

го мира активно занимаются разработкой альтернативных источников питания.

Среди альтернативных систем питания, для создания портативных источников энергии наиболее подходящим является получение энергии из водорода, так как он обладает наивысшей теплотворной способностью (120.9 МДж/кг) и может быть получен непосредственно на месте потребления [1]. Ряд исследований, среди которых [2 – 3], подтверждают работоспособность источников электрической энергии на основе водородных топливных элементов. Такие системы в основном будут применяться для питания портативной электроники, а так же в качестве силовой установки на транспорте. Несмотря на то, что такие устройства еще долгое время останутся на стадии коммерциализации, крупнейшие мировые автомобилестроительные корпорации уже активно занимаются разработкой водородных двигателей.

Таким образом, создание новых и усовершенствование уже существующих источников питания является актуальной задачей на сегодняшний день. Так как технологии создания топливных элементов хорошо изучены, основной задачей является обеспечение своевременного и непрерывного, и в тоже время безопасного поступления водорода к топливным элементам. В связи с этим, целью данной работы является оценка возможности создания автономного генератора водорода для питания водородных топливных элементов.

Принцип работы водородного источника питания

Известно, что при окислении многих металлов водой выделяется водород. Поэтому, при рассмотрении существующих прототипов генераторов водорода особое внимание было уделено устройствам на основе реакции разложения воды гидрореагирующими композициями [4]. Генераторы водорода на основе этой реакции в общем случае содержат контейнер с водой и контейнер с водород-генерирующим веществом (металлическим порошком), помещённые в герметичный корпус. В режиме хранения контейнеры с реагентами разделены специальной влагонепроницаемой перегородкой во избежание контакта алюминия с водой или её парами. При установке картриджа в источник тока контейнер с водой вдавливаются внутрь картриджа, перегородка разрывается, и вода начинает поступать к реагенту с определённой скоростью, которая и определяет производительность генератора водорода. После контакта воды и реагента начинается реакция окисления алюминия с выделением водорода [5].

В [6] предложены схемы генератора водорода, отличающиеся способом подачи реагентов. В [7] предложена конструкция генератора водорода с порционной подачей жидкости в борогидрид натрия.

На основе рассмотренных прототипов генераторов водорода была предложена схема с импульсной подачей алюминиевого порошка в воду или водный раствор щелочи (рис. 1). Предполагается, что такая конструкция является наиболее оптимальной из предложенных, так как порционная подача алюминиевого порошка поможет избежать резкого роста давления при работе генератора.

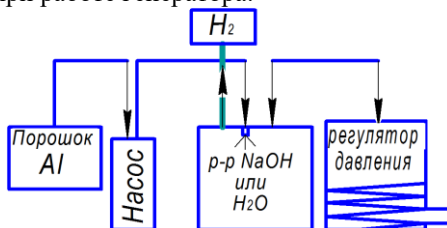
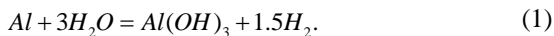


Рис. 1 – Схема генератора водорода

Алюминий был выбран в качестве исходного компонента из-за высокой эффективности, по сравнению с другими металлами, безопасности, а так же экологичности побочных продуктов при его окислении. Выделение водорода проходит в соответствии с уравнением 1.



По результатам предварительно проведенных экспериментов, при окислении 1 г алюминия выделяется 1.24 л газообразного водорода. Основной трудностью при работе с алюминиевым порошком является разрушение оксидной пленки, пассивирующей его поверхность. Для этого используют различные методы, среди которых механическая активация порошка, применение различных добавок, разрушающих оксидный слой.

Генератор водорода предназначен для питания водородных топливных элементов. На рис. 2 показана общая схема работы топливного элемента с протонообменной мембраной. Такой тип топливных элементов является наиболее распространенным для применения в портативных источниках энергии из-за низкой рабочей температуры.

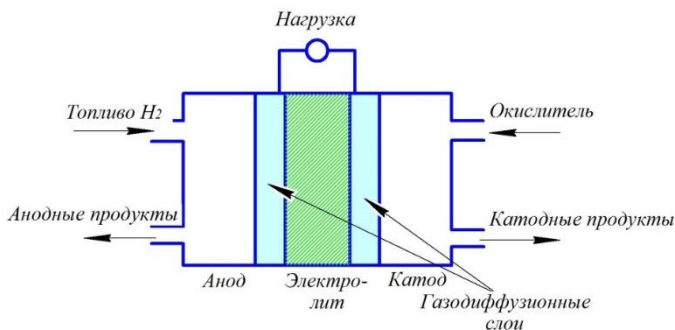


Рис. 2 – Общая схема топливного элемента

Как видно из рис. 2 топливо (водород или водородосодержащие вещества) подаются на анодную сторону топливного элемента, где под действием катализатора (металлы платиновой группы) молекула водорода расщепляется на электрон и протон. Благодаря свойству мембраны пропускать только протоны, электроны проходят по внешней цепи, создавая электрический ток. На катодной стороне электроны и протоны водорода соединяются с кислородом из воздуха, образуя воду.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований был предложен способ порционной подачи алюминия в воду или водный раствор щелочи. Такая подача позволяет проводить регулировку давления водорода в генераторе, в отличие от случая, когда реагенты начинают взаимодействовать в полном объеме.

Работа выполнена при использовании приборной базы Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

Литература:

1. Fischman J., Godart P., Hart D. Hydrogen generation via the reaction of an activated aluminum slurry with water // International Journal of Hydrogen Energy. – 2020. – Т. 45, №. 35 – С. 17118–17130.
2. Wee J. H. Applications of proton exchange membrane fuel cell systems // Renewable and sustainable energy reviews. – 2007. – Т. 11, №. 8. – С. 1720–1738.
3. Корчагин О. В., Тарасевич М. Р. Токогенерирующие реакции в топливных элементах с протонпроводящим и анионпроводящим электролитами // Электрохимическая энергетика. – 2014. – Т. 14, №. 3. – С. 117–132.

4. Морозова О.Н., Павленко А.А., Титов С.С. Способы получения водорода // Южно-Сибирский научный вестник. – 2019. – № 4. – С. 188–194.

5. 2 W power source based on air-hydrogen polymer electrolyte membrane fuel cells and water–aluminum hydrogen micro-generator / E. Shkolnikov, M. Vlaskin, A. Pjukhin, A. Zhuk, A. Sheindlin // Journal of Power Sources. – 2008. – Т. 185, №. 2. – С. 967–972.

6. О возможности практического использования реакции окисления дисперсного алюминия жидкой водой / М.Н. Ларичев, О.О. Ларичева, Н.С. Шайтура, Е.И. Школьников // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2012. – №. 3. – С. 66–79.

7. Development of a high-storage-density hydrogen generator using solid-state NaBH₄ as a hydrogen source for unmanned aerial vehicles / S. Kwon, M.J. Kim, S. Kang, T. Kim // Applied Energy. – 2019. – Т. 251. – С. 113331.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

И.С. Мурашкина, А.И. Марченко, А.Г. Фишов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, murashkinainna@yandex.ru, andrey1991@ngs.ru**

В исследовательской работе рассмотрены особенности подключения электронной генерации (виртуальных синхронных машин) в электрическую сеть электроэнергетической системы применительно к референтной архитектуре интернета энергии и системам MiniGrid и MacroGrid. В проведенных исследованиях выполнено моделирование характерных схем энергосистем с электронной генерацией, исследовано влияние электронной генерации на статическую устойчивость электроэнергетических систем.

The research considers the features of connecting electronic generation (virtual synchronous machines) to electrical network of power system in relation to the reference architecture Internet of energy and the MiniGrid and MacroGrid systems. In the research the modeling of typical schemes of power systems with electronic generation was conducted, and the study of the impact of electronic generation on the steady-state stability of electric power systems was carried out.

Мировой спрос на возобновляемые источники энергии (ВИЭ) стабильно растет и за последнее десятилетие их доля увеличилась почти в несколько раз. Динамика внедрения электронной генерации в России пока не достигла мировых темпов, а интенсивный рост доли ВИЭ в Единой энергетической системе (ЕЭС) России начался только с 2010 г.

В настоящее время доля ВИЭ в России составляет 0,63 % (по данным АО «Системный оператор Единой энергетической системы» на 01.01.2020 г.), а с учетом мощностей гидроэлектростанций 20,87 % от установленной мощности генерирующего оборудования в ЕЭС России.

В современные локальные системы электроснабжения (MiniGrid и MacroGrid) могут входить энергоустановки с гибридной генерацией, как синхронной топливной, так и на основе ВЭИ с несинхронной генерацией. Потребителями являются разнородные электроприемники, работающие и потребляющие, как переменный, так и постоянный ток.

Под электронной генерацией понимается источник электроэнергии, питающий нагрузку на переменном или постоянном токе через преобразовательное устройство. Одним из видов электронной генерации является виртуальная синхронная машина. Виртуальная синхронная машина – источник электроэнергии, включенный в электрическую сеть переменного тока через инвертор, имитирующий динамические характеристики, статизм по напряжению и частоте синхронной электрической машины традиционного источника [1, 2].

Положительный экологический эффект от использования ВИЭ сопровождается множеством потенциально негативных технических последствий, обусловленных принципиальными особенностями инверторов в преобразовании постоянного тока в переменный, а также отсутствием обоснованных требований к электронной генерации со стороны электрических сетей.

Для совместной работы электронной генерации в электрической сети при нарушениях нормального режима необходимо рассматривать и учитывать следующие режимные ситуации: поведение электронной генерации при провалах напряжения в электрической сети; поведение электронной генерации при повышении напряжения в электрической сети; необходимость согласования электронной генерации с противоаварийной автоматикой и релейной защитой существующей электрической сети.

Для обеспечения надежной работы электрической сети к электронной генерации должны быть предъявлены требования по настройке защит инверторов для режимов провала и повышения напряжения, а также для обеспечения селективности защиты сети режимы инвертора в аварийных ситуациях должны быть согласованы с характеристиками защит. В частности, для обеспечения селективности защит при близких коротких замыканиях должна быть задана токовременная характеристика инвертора, ограничивающая максимальный ток инвертора и время его протекания [3].

Из проведенных теоретических и экспериментальных исследований следует, что подключение электронной генерации в электроэнергетическую систему положительно влияет на сетевые ограничения при оптимальном расположении ВИЭ, т.е. концентрированно вблизи утяжеляемого (по нагрузке) района, и пределы по статической аperiodической устойчивости будут зависеть не только от статических характеристик нагрузок, но и от расположения подключенной электронной генерации [4, 5].

При формировании требований и правил для управления электронной генерацией необходимо учитывать:

1) Принципиальное отличие между включением в существующую систему энергоснабжения отдельного дополнительного источника, в т.ч. электронной генерации, и включением на параллельную работу нескольких систем энергоснабжения или отдельной системы энергоснабжения на параллельную работу с внешней электрической сетью централизованного энергоснабжения;

2) Соотношение мощностей объединенных систем энергоснабжения и включаемых источников, т.к. источники существенно меньшей мощности, по отношению к внешним не оказывают значимого влияния на общий электрический режим;

3) Автономность (независимость от электрической сети централизованного энергоснабжения) объекта с электронной генерацией или его работу параллельно с внешней электрической сетью.

По результатам исследования можно сделать вывод, о том, что используемые в настоящее время критерии статической устойчивости режимов электроэнергетической системы остаются корректными и при появлении электронной генерации, однако, их применение существенно осложняется в силу многообразия режимов электронной генерацией, работы их внутренних защит, ячеистой структуры электроэнергетической системы и соответствующей децентрализации управления. Также существующие программные средства моделирования электроэнергетических систем недостаточно эффективны для анализа устойчивости режимов с электронной генерацией. Основная их часть либо ориентирована на моделирование процессов в самих инверторах, объектах электронной генерацией, либо используют излишне упрощенные модели при расчете режимов сложных электроэнергетических систем с электронной генерацией.

Литература:

1) Цифровая энергетика: видение, практики, технологии: Информационно-аналитические работы 2018 г. / Инфраструктурный Центр EnergyNet. — [б. м.]: [б. и.], 2018. — 224 с.

2) D'Arco S., Suul J.A., Fossob O.B. A Virtual Synchronous Machine implementation for distributed control of power converters in SmartGrids // Electric Power Systems Research, May 2015. V.122. pp. 180-197.

3) Armeev D.V., Chuvashov R. Stability operation of grid connected inverter // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 114: Energy Systems Research 2019: intern. conf. of young scientists. Art. 04003 (4 p.).

4) Исследование влияния электронной генерации на статическую апериодическую устойчивость электроэнергетической системы = The study of electronic generation effect on statical aperiodic stability of electrical power system / А. Г. Фишов, И. С. Мурашкина, А. И. Марченко, Э. Эрдэнэбат, Е. С. Ивкин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики = Power engineering: research, equipment, technology. - 2020. - Т. 22, № 2. - С. 51-64.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ФИРМ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

П.П. Муханова, Е.И. Грачева

**Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, muhanova-polina@mail.ru**

Цель исследования – определить технические характеристики и критерии выбора параметров эффективности функционирования низковольтных электрических аппаратов различных фирм-производителей. В статье рассмотрены отечественные и зарубежные заводы-изготовители автоматических выключателей, произведено сравнение их по номинальному току, коммутационной износостойкости и стоимости.

The purpose of the research is to consider the technical characteristics and parameters for choosing the efficiency of the functioning of low-voltage electrical devices from various manufacturers. In the article, domestic and foreign manufacturers of circuit breakers are compared with their rated current, switching durability and cost.

Низковольтные коммутационные аппараты являются одним из основных средств электрификации и автоматизации промышленного производства и технологических процессов. Практически вся электроэнергия (после возможных ее преобразований) распределяется и доводится непосредственно до потребителя с помощью низковольтных аппаратов.

Коммутационные аппараты предназначены для формирования схем питания электроприемников, выполнения защитных функций при аварийных ситуациях. Таким образом, низковольтные аппараты являются важнейшей частью практически всех объектов электроснабжения промышленности и быта. В связи с этим предъявляются соответствующие требования к их характеристикам и качеству.

В данной работе рассмотрим зарубежные и отечественные фирмы-производители автоматических выключателей, сравним модели с аналогичными характеристиками по ценовой категории. Результаты исследований сведём в таблицу 1 и таблицу 2.

Таблица 1 – Автоматические выключатели зарубежных заводов-изготовителей

Производитель	Модель	Номинальный ток, I_n , А	Мех./ эл. износостойкость, циклов	Стоимость, руб.
Schneider electric	C60H-DC	6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63;	10000/4000	2704-3986
Legrand	ТХ ³ 6000	6; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	10000/4000	264-471
ABB	S201M	0,5; 1; 1,6; 2; 3; 4; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	20000/10000	2051-3343
CHINT	DZ47-60	1-6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	10000/4000	181-208

Таблица 2 - Отечественные автоматические выключатели

Производитель	Модель	Номинальный ток, I_n , А	Мех./ эл. износостойкость, циклов	Стоимость, руб.
Контактор	ВА47-063Про	1; 2; 3; 4; 6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	10000/4000	365-559
IEK	ВА47-29	0,5; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	20000/6000	116-208
DEKraft	BA-101	1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	25000/6000	119-161

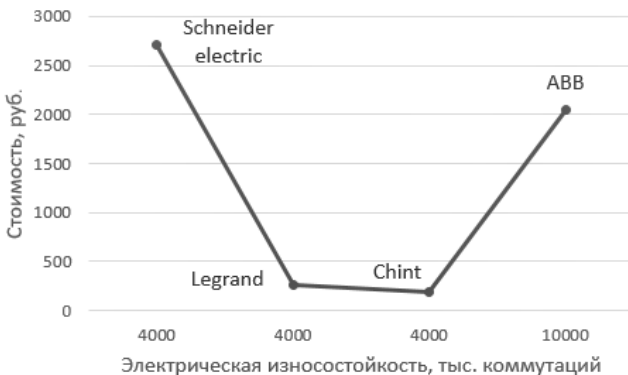


Рис. 1 - Автоматические выключатели зарубежных заводов-изготовителей

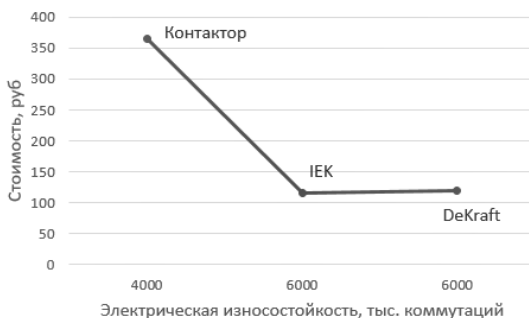


Рис. 2 – Отечественные автоматические выключатели

Щит станции управления с дополнительным блоком для аппарата защиты, в котором устанавливается автоматический выключатель в соответствии с техническими характеристиками двигателя. Например, такие автоматические выключатели, как Schneider electric, Legrand, ABB, DEKraft, IEK и т.д. с номинальным током $I_{ном} = 6$ А.

В результате исследования технических характеристик низковольтных коммутационных аппаратов установлено, что автоматические выключатели, имеющие наибольшую стоимость, наряду с этим обладают лучшей механической и электрической износостойкостью. Например, выключатель АBB марки S201M имеет электрическую износостойкость 10000 циклов, тогда как выключатель CHINT марки DZ47-60 ограничивается 4000 циклов. Стоимость S201M на 1033 % выше стоимости DZ47-60. Таким образом, мы видим, что разница в цене вполне оправдана.

Литература:

1. Грачёва Е.И. Анализ параметрической надёжности электрических контактов: монография. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2012. – 144 с.
2. Шагидуллина А.В., Грачева Е.И. Сравнительное исследование эксплуатационных характеристик низковольтных аппаратов // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2011. №1-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnoe-issledovanie-ekspluatatsionnyh-harakteristik-nizkovoltnyh-appartov> (дата обращения: 23.10.2020).
3. Грачева Е. И., Садыков Р. Р., Хуснутдинов Р. Р., Абдуллазянов Р. Э. Исследование параметров надёжности низковольтных коммутационных аппаратов по эксплуатационным данным промышленных предприятий // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2019. №1-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-parametrov-nadezhnosti-nizkovoltnyh-kommutatsionnyh-apparatov-po-ekspluatatsionnym-dannym-promyshlennyh-predpriyatii> (дата обращения: 25.10.2020).

КАБЕЛЬ КАК ЦЕПЬ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

А.А. Правикова

**Научно-исследовательский институт автоматики и электромеханики
Томского государственного университета систем управления и
радиоэлектроники,
г. Томск, bezruchenko@niiiaem.tomsk.ru**

Рассматривается волновой эффект в кабель-тросе системы электропитания телеуправляемого подводного аппарата. Задано условие представления цепи как длинной линии и методика расчета токов и напряжений в любой точке линии. Исследован характер изменения напряжения вдоль кабель-троса.

In this paper, the wave effect in a rope-cable of a power supply for a remotely controlled underwater vehicle is considered. A condition that allows considering the rope-cable as a distributed parameter line is stated. A method of current and voltage calculation in any point of the line is given. The character of the voltage change along the rope-cable is investigated.

В настоящее время создание современных глубоководных телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА) для выполнения различного вида работ на морском дне является актуальной задачей, как для разработчиков аппаратов, так и для специалистов в области силовой электроники, которые занимаются проектированием систем электропитания (СЭП) для данных аппаратов. От надёжности функционирования СЭП

зависит качество и полнота выполнения поставленных задач всех систем ТПА.

СЭП ТПА условно состоит из бортовой и подводной частей. Питание бортовой части, расположенной на борту корабля, осуществляется от бортовой трехфазной сети 380 В, 50 Гц. Передача энергии от корабля обеспечения до ТПА осуществляется посредством кабель-троса либо на постоянном, либо на переменном токе. Анализ вариантов построения СЭП [1] показал, что передача энергии на трёхфазном переменном токе повышенной частоты обеспечивает повышение надежности и увеличение удельной мощности СЭП ТПА.

При исследовании электромагнитных процессов, протекающих в СЭП ТПА, кабель-трос чаще всего рассматривается как система с сосредоточенными параметрами, схема замещения которого представлена на рис. 1.

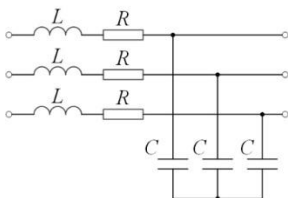


Рис. 1 – Схема замещения трехжильного кабель-троса

Кабель-трос в этом случае представлен параметрами цепи (сопротивлением R , индуктивностью L , емкостью C), которые сосредоточены в определенных участках цепи. Такое допущение чаще всего не приводит к заметным расхождениям в процессе анализа, расчета или моделирования цепи. Однако для ряда случаев такое допущение недостаточно и необходимо учитывать распределенность параметров вдоль линии [2]. Цепь рассматривается в качестве цепи с распределенными параметрами, когда длина волны передаваемого сигнала соизмерима с линейными размерами цепи. При этом если диаметр токопроводящей жилы кабеля пренебрежимо мал по сравнению с его длиной, такую цепь называют длинной линией. [2].

Напряжения и токи в цепях с распределенными параметрами являются функциями двух переменных — пространственной координаты и времени, то есть токи и напряжения непрерывно изменяются вдоль линии.

Практически условием рассмотрения цепи, как длинной линии является выражение [3]: $l \geq (0,01...0,05\lambda)$, где l – длина кабель-троса (в нашем случае 8 км), λ – длина волны, км.

При $f=1$ кГц длина волны составляет $\lambda=300$ км, кабель-трос длиной $l=8$ км рассматривается как цепь с сосредоточенными параметрами.

При $f=10$ кГц длина волны составляет $\lambda=30$ км. Поэтому кабель-трос длиной $l=8$ км представляет собой цепь с распределенными параметрами.

Для однородной линии с распределенными параметрами при установившемся синусоидальном процессе формулы для напряжения и тока в любой точке линии имеют вид [2]:

$$\begin{cases} \dot{I} = \dot{I}_1 \cdot ch\gamma x - \frac{\dot{U}_1}{Z_c} \cdot sh\gamma x \\ \dot{U} = \dot{U}_1 \cdot ch\gamma x - \dot{I}_1 \cdot Z_c \cdot sh\gamma x \end{cases} \quad (1)$$

где \dot{I}_1, \dot{U}_1 – ток и напряжение в начале линии; x – расстояние от начала линии, км; $\gamma = \sqrt{Z_0 \cdot Y_0}$ – коэффициент распространения линии, 1/км; $Z_0 = r_0 + j\omega L_0$, Ом/км; $Y_0 = g_0 + j\omega C_0$, См/км; r_0 – продольное сопротивление линии на единицу длины, Ом/км; g_0 – поперечная проводимость линии, См/км; L_0 – индуктивность линии на единицу длины,

Гн/км; C_0 – емкость линии на единицу длины, Ф/км; $Z_c = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}}$ – волновое (характеристическое) сопротивление, Ом.

При проведении численных экспериментов принимались следующие параметры системы: $f=10$ кГц; $r_0=2,4$ Ом/км; $g_0=5 \cdot 10^{-11}$ См/км; $L_0=0,25$ мГн/км; $C_0=0,15$ мкФ/км; $\dot{U}_1 = 1960 \cdot e^{-j60^\circ}$, В; $\dot{I}_1 = 32 \cdot e^{-j60^\circ}$, А.

На рисунке 2 представлено амплитудное значение напряжения в функции координаты x (расстояния от начала кабеля), рассчитанное по формуле (1).

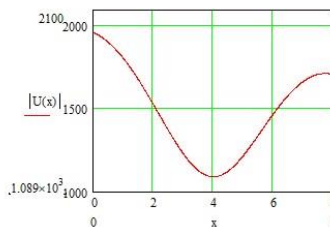


Рис. 2 – Амплитудное значение напряжения в функции расстояния от начала кабеля

Как видно из рисунка 2 напряжение вдоль линии изменяется не линейно, уменьшаясь к середине линии и увеличиваясь в конце. Характер изменения амплитуды напряжения вдоль кабель-троса объясняется возникновением падающих и отраженных волн [2]:

$$\dot{U} = \dot{U}_{\text{опр}} + \dot{U}_{\text{над}} = \dot{A}_1 \cdot e^{\gamma x} + \dot{A}_2 \cdot e^{-\gamma x},$$

где \dot{A}_1 и \dot{A}_2 – постоянные интегрирования, которые определяются из граничных условий, возможно через напряжение и ток в конце линии.

В конце линии $x = l$:

$$\dot{U}_{\text{над}}(x = l) = 0.5 \cdot (\dot{U} + \dot{I} \cdot Z_C) = 1294 \cdot e^{j121^\circ};$$

$$\dot{U}_{\text{опр}}(x = l) = 0.5 \cdot (\dot{U} - \dot{I} \cdot Z_C) = 416 \cdot e^{j126^\circ}.$$

На рисунке 3 представлены графики падающей и отраженной волн напряжения в конце линии, их алгебраическая сумма и напряжение в конце линии, рассчитанное по формуле (1).

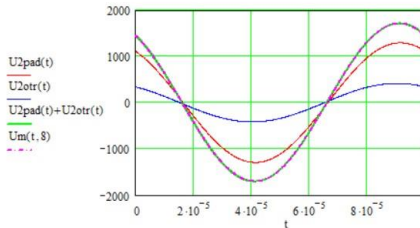


Рис. 3 – Падающая и отраженная волна напряжения в конце линии, их алгебраическая сумма и напряжение в конце линии

Как видно из рисунка 3, напряжение в конце линии, рассчитанное по формуле (1) и алгебраическая сумма падающей и отраженной волн совпадают, что подтверждает правильность расчетов.

Из-за наличия потерь падающая волна затухает к концу линии, а отражённая волна уменьшается в направлении от конца к началу, этим объясняется нелинейный характер изменения амплитуды напряжения вдоль кабеля.

Проведенные исследования позволяют учитывать эффект длинной линии в кабель-тросе и применять приведенные методы для расчета систем электропитания в случае передачи энергии по кабель-тросу. Исследования были проведены для частоты 10кГц.

Работа выполнялась в рамках проекта FEWM-2020-0046 «Фундаментальные основы и методология создания высокоэффективного энерго-

преобразования для систем космического и морского назначения на базе интеллектуальных силовых модулей сверхвысокой степени интеграции».

Литература:

1. Мишин В.Н., Пчельников В.А., Рулевский В.М. Системы электропитания телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов мощностью свыше 10кВт // Силовая электроника и электроэнергетика. – 2013. – Спец.выпуск, Т.1, №8 (114). – С. 17–22.
2. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. В 2 ч. Ч.1. – Л.: Энергия, 1967. – 517 с.
3. Черкашин М.В., Бабак Л.И. Линии передачи и согласующие цепи для СВЧ МИС: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2015. – 54 с.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ДИНАМИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ СКАЧКАХ ТОКОВ В ИНДУКТИВНОСТЯХ

А.В. Прокопов, В.М. Лесс

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, saspro684@gmail.com**

Рассматривается альтернативный подход к решению переходного процесса в линейных динамических цепях с некорректными начальными условиями. Основная идея такого подхода заключается в приведении цепи к режиму работы, удовлетворяющему первому закону коммутации – равенства тока и магнитного потока в момент коммутации, которыми они обладали до коммутации.

An alternative approach to solving the transient process in linear dynamic circuits with incorrect initial conditions is considered. The main idea of this approach is to bring the circuit to a mode of operation that satisfies the first law of commutation - the equality of current and magnetic flux at the moment of commutation, which they had before commutation.

Расчет динамических режимов в устройствах электротехники всегда остается достаточно трудоемким процессом их анализа [1–3]. Аналогичные сложности возникают при анализе динамических цепей в переходных режимах [4–7].

При исследовании динамических цепей с индуктивными элементами применяется первый закон коммутации [8, 9]. Закон коммутации гласит, что в любой ветви с индуктивностью ток и магнитный поток в момент коммутации сохраняют свои значения, которыми они обладали перед коммутацией.

Однако существуют такие цепи и режимы их работы, для которых режимы коммутации не соблюдаются. Примером подобных режимов являются процессы отключения ветвей в некорректных цепях с индуктивными элементами.

Некорректные начальные условия возникают при таком представлении устройств, в результате которого образуются цепи, которые после коммутации начинают содержать последовательное соединение нескольких катушек. В данном случае нельзя применить классическую формулировку первого закона коммутации цепей с индуктивными элементами, а необходимо использовать обобщенный закон коммутации цепей.

На рис.1 представлена электрическая цепь первого порядка. Данная цепь является наглядным примером существования некорректных начальных условий. Как видно из схемы, при размыкании ключа Кл индуктивные элементы L_1 и L_2 становятся последовательно. В связи с этим через индуктивные элементы протекает один и тот же ток. Вследствие этого ток в индуктивностях после размыкания ключа изменится скачком, что противоречит первому закону коммутации.

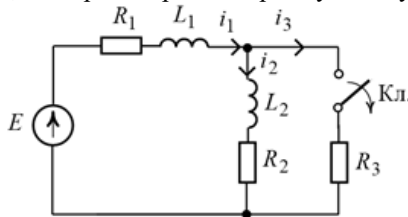


Рис. 1. Электрическая цепь с некорректными начальными условиями

В качестве примера, зададимся следующими параметрами для электрической цепи:

$$U = 220 \text{ В} \quad L_1 = 2 \text{ мГн}$$

$$r_1 = 10 \text{ Ом} \quad L_2 = 3 \text{ мГн}$$

$$r_2 = 20 \text{ Ом}$$

$$r_3 = 15 \text{ Ом}$$

Схему на рис.1 необходимо исследовать, применяя обобщенный закон коммутации. Используя эти параметры получаем, что зависимость изменения тока от времени на обоих элементах индуктивности имеет вид, представленный на рис. 2.

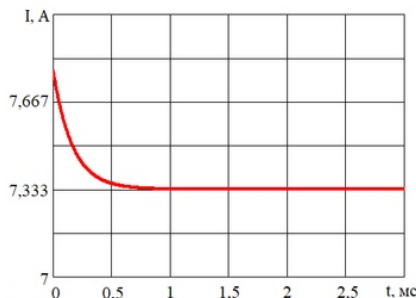


Рис. 2. График тока, полученного через обобщенный закон коммутации

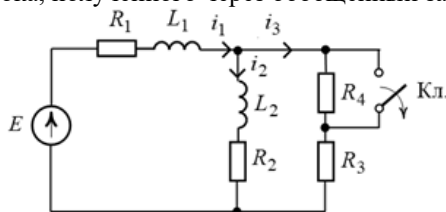


Рис. 3. Схема электрической цепи второго порядка

Сутью нового подхода заключается в введении дополнительного сопротивления R_4 параллельно ключу Кл (рис. 3). Ввиду того, что значение сопротивления R_4 относительно велико, по отношению к сопротивлениям всей цепи, то после коммутации, ток, протекающий через искусственно созданную ветвь будет достаточно мал. Величина тока может отличаться на несколько порядков. Таким образом, включение высокоомного сопротивления будет имитировать разрыв в цепи. Следует заметить, что при использовании предлагаемого подхода, электрическую цепь следует рассматривать как цепь второго порядка (рис. 3). Индуктивные элементы на момент коммутации сохраняют значения токов, следовательно, выполняется первый закон коммутации.

Вследствие большой величины сопротивления, что ток протекающий через сопротивление R_4 относительно небольшой и значительно не влияет на общее токораспределение в цепи соответствующей рис. 1. Таким образом, можно утверждать, что ток i_1 приблизительно равен току i_2 .

На рис. 4 представлена зависимость изменения тока i_1 от времени его протекания. Для вычислений, дополнительное сопротивление при-

нимается равным $R_4 = 1$ МОм, а остальные параметры – как в предыдущем методе.

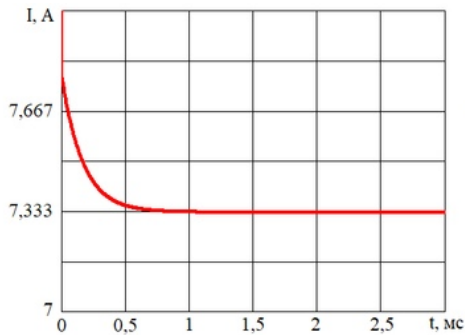


Рис. 4. График тока, полученного через следствие обобщенного закона коммутации

Исследования, проведенные в данной работе, позволили продемонстрировать применимость метода дополнительного сопротивления при решении динамических процессов в линейных электрических цепях.

По причине того, что графики в обоих методах идентичны, можно утверждать, что предлагаемый метод решения, т.е. метод добавления в схему дополнительного сопротивления, может использоваться при анализе динамических процессах в линейных электрических цепях с некорректными начальными условиями.

Следует обратить внимание, что при решении возникает некая погрешность, ввиду того, что дополнительное сопротивление лишь имитирует разрыв цепи, поэтому ток в ветви все-таки протекает. Но его значение настолько мало, что им можно пренебречь. Таким образом, точность расчёта увеличивается с увеличением значения сопротивления.

Литература:

1. Нейман Л.А. Моделирование процессов в электромагнитном вибраторном преобразователе с потерями энергии в магнитопроводе / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2016. – Т. 19. – № 1. – С. 73–78.
2. Нейман Л.А. Расчет динамики электромагнитного привода колебательного движения с однополупериодным выпрямителем / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Вестник МЭИ. – 2016. – № 6. – С. 64–71.

3. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Моделирование динамических процессов в электромагнитных преобразователях энергии для систем генерирования силовых воздействий и низкочастотных вибраций / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2015. – Т. 326. – № 4. – С. 154–162.

4. Лесс В.М. Совершенствование подходов при расчете динамических цепей с нулевыми начальными условиями / В.М. Лесс, А.В. Прокопов, В.Ю. Нейман // Сборник научных трудов в 9 ч. – 2019. – С. 50–53.

5. Прокопов А.В. Исследование переходных процессов в сложных цепях высокого порядка при нулевых начальных условиях / А.В. Прокопов, В.М. Лесс // Вестник современных исследований. – 2019. – № 3-13. – С. 151–160.

6. Прокопов А.В. Анализ переходных процессов в цепях высокого порядка методами структурного моделирования в Matlab Simulink / А.В. Прокопов, В.М. Лесс, В.Ю. Нейман // Сборник научных трудов в 9 ч. – 2019. – С. 75–78.

7. Лесс В.М. Сравнение подходов к анализу динамических цепей с ненулевыми начальными условиями методами структурного моделирования / В.М. Лесс, А.В. Прокопов, В.Ю. Нейман // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2019. – №2 (95). – С. 35–49.

8. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 2000. – 638 с.

9. Малинин Л.И. Теория цепей современной электротехники / Л.И. Малинин, В.Ю. Нейман // Новосиб.: НГТУ, 2013. – 348 с.

РАСЧЕТ ИНДИКАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РАЗВИТИЕМ СЕТЕЙ

И.А. Сабадаш, Л.С. Мышкина, Ю.В. Какоша
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, inna_sabadash@mail.ru

С целью повышения обоснованности проектных решений для распределительной сети 0,4-10 кВ разработана и апробирована методика, позволяющая рассчитывать прогнозные значения показателей SAIDI и SAIFI, применяемые при установлении долгосрочных тарифов, на стадии управления развитием распределительной сети.

In order to improve the feasibility of design solutions for a 0.4-10 kV distribution network, a method was developed and tested to calculate the forecast values of SAIDI

and SAIFI indicators used in setting long-term tariffs at the stage of managing the development of the distribution network.

Введение

Распределительные сети в наибольшей степени влияют на бесперебойность электроснабжения потребителей. Для повышения обоснованности принимаемых на этапе проектирования решений, целесообразен учет прогнозных индикативных показателей надежности: SAIDI, SAIFI, так как данные показатели влияют на экономическую эффективность территориальных сетевых компаний. Однако, отсутствуют необходимые для этого методики.

Процесс определения индикативных показателей надежности SAIDI, SAIFI, путем представления распределительной сети схемой замещения с позиций надежности, применяемый в предыдущих исследованиях [1], довольно длительный и трудоемкий. Методика [2], утвержденная Минэнерго России от 19.02.2019 менее трудоемка, однако она распространяется на группы электрооборудования и сооружения объектов электроэнергетики, не включающие сеть 0,4-10 кВ. А специализированные программные комплексы, к примеру, ETAP, PowerFactory, позволяющие произвести расчет индикативных показателей, достаточно дорогостоящие и требуют определенных навыков и компетенций в их использовании.

Следовательно, актуальным становится разработка дополнений к существующим методикам для определения прогнозных индикативных показателей бесперебойности электроснабжения с учетом сетей среднего и низкого напряжения.

Цель работы: разработать методику расчета прогнозных значений показателей бесперебойности электроснабжения, учитывающих схемно-режимные изменения участка распределительной сети 10 кВ (УРС) на стадии управления развитием распределительной сети.

Поставленные задачи: предложить методику для расчета обобщенного индекса технического состояния сети СН и НН; рассчитать прогнозные индикативные показатели бесперебойности электроснабжения; осуществить апробацию разработанной методики на примере УРС.

1. Оценка обобщенного индекса технического состояния элементов распределительной сети

Одним из дополнений существующей методики является расчет ИТС не каждой единицы оборудования в отдельности, а определение обобщенного ИТС для групп оборудования (элементов) распределительной сети.

Для анализируемой сети основным оборудованием является силовой трансформатор, кабельная линия, масляный выключатель.

В табл.1 представлены основные функциональные узлы (ФУ) элементов, выделенных в рамках данной работы.

Таблица 1 - ФУ рассматриваемых элементов сети

Объект	ТР	КЛ	Выключатель
ФУ	изоляция система	вспомогательное оборудование	привод
	обмотки трансформатора		дугогасящая камера
	магнитопровод	концевые и соединительные муфты	контактная система
	высоковольтный ввод		
система регулирования напряжения	силовой кабель		

Весовые коэффициенты ФУ, участвующие в расчете обобщенного ИТС, определяются на основе экспертных оценок и статистических данных о технологических нарушениях, обусловленных отказом ФУ, соответствующих данному элементу. Итоговая балльная оценка определена методом экспертных оценок и методом Саати [3] с введением коэффициентов, отражающих компетентность экспертов. Экспертные оценки должны быть составлены для каждого анализируемого участка распределительной сети с учетом ее особенностей. Балльная оценка ФУ элемента сети, умноженная на вес ФУ, позволяет получить обобщенный ИТС.

II. Расчет прогнозных SAIDI и SAIFI

Предлагаемой методикой предусматривается корректировка определения интенсивности отказов элемента распределительной сети, которая определяется исходя из отношения требуемого и текущего значений обобщенного индекса технического состояния:

$$\lambda_i = \lambda_H \cdot \left(\frac{ИТС_0^{ТРЕБ}}{ИТС_0^{ТЕК}} \right), \quad (1)$$

где λ_H –интенсивность отказов элемента системы электроснабжения (СЭС) [4], $ИТС_0^{ТРЕБ}$ - требуемое значение обобщенного ИТС, в исследовании $ИТС_0^{ТРЕБ}$ принят равным 85 баллам для ТР, 75 баллам для КЛ и 90 баллам для выключателей, так как соответствует периоду приработки; $ИТС_0^{ТЕК}$ – обобщенный ИТС элемента распределительной сети в фактических условиях эксплуатации.

Время нахождения в неработоспособном состоянии элемента СЭС:

$$T_i = \lambda_i \cdot t_B \quad (2)$$

где t_B - время восстановления в рабочее состояние i-ого элемента СЭС.

Прогноз средней продолжительности прекращения передачи электрической энергии на точку поставки ТСО (SAIDI):

$$SAIDI_{\Pi} = SAIDI_T - \left[\left(\frac{\sum T_i \times N_i}{N_{max}} \right)^T - \left(\frac{\sum T_i \times N_i}{N_{max}} \right)^{\Pi} \right], \quad (3)$$

Прогноз средней частоты прекращений передачи электрической энергии на точку поставки ТСО (SAIFI):

$$SAIFI_{\Pi} = SAIFI_T - \left[\left(\frac{\sum \lambda_i \times N_i}{N_{max}} \right)^T - \left(\frac{\sum \lambda_i \times N_i}{N_{max}} \right)^{\Pi} \right], \quad (4)$$

где Т, П – индексация текущего и прогнозного состояний СЭС, соответственно; N_i – количество точек поставки, отключаемых в результате технологического нарушения из-за отказа i -ого критического элемента СЭС, шт; N_{max} – количество точек поставки в СЭС, шт.

Критическим элементом СЭС в методике является элемент, при отказе которого наблюдается наибольшее количество отключаемых точек присоединения, определяемый при помощи моделирования отказов элемента с контролем установившегося электрического режима и фиксации отключаемых узлов в ПВК «RastrWin3».

III. Пример апробации методики

Индикативные показатели надежности электроснабжения определены для участка распределительной сети 10 кВ. Структура нагрузки - преимущественно бытовое потребление с небольшой долей производственных предприятий связанных со сферой услуг. Суммарное количество точек поставки в анализируемом районе – 108, мощность присоединенной нагрузки - 9, 42 МВт. В результате анализа структурной и функциональной надежности сети в ПВК ЕТАР определены значения показателей бесперебойности текущего состояние анализируемой СЭС (табл.2). В результате анализа установившегося режима был выявлен критический элемент и принято решение о его резервировании, путем присоединения малой распределенной генерации с созданием на ее основе сбалансированной локальной системы электроснабжения.

В табл.2 показано сопоставление показателей, полученных с применение предложенной авторами методикой, с результатами расчетов в ПВК ЕТАР.

Таблица 2 - Рассчитанные прогнозные показатели

Показатель	Методика	ПВК ЕТАР	Отклонение, %
SAIDI, ч	2,3651	2,3632	0,1
SAIFI, год ⁻¹	0,2211	0,2076	5,0

Выводы

Для повышения обоснованности проектных решений для распределительной сети 10 кВ и ниже разработана методика, позволяющая рассчитывать прогнозные значения показателей SAIDI и SAIFI при проек-

тировании развития распределительной сети, которая может служить дополнением действующей методики Минэнерго России.

Предлагается применение обобщенных индексов технических состояния элементов распределительной сети и их взаимосвязь с прогнозными значениями индикативных показателей. На примере участка распределительной сети выполнена апробация методики. Произведена валидация разработанной методики путем сопоставления результатов с результатами, полученными в верифицированном ПВК ЕТАР, отклонения не превысили 5 %.

Работа выполнена при поддержке Новосибирского государственного технического университета (проект С20-16).

Литература:

1. *Byk F.L, Myshkina L.S., Sabadash I.A.* Features of the functional reliability of 0.4-10 kV distribution networks // Energy Systems: 4 intern. sci. and techn. conf., Belgorod, 2019.

2. . Приказ Минэнерго России от 19.02.2019 № 123 «Об утверждении МУ по расчету вероятности отказа функционального узла и единицы основного технологического оборудования» – М., 2019. – 35 с.

3. *Saati T.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

4. *Васильев А.П.* Методы и средства обеспечения надежностью и безопасностью эл. сетей и установок ЭЭС. СПб.: Изд-во Политехн. Унта, 2014. 454 с.

РАСЧЕТ ОЦЕНКИ МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

С.А. Саидов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, st06798_1992@mail.ru**

В статье рассматривается оценка мощности асинхронного двигателя с помощью искусственных нейронных сетей. При обучении сети использованы данные полученные путем экспериментального исследования.

The article deals with the estimation of asynchronous motor power using artificial neural networks. When training the network we use data obtained by experimental research.

Введение

В последние годы наблюдается повышенный интерес к нейронным сетям, которые нашли применение в самых различных областях человеческой деятельности – бизнесе, медицине, технике. Нейронные сети используются при решении задач прогнозирования, классификации, управлении и оценке [1,2]. Нейронные сети обучаются выполнять сложные функции в различных областях, включая распознавание образов, идентификацию, классификацию объектов, распознавание речи, системы технического зрения и системы управления. В этих случаях применяются достаточно простые нейронные сети, но даже они оказываются мощным инструментом в арсенале специалиста. Сегодня могут быть построены искусственные нейронные сети для решения таких задач, которые являются трудными как для компьютеров, построенных по традиционной схеме, так и для человека. Нейронные сети – это исключительный мощный метод имитации процессов и явлений, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости. Нейронные сети по своей природе являются нелинейными, в то время как на протяжении многих лет для построения моделей использовался линейный подход. Кроме того, во многих случаях нейронные сети позволяют преодолеть "проклятие размерности", обусловленное тем, что моделирование нелинейных явлений в случае большого числа переменных требует огромного количества вычислительных ресурсов. Другая особенность нейронных сетей связана с тем, что они используют механизм обучения. Пользователь нейронной сети подбирает представительные данные, а затем запускает алгоритм обучения, который автоматически настраивает параметры сети. При этом от пользователя, конечно, требуется какой-то набор эвристических знаний о том, как следует отбирать и подготавливать данные, выбирать нужную архитектуру сети и интерпретировать результаты, однако уровень знаний, необходимый для успешного применения нейронных сетей, гораздо скромнее, чем, например, при использовании традиционных методов.

В этой статье рассмотрим оценку мощности асинхронного двигателя с помощью искусственных нейронных сетей. При обучении сети используем данные полученные путем экспериментального исследования.

Семейство программных пакетов Neural Network Toolbox служит средством, которое помогает пользователям развивать методы проектирования и расширять область применения нейронных сетей. Данная область исследований характеризуется значительной новизной, при проектировании систем управление с помощью программа MATLAB.

Код программа для построения сети.

```
net=newff(minmax(S1),[9 1],{'logsig','purelin'}, 'trainlm');
```

```

net.trainParam.epochs=500;
net.trainParam.show=100;
net.trainParam.goal=0.00001;
[net,tr]=train(net,S1,M);
gensim(net);

```

Для оценки момента двигателя построили трехслойную нейронную сеть; первый слой – 4 нейрона с единичной линейной функцией активации, второй слой – 9 нейронов с функцией активации *logsig*; третий слой – 1 нейрон с функцией активации *purelin* (рис. 1).

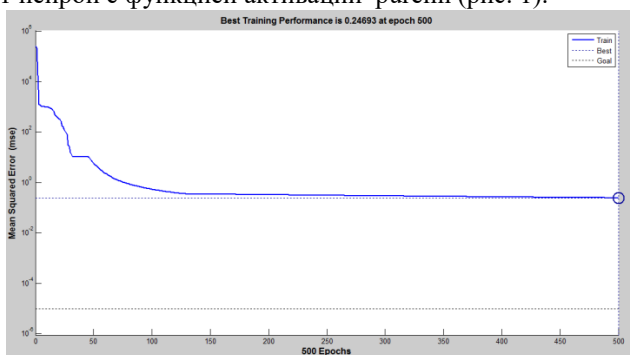


Рис. 1 - Изменения ошибки обучения в зависимости от числа выполненных циклов обучения

Проводилась оценка мощности асинхронного двигателя с частотным управлением (Рис 2).

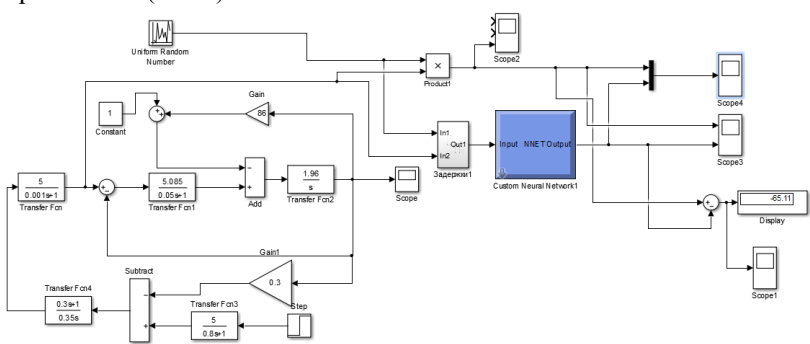


Рис. 2 - Модель система ПЧ - АД с ИНС

Как показывает рисунок 3, нейронные сети справляются с поставленной задачей, что доказывает целесообразность использование нейронной сети при построении систем управления электропривода.

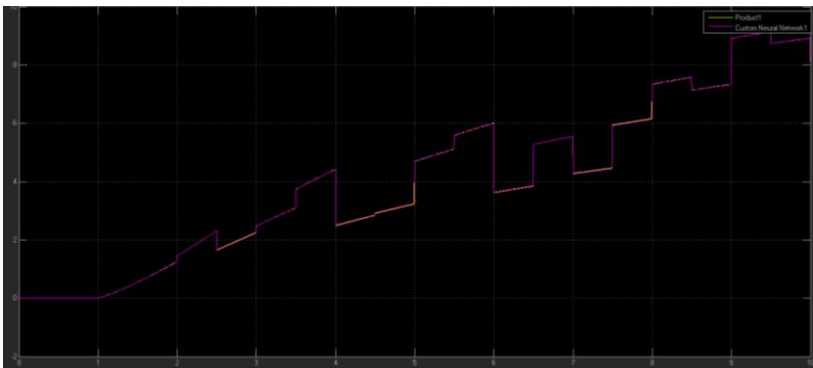


Рис. 3 - Сравнение мощность асинхронного двигателя с выхода ИНС

Заключение

Таким образом, было доказано эффективность использования искусственных нейронных сетей в системах управления для задачи оценки, прогнозирования и сравнения.

Литература:

1. В.Н. Аносов, С.А. Саидов, М.В. Ярославцев. Обоснование выбора алгоритмов управления гибридной силовой установкой безрельсового транспортного средства // АИМЕ 2017. - 2017. – С. 715-719.
2. Расчет оценки мощности тягового электропривода с помощью искусственных нейронных сетей / В. Н. Аносов, Е. О. Орел, С. А. Саидов, М. В. Ярославцев // Электропитание. - 2019. – № 4. – С. 42–50.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ И УРОВНЯМИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ РАЙОНАХ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Е.Ю. Сапцына, Р.Б. Абеуов
Национальный исследовательский Томский
политехнический университет,
г. Томск, lizoksu@gmail.com

В работе рассматриваются вопросы централизованного управления реактивной мощностью и уровнями напряжения в электросетевых районах для оптимизации потерь электрической энергии и уменьшения загрузки сетевых элементов по току.

The project considers the issues of centralized control of reactive power and voltage levels in electric grid areas to optimize the loss of electrical energy and reduce the load of network elements by current.

В настоящее время в электроэнергетике предъявляются высокие требования к повышению качества и снижению потерь электрической энергии в электрических сетях. Решение этих задач может быть достигнуто за счет совершенствования систем управления реактивной мощностью и уровнями напряжения в энергосистемах (ЭС).

Развитие современных систем управления реактивной мощностью и уровнями напряжения в ЭС должно основываться на широком применении принципов централизованного автоматического управления, что требует разработки эффективных алгоритмов управления [1].

Предлагаемый алгоритм централизованного управления реактивной мощностью и уровнями напряжения направлен на решение задач по оптимизации потерь электрической энергии в нормальных установившихся режимах энергосистемы и на снижение токовой загрузки электросетевых элементов до допустимых значений в послеаварийных режимах работы ЭС.

Началом алгоритма является измерение текущих параметров режима энергосистемы. К таким параметрам относятся напряжения на шинах подстанций (ПС), на которых непосредственно осуществляется регулирование реактивной мощности, и рабочие токи контролируемых элементов электрической сети. Эти параметры являются основополагающими для выбора решения алгоритма.

На первом шаге алгоритма, посредством измерений, осуществляется сравнение текущих рабочих токов с длительно допустимыми токами контролируемых элементов электросетевого района. Данный шаг алгоритма имеет два альтернативных исхода и подразумевает выбор только одного из них. Если текущее значение рабочего тока равно или превышает длительно допустимое значение, то дальнейшее действие алгоритма направлено на снижение токовой загрузки электросетевых элементов. Если ток не превышает длительно допустимого значения, то действие алгоритма направлено на снижение потерь мощности в электросетевом районе.

Для каждого исхода необходимо определить требуемое значение напряжения на шинах ПС либо по условию наименьшей загрузки электросетевых элементов по току, либо по условию наименьших потерь в электросетевом районе. Требуемое значение напряжения определяется на базе предварительно проведенных расчётов режимов ЭС.

На основании требуемого значения напряжения производится расчет величины реактивной мощности, которую должны выдавать устройства

компенсации реактивной мощности (УКРМ) для обеспечения требуемого уровня напряжения на шинах ПС. Расчет реактивной мощности осуществляется по выражению:

$$Q_c = B_c \cdot U_{\min I / \min \Delta P}^2,$$

где B_c – шунт проводимости УКРМ;

$U_{\min I}$ – требуемое значение напряжения по условию наименьшей загрузки электросетевых элементов по току;

$U_{\min \Delta P}$ – требуемое значение напряжения по условию наименьших потерь в электросетевом районе.

На основании рассчитанного значения реактивной мощности формируются управляющие воздействия для УКРМ, их дозировка, а также осуществляется реализация этих управляющих воздействий.

Следующий шаг алгоритма является проверочным, вновь осуществляется сравнение измеренных значений рабочих токов с длительно допустимыми значениями. Если протекающий в настоящий момент рабочий ток не превышает длительно допустимого значения, то цикл алгоритма считается завершенным, происходит возврат в начало алгоритма. Если значение тока равно или превышает длительно допустимое значение, то алгоритм запускает работу автоматики ограничения перегрузки оборудования (АОПО), которая в свою очередь выполняет доразгрузку электросетевого оборудования по току, посредством отключения нагрузки.

Схема алгоритма представлена на рисунке 1.

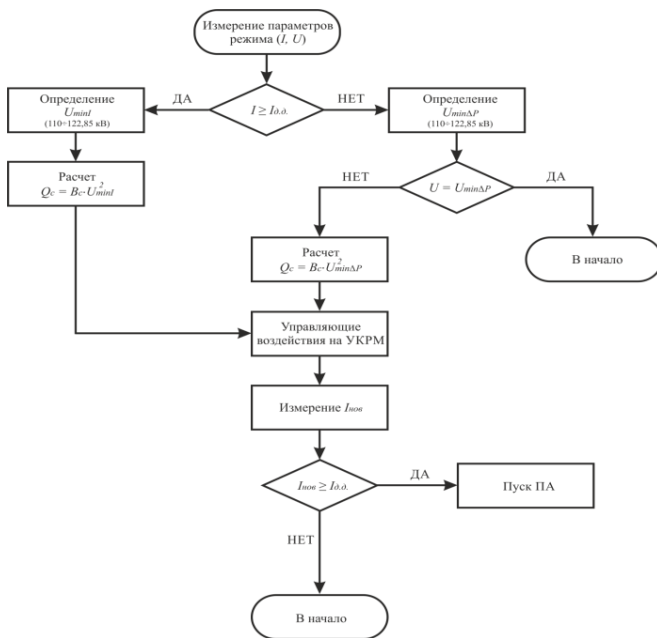


Рис. 1 – Алгоритм централизованного управления реактивной мощностью и уровнями напряжения

Узлы электрической сети, в которых должны осуществляться измерения режимных параметров, необходимых для действия алгоритма централизованного управления реактивной мощностью и уровнями напряжения, определяются на основании предварительно произведенных расчетов установившихся режимов.

Разработанный алгоритм представляет собой процесс последовательных шагов направленных на решение задач по снижению потерь мощности в электрической сети и снижению загрузки сетевых элементов по току. Моделирование алгоритма централизованного управления реактивной мощностью и уровнями напряжения выполнялось для радиальной и замкнутой электрических сетей, и показало положительный результат.

Литература:

1. Воронин В., Гаджиев М., Шамонов Р. Направления развития системы регулирования напряжения и реактивной мощности в ЕНЭС// Электроэнергия. Передача и распределение. – №2 – 2012.

ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Г.С. Сафронов, М.О. Прялкин, Б.О. Григоркин
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, s89222877619@yandex.ru

Быстрое восстановление электроснабжения синхронных двигателей (СД) без останковки технологических линий возможно с помощью синфазного автоматического включения резервного питания (САВР) методом точной синхронизации на первом повороте напряжений резервного питания и остаточного на выбегающих СД с помощью синхронизаторов (СА). Однако это возможно при использовании быстродействующих и прецизионных устройств. Дан обзор и характеристики технических средств САВР.

Rapid restoration of power supply to synchronous motors (SM) without stopping technological lines is possible with the help of in-phase automatic switching on of backup power (CABR) by the method of accurate synchronization at the first turn of the backup power supply voltages and residual voltages on the run-out SD using synchronizers (SA). However, this is possible when using high-speed and precision devices. An overview and characteristics of the technical means of CAD is given.

На производствах с непрерывным технологическим процессом самозапуск и быстродействующее АВР мощных СД ограничены в применении, т.к. происходит разгрузка агрегатов и гашение поля СД, также необходимо использование быстродействующих выключателей.

Решением может быть использование САВР, технические средства которого должны соответствовать необходимой точности и быстродействию.

На рис. 1 представлена регистрограмма выбега синхронного двигателя СТД-6300. Без токовая пауза в цикле АВР составляет около 450 мс. За это время необходимо выявить аварию с помощью пускового органа (ПО), отключить вводной выключатель, построить прогноз момента включения резервного питания синхронизатором и включить секционный выключатель [1].

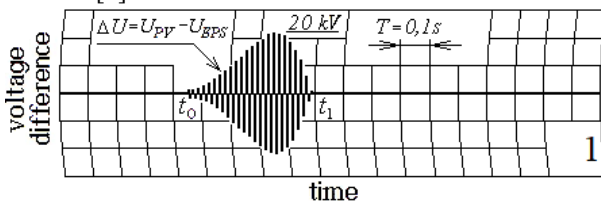


Рис. 1. Напряжение биений ΔU при выбеге двигателя СТД-6300.

Требования к ПО – быстродействие и исключение ложных срабатываний [2]. Он может использовать следующие способы выявления аварий в системе электроснабжения:

- по снижению амплитуды напряжения питания. Эффективен при близких КЗ. Низкое быстродействие при отключении питания из-за медленного снижения остаточного напряжения на выбегающих СД, требует блокировки в случае КЗ в отходящих фидерах;

- По снижению частоты напряжения питания. Изменение частоты при САВР соизмерима с необходимой отстройкой ПО от режимов энергосистемы с дефицитом активной мощности. Низкое быстродействие.

- по разности частот напряжений рабочего и резервного питания. Недостаточное быстродействие, т. к. частота при САВР изменяется незначительно;

- по скорости снижения частоты напряжения питания. Высокое быстродействие по сравнению с предыдущими двумя ПО. Проблемы измерения из-за глубоких посадок, искажений фазы и амплитуды напряжений при близких КЗ, следовательно, отказы и ложные срабатывания [3];

- по увеличению амплитуды тока источника питания. Для выявления близких КЗ. Высокое быстродействие. Требуется блокировка действия в случае пуска СД и КЗ на отходящих фидерах;

- по факту полного сброса тока (активной мощности) источника питания. Не срабатывает при подпитке выбегающих СД от прочей синхронной нагрузки эл. сети. Ложные срабатывания при пуске СД после подачи возбуждения;

- по направлению активной мощности на вводе. Быстродействие при выявлении близких КЗ в питающей сети. Не срабатывает в случае подпитки и пуска СД;

- по факту перехода части СД в генераторный режим. Аналогичен предыдущему ПО. Применяется только для выявления потери питания группы СД, различающихся характеристиками, либо нагрузкой;

- по факту перетока активной мощности от АД к СД. Быстродействие, требуется асинхронная нагрузка. Эффективен при близких авариях. Не исследованы работа при пусках СД;

- по недоотпуску энергии. Измерение недоотпуска эл. энергии и сравнение его с допустимым значением этой величины. Низкое быстродействие из-за необходимости отстройки от режимов пуска СД, качаний синхронной нагрузки вследствие возмущений в энергосистеме;

- по изменению взаимного сопротивления между рабочим и резервным питанием. Быстродействие при близких авариях. Те же недостатки, что и ПО, по направлению активной мощности;

- по изменению порядка чередования фаз напряжений рабочего и резервного питания. При близких продольных несимметриях для выявления выбега СД. Траектории $\delta(t)$ может быть аппроксимирована квадратичной зависимостью и ей свойственны небольшие изменения угла ротора в начале забега СД. Поэтому затраты времени на выявление аварий с помощью данного ПО достигают 70 % от значения ΔT_{ABP} .

- по величине угла между векторами напряжений резервного питания и остаточного на выбегающих СД. Необходимо учитывать возможность сдвига фаз напряжений рабочего и резервного питания в нормальном режиме до 15 эл. град. а также влияние качаний СД на изменение фазы напряжения питания.

Требования к СА – быстродействие и точность синхронизации.

С учетом собственного времени коммутации выключателей рабочего и резервного питания, а также временных затрат на выявление аварии релейной защитой, интервал на определение момента включения с помощью СА может снижаться до трех периодов промышленной частоты. Это повышает требования к быстродействию выполнения экстраполяции функции движения угла ротора. Также для успешности синхронизации и сохранения динамической устойчивости СД необходима точность прогноза момента включения на время срабатывания выключателя резервного питания. Это объясняется большой величиной угловой частоты скольжения при торможении ротора СД и, следовательно, значительной разностью фаз при синхронизации из-за ошибки при включении [4].

В настоящее время на производстве используются СА с постоянным временем опережения: АСТ-4, СА-1, АС-М1, АС-М2, СПРИНТ-М и постоянным углом опережения: УБАС. Последние устройства обладают не приемлемыми при синхронизации СД характеристиками:

- низкой точностью, т.к. время опережения зависит от значения угловой частоты скольжения ωs ;

- ограниченным по величине углом опережения, не более 180 градусов, и поэтому в дальнейшем не рассматриваются.

В СА с постоянным временем опережения используется разложение в ряд Фурье.

В аналоговых синхронизаторах, например, СА-1 при измерении фазометром значения $\delta(t)$ временной интервал, пропорциональный разности фаз, преобразуется в амплитуду напряжения с помощью фильтра Баттерворта нижних частот (ФНЧ) второго порядка.

В момент отключения аварии может произойти резкое изменение фаз измеряемых напряжений. В ФНЧ начнется переходный колебательный процесс. Он усилится в аperiodических звеньях дифференцирующе-

щих цепей, используемых для определения величин ωs и ускорения скольжения a_s , что приводит к ошибкам.

В цифровых синхронизаторах (СПРИНТ-М) разность фаз измеряется дважды за период. Величины ωs и a_s рассчитываются по приращениям текущих значений $\delta(t)$. Однако, механический момент на валу СД может иметь вентиляторную характеристику, что не учитывается этим прибором и ведет к ошибкам.

Литература:

1. Г. Бенмуял, Э. О. Швейцер, Ш, и А. Гусман, «Синхронизированное измерение фазора в защитных реле для защиты, управления и анализа электроэнергетических систем», материалы 29-й ежегодной Западной конференции по реле защиты, Спокан, Вашингтон, октябрь 2002 г.

2. К. Берендт, «Цифровая логическая связь между реле для защиты, мониторинга и управления линиями», материалы 23-й ежегодной Западной конференции по реле защиты, Спокан, Вашингтон, октябрь 1996 г.

3. Р. А. Эванс, «Схема ручной / автоматической синхронизации для генератора с паровой турбиной 37,5 МВА», IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 26, выпуск 6, стр. 1081–1085, ноябрь / декабрь. 1990 г.

4. Л. К. Гросс, Л. С. Андерсон и Р. К. Янг, «Избегайте повреждения генератора и системы из-за медленного синхронизирующего прерывателя», материалы 24-й ежегодной Западной конференции по реле защиты, Спокан, Вашингтон, октябрь 1997.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ИНЕРЦИИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Р.Ю. Степанович, М.Ю. Фролов

**Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, ramaz1211@mail.ru**

Авторами статьи обосновывается актуальность внедрения идентификации параметров элементов сети в эксплуатационных режимах для повышения степени интеллекта системы управления режимом электрической сети. Предложены два метода оперативной идентификации постоянной инерции синхронного генератора.

The authors of the paper substantiate the relevance of introduction identification of network elements parameters in operational modes to increase the degree of control system intelligence for the electric network mode. Two methods for on-line identification the inertia time constant of a synchronous machine are proposed.

Интеллектуализация сети является одной из главных тенденций в управлении энергосистемами в настоящее время. Интеллектуальность энергосистемы подразумевает ее способность адаптировать параметры автоматики и оборудования к текущей режимной ситуации. В рамках этого тренда существуют и разрабатываются различные системы противоаварийной автоматики, позволяющие формировать более адекватный объем управляющих воздействий, выдаваемых автоматикой.

Одним из сдерживающих интеллектуализацию энергосистемы факторов является необходимость быстрого получения точных данных о параметрах системы в ходе процесса ее работы. По различным причинам паспортные данные оборудования недостаточно достоверны для использования в таких системах, а уточнение данных обычными методами накладывает значительные временные и материальные затраты, что противоречит концепции интеллектуальных систем. Поэтому существует потребность создания подсистемы автоматической идентификации параметров включенного в сеть оборудования в рабочем режиме.

Синхронные генераторы (СГ) являются одними из важнейших элементов энергосистемы, поэтому важно иметь точные данные об их параметрах. Одним из таких параметров является постоянная инерции – T_j . Без этого параметра невозможно описание электромеханических переходных процессов, а его знание необходимо для многих типов автоматики, как контролирующей нормальный режим работы энергосистемы, так и проводящих противоаварийное управление. Поэтому в рамках проделанной работы была поставлена задача разработки методов, позволяющих проводить оперативную идентификацию постоянной инерции синхронных генераторов.

В качестве объекта идентификации в данной работе была выбрана модель синхронной машины на основе уравнений Парка-Горева и уравнения движения ротора [1]. Последнее уравнение содержит постоянную инерции и в общем виде может быть записано следующим образом:

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} + K_d \frac{d\delta}{dt} = P_T - P_{эл}, \quad (1)$$

где T_j – постоянная инерции синхронного генератора; δ – угол между вектором ЭДС СГ и вектором напряжения на шинах СГ; K_d – коэффициент демпфирования; P_T – механическая мощность турбины; $P_{эл}$ – синхронная электрическая мощность на шинах СГ. Чаще это уравнение встречается без второго слагаемого в левой части:

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_T - P_{эл} \quad (2)$$

Уравнение (1) необходимо для анализа электромеханического переходного процесса на относительно длинном промежутке времени, где можно отследить затухание колебаний ротора, и будет использоваться в первом из предложенных методов (*Метод 1*). Уравнение (2) будет использовано во втором из предложенных методов (*Метод 2*) для анализа электромеханического переходного процесса на более коротком временном интервале, где нет возможности отследить затухание колебаний ротора.

В рамках *Метода 1* предлагается оценивать T_j по затухающим гармоническим колебаниям. *Метод 1* имеет в своей основе метод малых колебаний, который позволяет оценить статическую устойчивость СГ, для чего проводится линеаризация (1) и решается полученное дифференциальное уравнение [2]. В случае комплексно-сопряженных корней система будет устойчива, а затухающие гармонические колебания будут описываться выражением (3):

$$\Delta\delta(t) = A_0 e^{-\alpha t} \cos(\gamma t + \varphi) \quad (3)$$

где $\Delta\delta$ – изменение (приращение) угла относительно начального значения δ_0 , $\gamma = \frac{1}{T}$ – собственная частота колебаний ротора; $\alpha = \frac{1}{T} \ln\left(\frac{\delta_i - \delta_0}{\delta_{i+1} - \delta_0}\right)$ – логарифмический декремент затухания (Рисунок 1).

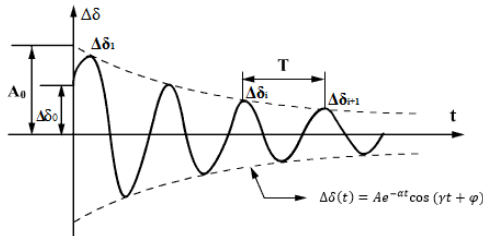


Рис. 1 – Затухающие гармонические колебания

Поскольку параметры переходного процесса связаны с постоянной инерции, то по затухающим гармоническим колебаниям можно определить искомую величину (4):

$$T_j = \frac{C_1}{\alpha^2 + \gamma^2} \quad (4)$$

где C_1 – константа, численно равная производной от активной мощности при угле δ_0 . Эта величина называется синхронизирующей мощностью.

Во втором из предложенных методов (*Метод 2*) определение T_j было проведено с использованием регрессионного анализа, для чего было удобно воспользоваться уравнением движения ротора в форме (2). Обозначив $\Delta P = P_T - P_{эл}$ и $d^2\delta/dt^2 = \delta''$, перепишем (2):

$$T_j \delta'' = \Delta P \quad (5)$$

Значения δ'' и ΔP определяются по датчику скорости ротора и измерениям токов и напряжений в фазах статора соответственно, причем в расчете ΔP полагается, что в переходном режиме $P_T = const$. Применив метод наименьших квадратов, можно найти наиболее достоверную линейную функцию $\Delta P = T_j \delta''$ с угловым коэффициентом T_j . Определение этого коэффициента и означает нахождение постоянной инерции. Тогда расчетное выражение для нахождения T_j :

$$T_j = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i \cdot \delta_i''}{\sum_{i=1}^n (\delta_i''^2)} \quad (6)$$

Для проверки работоспособности предложенных методов были собраны цифровая модель в Matlab Simulink (Рисунок 2) и физическая модель на базе электродинамической модели НГТУ по одномашинной схеме. В качестве возмущения выступало отключение и повторное включение линии, связывающей СГ с мощным источником напряжения. Результаты исследования методов представлены в таблице 1.

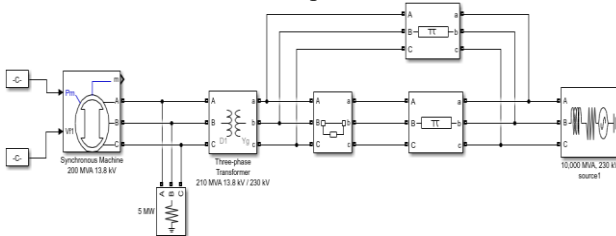


Рис. 2 – Силловая часть цифровой модели в ПК Matlab Simulink

Таблица 1 – Результаты тестирования методов на моделях

Метод	Цифровая модель			Физическая модель
	Заданное значение T_j (с)	Расчетное значение T_j (с)	Погрешность, %	Расчетное значение T_j (с)
Метод 1	6,4	7,03	9,8	7,08
Метод 2	6,4	6,39	0,16	6,32

В паспортных данных синхронной машины, использовавшейся в физическом моделировании, указано значение $T_j = 5,5$ с. Оба метода дали оценку T_j на 15...30 % больше 5,5 с, что выглядит правдоподобно в виду наличия приводной машины, паспортные данные которой утеряны.

Таким образом, разработаны два метода, позволяющие оценить инерционность всего генераторного агрегата. Достоинством данных методов является возможность их применения в эксплуатационном режиме без проведения специальных экспериментов.

Дальнейшие усилия будут направлены на создание программы, позволяющей автоматически определять параметры СГ в рабочем режиме [3]. Кроме того, в задаче идентификации генератора планируется уход от использования датчика скорости в виду нерациональности их применения в массовом порядке.

Литература:

1. Жданов, П. С. Вопросы устойчивости электрических систем/ П. С. Жданов. – М.: Энергия, 1979. – 456 с.

2. Хрущев Ю. В., Заповедников К. И., Юшков А. Ю. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических сетях: учебное пособие / Ю. В. Хрущев, К. И. Заповедников, А. Ю. Юшков; ТПУ. – Томск: Изд-во ТГУ, 2012. – 160 с.

3. Фролов, М. Ю. Идентификация электрических параметров синхронных машин в возмущённых режимах / М. Ю. Фролов, А. Г. Фишов // Известия НТЦ Единой энергетической системы. - 2017. – № 2 (77). – С. 54-63

РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УЗБЕКИСТАНЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

У.Т. Тошматов, А.П. Долгов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, akramjonakramov44@gmail.com**

Энергетика Узбекистана имеет большой потенциал развития. Рассмотрены варианты практической реализации этого потенциала. Наиболее перспективными является солнечная энергия, энергия ветра, геотермальные источники. В то же время существует проблема износа устаревшего оборудования электрических станций и сетей.

Uzbekistan's energy sector has a great potential for development. Options for practical implementation of this potential are considered. The most promising are

solar energy, wind energy, and geothermal sources. At the same time, there is a problem of wear and tear of outdated equipment of power stations and networks

Развитие использования возобновляемой энергии (ВИЭ) в Узбекистане (солнечная энергия, энергия ветра и биогаза, гидроэнергетика малых естественных и искусственных водотоков) и повышение энергоэффективности являются предметом давней заботы общества. В долгосрочной перспективе использование возобновляемых источников энергии для развития Узбекистана очевидно и необходимо для обеспечения энергетической, экологической и экономической безопасности, а также для обеспечения устойчивого развития энергетического сектора республики и сохранения природных ресурсов для будущих поколений, улучшения окружающей среды [1].

На современном этапе развития экономики Республике Узбекистан использование ВИЭ актуально как для обеспечения энергетической безопасности, так и для улучшения социально-бытовых условий населения и местностей, отдаленных от централизованных линий электропередач. Немаловажное значение при этом имеет возможность сохранения запасов углеводородного топлива для будущих поколений и смягчения экологической обстановки.

Основными компонентами ВИЭ в Республике Узбекистан являются: солнечная, гидравлическая, ветровая и геотермальная энергия, а также энергия биомассы. Согласно результатам исследований, выполненным узбекскими учеными, технический потенциал ВИЭ в Республике Узбекистан составляет 270 млн. тонн условного топлива, что более чем в три раза превышает ежегодную потребность в энергоресурсах. Потенциал энергоресурсов Узбекистана по отдельным видам приведен в таблице 1.

Наряду с энергией солнечного излучения, наиболее изученными и технологически подготовленными к освоению в республике являются гидроэнергетические ресурсы. На данном этапе мощности всех действующих гидроэлектростанций Узбекистана составляют 1700 МВт.

Таблица 1 – Потенциал возобновляемых источников энергии Узбекистана

Виды возобновляемых источников энергии	Потенциал в млн т.у.т./год		
	в Узбекистане		в мире
	валовой	технический	валовой
Солнечная энергия	76459,5	265,1	131x10 ⁶
Ветровая энергия	3,33	0,64	2x10 ⁶
Гидравлическая энергия	3,43	0,39	7x10 ⁶
Энергия биомассы	13,8	2,92	0,1x10 ⁶
Всего	76480,0	269,05	1401x10 ⁶

Дальнейшее развитие гидроэнергетики в Узбекистане будет осуществляться за счет реализации потенциала малых рек, ирригационных каналов, водохранилищ и водотоков, на которых можно построить около 150 малых и микро гидроэлектростанций с установленной мощностью более 1700 МВт с выработкой электроэнергии до 8 млрд. кВт.ч в год. Как видно, при реализации технического потенциала указанных малых и микро гидроэлектростанций на территории республики общая годовая выработка электрической энергии всеми гидроэлектростанциями может быть доведена до 14-15 млрд. кВт.ч.

Наряду с солнечной и гидравлической энергией, на части территории Республики Узбекистан площадью 100 тыс. кв.км. Существуют ветровые потоки, величины и структуры которых обеспечивают возможность ветроэнергетического использования их энергии с помощью современных серийных ветроагрегатов.

Перспективным для производства электрической энергии в промышленных масштабах с помощью ветроэнергетических установок считается регион между Бекабадом и Кокандом, где преобладают ветра со скоростью более 6 м/с с 42 % повторяемостью в году, где можно разместить ветроэнергетические установки в количестве 400 шт. общей мощностью 240 МВт, с годовой выработкой более 800 млн. кВт.ч электроэнергии [2].

Геотермальные воды имеются во всех регионах Узбекистана. Многолетние изыскания позволили выявить на его территории 8 крупных бассейнов с гидротермальными ресурсами. Валовый потенциал геотермальных вод оценивается в 171 тыс. т.н.э. Однако технический потенциал геотермальных источников пока не определен. Наибольшим потенциалом геотермальных вод обладают Ферганская долина и Бухарский вилоят. Средняя температура геотермальных вод по республике составляет 45,5°С, наиболее теплые воды в Бухарском (56°С) и Сырдарьинском

(50°C) виолятах. Следует отметить, что практическая реализация энергии геотермальных вод связана с разработкой соответствующих природоохранных мероприятий, обусловленных их химическим составом.

Предпосылки для использования сельскохозяйственных отходов в Узбекистане в качестве биомассы невелики. Отходы растительного происхождения (солома пшеницы и риса, стебли и ботва овощных культур, спиртовая барда) используются местным населением для корма скота или топлива. Отходы животноводства и птицеводства идут на удобрение, заготовку местных видов топлива. Один из возможных вариантов получения биогаза - использование гузапаи. Технический потенциал этого вида биомассы оценивается от 0.1 до 0.3 млн. т.н.э. Частными предпринимателями разработана технология получения топливных брикетов из гузапай, не уступающих по теплотворной способности Ангрескому углю. Потенциальными источниками для получения биогаза могут служить твердые бытовые отходы и активный ил городских очистных станций сточных вод. Результаты проведенных оценок показывают, что в республике экономически выгодно использовать 2.2 млн. тонн бытовых отходов (мусора), теплотворная способность которых составляет 6.3-10.5 МДж/кг (1.75-2.92 кВт*ч/кг). Общее количество активного ила, образующегося ежегодно в станциях аэрации, составляет более 1 млн. тонн.

Потребление электроэнергии в стране в 2028 году увеличится примерно в 2 раза по сравнению с 2018 годом и составит более 117 млрд. кВт/ч; нефть и природный газ составляют 97% энергетического баланса страны.

Доля первичной энергии состоит из 87% газа, 2% гидроэнергии, 2% угля и 9% сырой нефти.

Уровень электрификации страны составляет 95%, но электроснабжение сельских районов ненадежно и низкого качества. Потенциал солнечной, ветровой и гидроэнергии составляет более 1126 млрд. кВт/ч. Ресурсы ископаемого топлива сокращаются.

Общая национальная электрическая мощность составляет 15 ГВт (по состоянию на 2020 год), из которых 9,9% обеспечивается гидроэлектростанциями - 1,4 ГВт.

Существует ряд проблем, основными из которых являются:

- низкий КПД (25-35 процентов) введенных более 25 лет назад энергоблоков ТЭС и высокий удельный расход топлива по сравнению с современными ПГУ (в 2 раза);

- высокий уровень износа распределительных сетей и трансформаторов, что приводит к перебоям в снабжении и ухудшению показателей качества электрической энергии;

- низкая пропускная способность значительной части действующих ЛЭП и трансформаторов ограничивает возможность поставки электрической энергии потребителям в требуемых объемах;

- низкий уровень автоматизации и цифровизации объектов электроэнергетики негативно влияет на возможность предотвращения и быстрой ликвидации технологических нарушений.

Несмотря на наличие огромного потенциала солнечной энергии, в республике не имеется солнечных ФЭС промышленного масштаба. При этом ветровой потенциал республики изучен недостаточно и, как следствие, ветропарки промышленного масштаба отсутствуют.

Вместе с тем, в республике принимаются меры по формированию законодательной базы для развития данного сегмента энергетики [3].

В настоящее время начаты работы по двум пилотным проектам по строительству солнечных ФЭС мощностью по 100 МВт каждый в Самаркандской и Навоийской областях на условиях ГЧП. В соответствии с Соглашениями в 2021 году компании - инвесторы завершат строительство и введут в эксплуатацию ФЭС.

Литература:

1. Министерство Энергетики Узбекистана. «Энергетическая концепция Узбекистана» 2020. 11с.
2. сайт: министерство энергетики Узбекистана <http://minenergy.uz/ru>
3. Аллаев.К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. 2005

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ОБУЧАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ПО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

И.С. Федоров, А.В. Причетников, И.А. Тищенко
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, anton.prichetnikov@icloud.com,
ilyatishhenko@mail.ru, igorka250697@gmail.com

В работе обоснована актуальность применения виртуального обучения в области электроэнергетики и представлена разработка программного комплекса позволяющего ознакомиться с особенностями электроснабжения потребителей различных категорий надежности, выполнить расчет, выбор и подключение оборудования в сетях 0,4 кВ.

The paper substantiates the relevance of virtual training in the field of electric power and presents the development of a software package that allows you to get acquainted with the features of power supply to consumers of various reliability cate-

gories, perform the calculation, selection, and connection of equipment in 0.4 kV networks.

Одной из основных задач образовательных организаций высшего образования является подготовка специалистов, способных соединять теоретические сведения и практические навыки в своей сфере знаний.

Практические и экспериментальные исследования в инженерном образовании, как правило, реализуются в рамках лабораторных работ. Они являются неотъемлемой частью образовательного процесса технических дисциплин, поскольку на этих занятиях студент получает различные практические навыки; предполагается работа на реальных установках или моделях, визуальное исследование оборудования и т.д. [1].

Однако в связи с постоянным внедрением новых технологий и оборудования возникает необходимость в регулярном обновлении лабораторных баз, но это не всегда возможно по ряду причин, к примеру, из-за высоких затрат.

Перспективным решением данной проблемы выступает создание виртуальных лабораторных стендов, выполненных на базе компьютерных программ. И их преимущество заключается в том, что они очень маневренны: в них можно оперативно добавлять новые задачи и технические средства, а во-вторых, доказано, что от 80 до 90% информации воспринимается человеком визуально, в том числе и учебная информация, т.е. визуализация изучаемых вопросов, повышает эффективность обучения [2].

И, наконец, для внедрения таких лабораторных работ не требуется отдельное место, достаточно терминального класса, что делает работу мобильной и универсальной.

Зачастую студенты, обучающиеся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» не обладают пониманием того, что есть электромонтажная задача в сети 10/0,4 кВ, как осуществляется питание и защита электроприборов, что находится внутри защитных аппаратов и др. согласно действующим требованиям, например, об обеспечении электроснабжения жилых помещений и правилам устройства электроустановок [3].

Для расширения понимания данного процесса была поставлена задача: разработать виртуальный интерактивный электромонтажный стенд, который можно было бы использовать в различных образовательных дисциплинах. Такой стенд должен быть многофункциональным, содержать большой объем актуальной теоретической и справочной информации и сочетать в себе как инженерные расчеты, так и возможность их реализации путем проведения виртуальных электромонтажных работ.

Перед разработкой программы был произведен выбор видов потребителей электрической энергии. Больница с хирургическим отделением, административное учреждение (на примере Новосибирского Государственного Технического Университета), жилой многоэтажный дом и дачный участок являются характерными представителями первой, второй и третьей категорий потребителей по надежности электроснабжения соответственно. Проектирование электроснабжения объектов каждой категории содержит ряд особенностей. В процессе работы на стенде обучающиеся будут рассматривать все варианты.

При запуске программы будет появляться меню с возможностью выбора характерного представителя каждой категории надежности, где пользователь сможет ознакомиться с особенностями их электроснабжения.

После ознакомления с категориями надежности электроснабжения потребителей, обучающемуся будет представлена видеозапись с поясняющим текстом и закадровым голосом, демонстрирующая процесс электроснабжения выбранного им объекта от понизительной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ до вводного щита. То есть к преимуществам виртуального стенда можно отнести тот факт, что обучающийся узнает весь процесс электроснабжения потребителей (Рисунок 1).



Рис. 1 – Иллюстрация трансформаторной подстанции 10/0,4

Перед пользователем будет ставиться ряд задач, например, установить определенные электроприемники, произвести выбор автоматических выключателей, подключение к сети электроснабжения установленных электроприемников. Для получения дополнительной информации об объектах, например, об основных технических параметрах, области применения, ему будет достаточно выделить их. Кроме того, программа будет отслеживать прогресс выполнения пользователем этих заданий и информировать в случае совершения некорректных действий.

Дополнительно имеется возможность выполнения расчетов по выбору автоматических выключателей на «виртуальной доске» (Рисунок 2). Теоретический материал, используемый для расчетов взят с учебников [4].

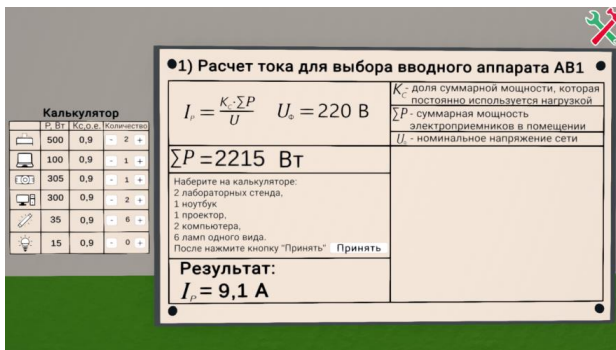


Рис. 2 – Расчет электрической нагрузки на «виртуальной доске»

Итак, в процессе работы в данном комплексе учащемуся предстоит выполнить следующие основные этапы:

- выбрать объект электроснабжения;
- ознакомиться с целью работы и поставленными задачами;
- выполнить необходимые расчеты для выбора автоматических выключателей;
- расставить электроприемники и электрооборудование (Рисунок 3);
- подключить к сети электроснабжения установленных электроприемников с помощью проводов;
- сделать проверку выполненной работы, включив автоматические выключатели и убедившись в работе электроприемников.

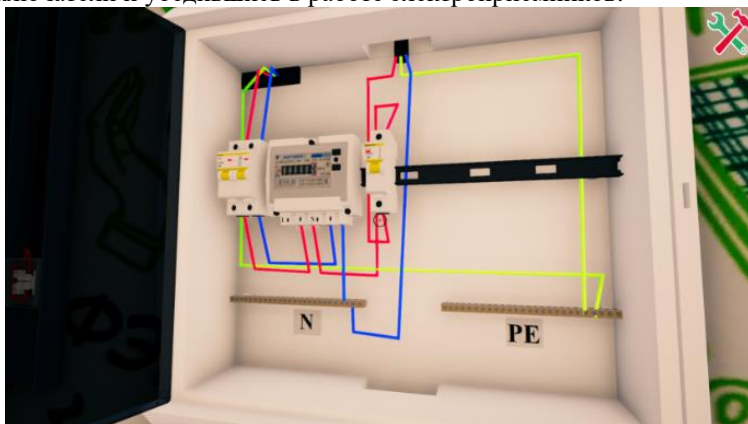


Рис. 3 – Пример электромонтажных работ в щитке

Важно, что весь объем справочной и теоретической литературы будет актуализироваться с периодичностью 1 раз в год.

Таким образом, разработанный программный комплекс предназначен для изучения особенностей проектирования электроснабжения различных объектов низковольтной сети, а также реализации виртуального электромонтажа оборудования. Использование принципов интерактивности и 3D модели обеспечивают возможность рассмотреть распределительные трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ, разместить электроприемники в помещении, присоединить кабели, установить силовые щиты, расположить в них защитную аппаратуру и счетчики электрической энергии, т.е. произвести электроснабжение размещенных электроприемников.

Литература:

1. Маковкина Л. Н., Сорокина Е.И., Сыроежкина Е.И., “Значимость лабораторно-практических работ в учебном процессе”, Материалы III Междунар. науч. конф., “Педагогика сегодня: проблемы и решения”, Казань: Молодой ученый, 2018, с. 46-47.
2. Неудахина Н.А., “О возможностях практического внедрения технологии визуализации учебной информации в вузе”, Известия Алтайского Государственного Университета, 2013, с. 35-38.
3. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ), Главгосэнергонадзор России, М: Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007.
4. Гужов Н.П., Ольховский В.Я., Павлюченко Д.А., “Системы электроснабжения: учебник”, Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015.

МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ 6 КВ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ АКТИВНОГО ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕХИМИИ И НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

А.А. Хамзин, Е.В. Тумаева
НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»
г. Нижнекамск, aizat98aidarov@gmail.com

Предложено решение задачи минимизации потерь активной мощности в кабельной линии 6 кВ путем установки активного фильтрокомпенсирующего устройства. Дана количественная и стоимостная оценка снижению потерь активной мощности в линиях электропередачи при активного фильтрокомпенсирующего устройства.

A solution to the problem of minimizing active power losses in a 6 kV cable line by installing an active filter-compensating device is proposed. A quantitative and cost estimate is given for the reduction of active power losses in power lines with an active filter-compensating device.

Введение

Нефтехимические и нефтеперерабатывающие предприятия являются наиболее важной отраслью производства для экономики нашей страны. Обычно, все технологические процессы производства различного вида нефтехимической продукции является непрерывными. Вследствие чего и к электроснабжению таких предприятий предъявляются особые требования: надежность и безаварийность.

Наиболее распространёнными электроприемниками на нефтехимических предприятиях являются электродвигатели. Надежная работа электродвигателей зависит, в основном, от величины и качества питающего напряжения. Основным показателем, влияющим на величину напряжения на узлах нагрузки, является реактивная мощность, потребляемая электроприемниками. Чрезмерное потребление реактивной мощности снижает величину напряжения на шинах больше нормативного, что приводит к значительным активным потерям в кабельной линии.

В результате применения различных видов полупроводниковой преобразовательной техники, кривая питающего напряжения теряет свою синусоидальную форму [3].

Для того чтобы решить проблему повышения коэффициента мощности, сначала необходимо очистить такую сеть от высших гармоник. В настоящее время получили развитие активные фильтры и вместе с ними активные фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ), которые очищают сеть от гармоник и повышают коэффициент мощности. Данные ФКУ разработаны на базе IGBT транзисторов. Принцип действия ФКУ основан на выделении в сеть кривой тока в противофазе токов высших гармоник и реактивной составляющей основной гармоники.

Целью данной работы является оценка снижения активных потерь в кабельных линиях 6 кВ и оценка повышения уровня напряжения при установке активного фильтрокомпенсирующего устройства.

Материалы и методы

Для проведения расчетов выбирается распределительная подстанция (РП) 6 кВ цеха выделения синтетического каучука. От этой РП питаются двигатели постоянного тока приводов экспандеров (1150 кВт) и эксцеллеров (460 кВт).

Преобразование переменного тока в постоянный осуществляется шестипульсными тиристорными преобразователями Simoreg DC. Преобразователи подключены к сети 6 кВ с помощью согласующих трансформаторов.

Для анализа наличия высших гармоник на шине 6 кВ используется осциллограмма, снятая с блока микропроцессорной релейной защиты

7SJ62 Siprotec 4 Siemens, установленной на вводной ячейке РП. Осциллограммы анализируются программой WinBres. Выбирается интервал осциллограммы длительностью 100 мс, для который программа производит разложение токов и напряжений по методу гармонических составляющих Фурье. Снятые данные приведены в Таблице 1.

Таблица 1 - Гармонический состав токов и напряжений

Гармонический состав напряжений						
Номер гармоники	U_A , кВ	ψ_{UA} , °	U_B , кВ	ψ_{UB} , °	U_C , кВ	ψ_{UC} , °
1	3,341	0,2	3,343	-120,1	3,341	120,0
2	0,017	53,3	0,017	-66,7	0,017	173,3
3	0,017	80,2	0,017	-39,8	0,017	200,2
4	0,013	20,1	0,013	-99,9	0,013	140,1
5	0,055	44,7	0,057	-75,3	0,055	164,7
6	0,013	48,7	0,013	-71,3	0,013	168,7
7	0,042	70,5	0,042	-49,5	0,042	190,5
8	0,008	6,3	0,007	-113,7	0,007	126,3
9	0,013	7,4	0,013	-112,6	0,013	127,4
10	0,013	71,0	0,013	-49,0	0,013	191,0
11	0,099	54,4	0,104	-65,6	0,099	174,4
Гармонический состав токов						
Номер гармоники	I_A , А	ψ_{IA} , °	I_B , А	ψ_{IB} , °	I_C , А	ψ_{IC} , °
1	468,0	-52,6	462,2	-172,3	468,0	67,4
2	29,1	-27,7	29,1	-147,7	29,1	92,3
3	19,5	-3,7	19,5	-123,7	19,5	116,3
4	11,7	-65,4	11,7	174,6	11,7	54,6
5	38,8	-41,7	40,0	-161,7	38,8	78,3
6	7,8	-38,3	7,8	-158,3	7,8	81,7
7	21,1	-16,9	21,0	-136,9	21,1	103,1
8	3,6	-81,4	2,9	158,6	2,9	38,6
9	5,2	-80,5	5,2	159,5	5,2	39,5
10	4,7	-17,1	4,7	-137,1	4,7	102,9
11	31,6	-33,9	33,2	-153,9	31,6	86,1

где $U_A, U_B, U_C, I_A, I_B, I_C$ – действующие значения токов и напряжений;

$\psi_{UA}, \psi_{UB}, \psi_{UC}, \psi_{IA}, \psi_{IB}, \psi_{IC}$ – начальные фазы напряжений и токов.

С помощью данных значений рассчитываются активные мощности, и коэффициент мощности для каждой фазы.

**Таблица 2 - Потребляемая активная мощность
и коэффициент мощности**

Фаза	А	В	С	Сумма
Р, кВт	950,28	944,63	950,28	2845,19
χ	0,6	0,6	0,6	-

Коммерческий учет производится на ГПП, к которому данное РП присоединено кабелем 4х(ААШВ 3х185) длиной 1,35 км. Данный кабель имеет активное сопротивление, которое при протекании тока забирает часть энергии на нагрев. Это энергия также учитывается коммерческим счетчиком. Потери в кабельной линии равны $\Delta P_{кл} = 37,5$ кВт.

Активная мощность, учитываемая коммерческим счетчиком равна $P = 2882,69$ кВт.

Для повышения значения коэффициента мощности и величины напряжения на подстанции предлагается установить активное фильтрокомпенсирующее устройство. Принимаем, что после установки данного компенсирующего устройства в сети остаются токи и напряжения только основной гармоники, мощность потребляемая РП станет равной мощности потребляемой основной гармоникой, а реактивная мощность полностью компенсируется.

Таблица 3 - Активная мощность после установки ФКУ

Фаза	А	В	С	Сумма
Р', кВт	949,8	944,2	949,8	2843,8

Если учесть падение напряжение, активная мощность, учитываемая коммерческим счетчиком после установки ФКУ будет равна $P' = 2855,57$ кВт.

Результаты

Результатом установки ФКУ является:

- Снижение потерь в кабельной линии 6 кВт на 69,1%;
- Повышения величины напряжения на шине РП на 8,3%;
- Снижение активной мощности, учитываемой коммерческим счетчиком на 0,9%.

- Упущенная выгода за год составит: $UB = 729842$ руб/год.

Цена активного фильтрокомпенсирующего устройства в среднем равна около 14 млн рублей. При такой цене срок окупаемости составит $14000000/729842 = 19,2$ года. В данном расчете не учитывалась упущенная выгода от повышения надежности за счет сокращения аварийных остановок цеха. При установке ФКУ величина напряжения на шине 6 кВт повышается и уменьшается риск остановок из-за резкого увеличе-

ния нагрузки на шине. Таким образом, если учитывать упущенную выгоду от повышения надежности сети, срок окупаемости может снизиться до 5 лет.

Литература:

1. Герасименко, А. А. Электроэнергетические системы и сети. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: конспект лекций/ А.А.Герасименко, Е.С.Кинев, Т.М.Чупак.– Электрон. дан. (7 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.
2. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 2000.-331 с.
3. Тумаева Е.В., Кузин С.С. Минимизация потерь активной мощности в кабельных линиях электропередачи 0,4 кВ на предприятиях нефтехимии и нефтепереработки // Вестник Чувашского университета. 2019. № 1. С. 154–160.
4. Тумаева Е.В., Попов А.В. Алгоритм расчета оптимальных токов моментного вентильного двигателя в установившемся режиме работы // Вестник Казанского технологического университета. 2011. Т. 46, № 19. С. 86–91.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УЗЛАХ С РЕЗКОПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Р.М. Хатыленко, В.М. Зырянов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, romankhatylenko@mail.ru**

Рассмотрена проблема качества электроэнергии в современной энергосистеме. Разработана модель системы накопления энергии в составе энергосистемы. Алгоритм работы модели рассмотрен на примере реальной автономной энергосистемы нефтедобывающего предприятия.

Problem of electric power quality in modern power system has been reviewed. The model of energy storage system within electric power system has been developed. The model operation algorithm has been reviewed based on real off-grid power system of the oil production enterprise.

Увеличение доли преобразовательной техники в общей нагрузке значительно обостряет проблему качества электроэнергии, прежде всего из-за искажения формы кривой напряжения. Эта проблема особенно актуальна в автономных энергосистемах добывающих предприятий, для

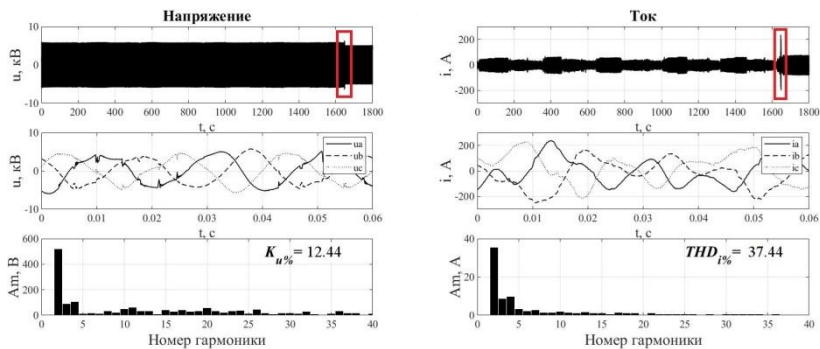


Рис. 2 – Графики изменения режимных параметров сети при резком набросе нагрузки без участия СНЭ

На графиках (Рисунок 3) показано изменение режимных параметров при работе с участием СНЭ, рассчитанных по математической модели (Рисунок 1).

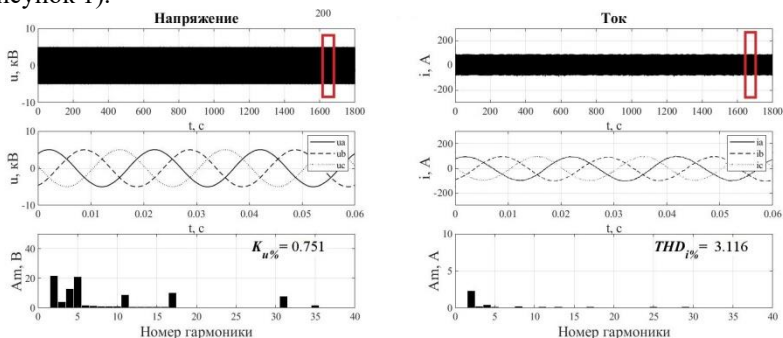


Рис. 3 – Графики изменения режимных параметров сети при резком набросе нагрузки с участием СНЭ

СНЭ при этом одновременно выполняет две функции: сглаживание графика нагрузки и фильтрация высших гармоник. Как следует из результатов расчёта, СНЭ справляется и со своей основной функцией – сглаживание бросков мощности, и значительно снижает уровень высших гармоник.

Включение СНЭ в состав энергосистемы позволяет существенно уменьшить ущерб, наносимый высшими гармониками электрооборудованию энергосистемы при одновременном выполнении его основной функции – запасание электроэнергии во время её избытка и выдача во время её дефицита. Работа СНЭ в составе исследуемой энергосистемы приводит к повышению качества электроэнергии, не только подавляя

высшие гармоники, но и уменьшая отклонения частоты и напряжения. СНЭ позволяет разгрузить сеть по активной и реактивной мощностям, повысить пропускную способность по энергии, существенно снизить нагрузку на генерирующее оборудование и уменьшить расход дизельного топлива.

Литература:

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения = Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.
2. Akagi H. Active Filters and Energy Storage Systems for Power Conditioning in Japan // First International Conference on Power Electronics Systems and Applications, 2004, Hong Kong, China, 9–11 nov. 2004: Conference proceedings. – Hong Kong, 2004. – P. 80-88.
3. Current and voltage harmonic analysis of the oil production enterprise with abruptly variable load / V.M. Zyryanov, R.M. Khatylenko, A.M Potapenko // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 114: Energy Systems Research 2019: intern. conf. of young scientists. - Art. 04002 (4 p.). - doi: 10.1051/e3sconf/201911404002.

**Секция РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА,
ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ,
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**СОЗДАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГЕНЕРАТОРА
ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ НА БАЗЕ ТРАНСФОРМАТОРА ТЕСЛА**

Г.В. Алин, В.Е. Качесов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, georgiyalin@gmail.com**

Низкотемпературная плазма все чаще находит применение в различных отраслях жизнедеятельности человека, таких как медицина, пищевая промышленность, сельское хозяйство, промышленное производство и т.д. В данной работе представлена установка, позволяющая получать холодную плазму в необходимых объемах. Работоспособность установки подтверждена проведенными лабораторными испытаниями.

Low-temperature plasma increasingly finds application in various branches of human activity such as medicine, food industry, agriculture, industrial production, etc. In this paper, a setup is presented that makes it possible to obtain cold plasma in the required volumes. The efficiency of the installation has been confirmed by laboratory tests.

Плазма – частично ионизованный газ с ионами, электронами и нейтральными частицами, такими как атомы, молекулы и радикалы. Впервые плазма была открыта Уильямом Круксом в 1879 году, а свое название уже получила в 1928 году благодаря Ирвингу Лэнгмюру.

Можно выделить плазму двух видов, характеристики которых существенно различаются: высокотемпературная и низкотемпературная. Низкотемпературная плазма в последнее время имеет большое практическое применение в самых различных сферах жизнедеятельности. В связи с этим растет актуальность исследований, направленных как на выявление полезных свойств низкотемпературной плазмы, так и на создание установок по ее получению [1].

Представляется интересным создание промышленной установки для генерации холодной плазмы на базе трансформатора Тесла. Учитывая принципы работы трансформатора Тесла понятно, что разрядные процессы при генерации холодной плазмы будут находиться в высокочастотном диапазоне.

Принимая во внимание так называемое «вытягивание частоты», к которому приводит зажигание плазмы во вторичном контуре трансформатора

тора Тесла, возникает необходимость обеспечения возможности регулирования частоты возбуждения первичного контура. Реализовано это было путем размещения ферритового стержня внутри обмоток трансформатора. Влияние на индуктивность контура обеспечивается путем изменения расположения феррита относительно обмоток трансформатора Тесла.

Учитывая вышесказанное, было принято решение получать плазму с применением барьерного разряда. Основная идея состоит в использовании схемы с большой емкостью. Эта емкость вводится путем покрытия обоих электродов диэлектрическим материалом, например, полиметилметакрилатом. Если критерий Ретера-Мика удовлетворен, между электродами образуются стримеры, пока напряжение достаточно велико. Однако наличие диэлектрического барьера приводит к самозатуханию стримеров, так как накопление заряда на поверхности диэлектрика при прохождении тока через канал стримера уменьшает локальное электрическое поле. Следовательно, стримеры не могут развиваться в дуги, и средний эффект множества отдельных пробоев газового промежутка состоит в том, чтобы эффективно превращать газ между электродами в однородную неравновесную плазму.

Плазменная камера выполнена в виде коробки, размером 100x100x70мм. Камера оснащается штуцером, для подачи газа-носителя, клапаном сброса давления, а также разъемом под термопару, для оценки температуры плазмы. Места ввода и вывода газа расположены по диагонали камеры, для обеспечения равномерного заполнения камеры газом. В качестве газа-носителя используется гелий.

Камера помещается между двух электродов, один из которых заземлен, а другой подсоединяется к высоковольтному выводу вторичной обмотки трансформатора Тесла. Для обеспечения равномерности электрического поля в камере края верхнего электрода закруглены.

Оциллограммы напряжения и тока в реакторе без плазмы и с *He*-плазмой приведены на рисунке 1 и 2 соответственно.

При появлении плазмы в реакторе фазовый угол смещения уменьшается до 73° из-за объемного сопротивления плазмы. На рисунке 3 представлен разряд плазмы в реакторе.

По результатам измерений и последующий расчетов определены такие величины, как плотность тока плазмы и мощность, потребляемая плазмой, которые составили $6,111 \text{ mA/cm}^2$ и $41,8 \text{ Вт}$, соответственно. Температура плазмы составила порядка 120°C .

Был проведен ряд экспериментов, при варьировании скорости потока газа-носителя. Можно отметить характерные особенности. При малой

скорости потока гелия, а именно в пределах 0,5 л/мин, плазма представляла яркий шнур, окруженный областью пониженной яркости, что объясняется наличием пинч-эффекта [2]. При увеличении скорости потока газа до 1л/мин разряд расширялся и принимал форму цилиндра, диаметр которого соответствовал диаметру электродов. Кроме этого, разряд терял яркую контрастность и становился однотонным. При последующем увеличении скорости потока до 1,7 л/мин, наблюдалось разделение единой плазмы и формирование двух отдельных ярких шнуров и снижение свечения между ними. Последующее увеличение потока приводило к полному погасанию плазмы в камере.

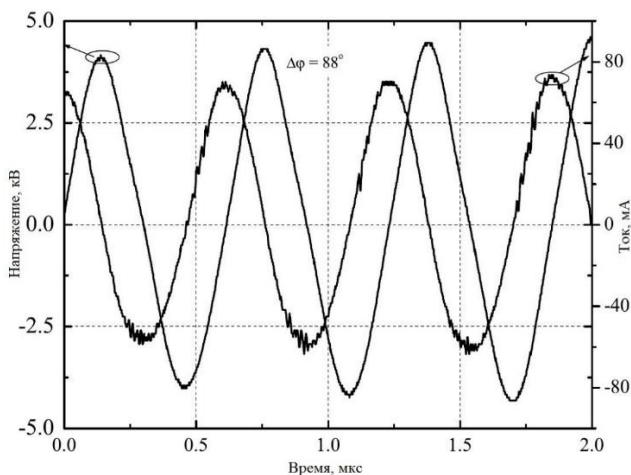


Рис. 1 – Осциллограмма напряжения и тока в реакторе без плазмы

При отсутствии плазмы в реакторе формы тока и напряжения близки к синусоидальным, причем ток опережает напряжение на 88° , что указывает на емкостной характер цепи.

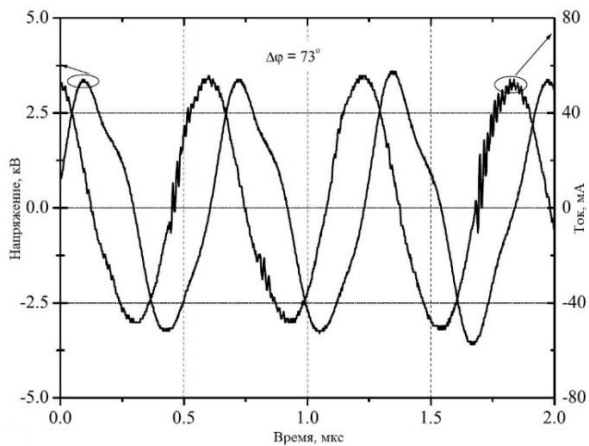


Рис. 2 – Осциллограмма напряжения и тока в реакторе с плазмой

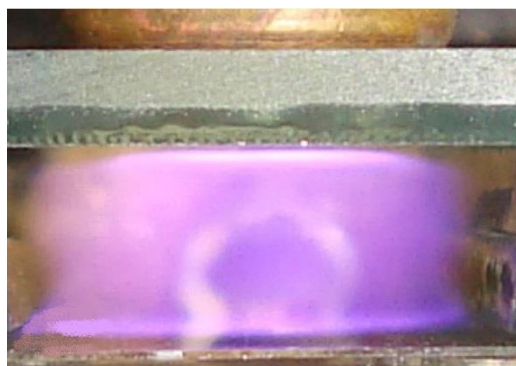


Рис. 3 – Разряд плазмы в реакторе

Данная установка позволяет генерировать достаточно большие объемы холодной плазмы, и может быть использована в медицине, в пищевой промышленности, сельском хозяйстве и в промышленном производстве.

Литература:

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1964.-753 с.
2. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.592 с.

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ТЕРМИНАЛА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

М.А. Андерс, А.А. Осинцев

Новосибирский государственный технический университет,
Г. Новосибирск, andersmikhail@yandex.ru

Данная статья посвящена вопросам создания модели дифференциальной защиты на основе существующего микропроцессорного терминала. Рассмотрены вопросы цифровой обработки сигналов и реализации алгоритмов защиты.

This article is devoted to the issues of creating a differential protection model based on the existing microprocessor terminal. The issues of digital signal processing and implementation of protection algorithms are also considered.

Дифференциальная токовая защита устанавливается на таких объектах как генератор, трансформатор, линии электропередачи. Принцип действия защиты основан на сравнении токов по концам защищаемого объекта. Связь между первичной и вторичной цепями осуществляется посредством использования трансформаторов тока. Так, при идеальной трансформации первичных токов в нормальном режиме или в режиме внешнего короткого замыкания токи с обеих концов равны, и защита не срабатывает. А в режиме внутреннего короткого замыкания равенство токов нарушается, что приводит к срабатыванию защиты. Однако идеальная трансформация первичных токов невозможна вследствие существования тока намагничивания трансформаторов тока. Этот ток обуславливает небаланс вторичных токов в нормальном режиме, а кроме того, существенно влияет на поведение дифференциальной защиты при внешних коротких замыканиях. Поэтому в настоящее время при исследовании дифференциальных защит возникает проблема неселективных отключений при внешних коротких замыканиях, что непосредственно связано с явлением насыщения трансформаторов тока. Для анализа поведения защиты в различных режимах, а также для выявления возможных решений данной проблемы, поставлена цель разработки цифровой модели дифференциальной защиты.

Объектом исследования является микропроцессорный терминал релейной защиты БМРЗ от компании НТЦ «Механотроника». В данном терминале реализована дифференциальная защита, характеристика срабатывания которой (Рисунок 1) представлена дифференциальной токовой отсечкой (ДТО) и дифференциальной защитой с торможением (ДЗТ) [1].

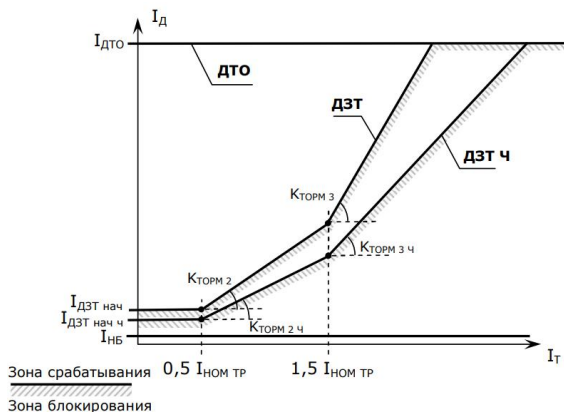


Рис. 1 – Характеристика срабатывания дифференциальной защиты

ДТО является достаточно грубой с точки зрения чувствительности, поэтому она дополнена ДЗТ, дифференциальный ток срабатывания которой увеличивается по мере увеличения тормозного тока. Тормозной сигнал, в свою очередь, зависит от величины тока, протекающего через защищаемый объект. Дифференциальный и тормозной токи рассчитываются по формулам (1) и (2) соответственно.

$$I_D = \frac{|i_{BT1} + i_{BT2}|}{\frac{I_{НОМ ГЕН}}{K_{ТТ}}}, \quad (1)$$

$$I_T = \frac{|i_{BT1}| + |i_{BT2}|}{2 \cdot \frac{I_{НОМ ГЕН}}{K_{ТТ}}}, \quad (2)$$

где i_{BT1} , i_{BT2} – вторичные токи трансформаторов тока, установленных по концам защищаемого объекта, А; $I_{НОМ ГЕН}$ – номинальный ток защищаемого объекта, А; $K_{ТТ}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

На сегодняшний день имеются некоторые результаты работы по созданию цифрового двойника рассматриваемого терминала в среде программирования MATLAB. Создан алгоритм цифровой обработки входных сигналов, позволяющий непрерывно вычислять дифференциальный и тормозной токи в соответствии с выражениями (1) и (2). Кроме того, в модели реализованы алгоритмы дифференциальной токовой отсечки и

дифференциальной защиты с торможением. На основании введенных уставок производится построение характеристики срабатывания, аналогичной той, которая реализована в самом терминале (Рисунок 1), и осуществляется непрерывное сопоставление точки с координатами (I_T , I_d) с данной характеристикой. В случае попадания точки в зону срабатывания формируется сигнал на отключение с фиксацией времени срабатывания.

Для достоверного определения времени срабатывания защиты, начата работа по модернизации цифрового фильтра основной гармоники. Время срабатывания защиты складывается из времени действия цифрового фильтра и времени работы самого устройства. Цифровой фильтр заполняется новыми значениями постепенно через каждый период дискретизации. Поэтому фиксация срабатывания происходит с некоторой задержкой времени, которая обусловлена заполнением цифрового фильтра. Однако, если в предшествующем режиме устройство находится на грани срабатывания, а затем происходит значительное увеличение тока срабатывания, то в этом случае можно достичь минимального времени действия цифрового фильтра. С этой целью в описанном выше режиме был проведен эксперимент по определению минимального времени срабатывания защиты. При минимальном времени работы цифрового фильтра время срабатывания защиты – действительное время, которое требуется устройству для формирования сигнала срабатывания.

В дальнейших исследованиях планируется усовершенствование модели. Поставлена цель создания фильтра второй гармоники, для выявления режима насыщения трансформаторов тока, а также разработки специальных алгоритмов для блокировки защиты при внешних коротких замыканиях.

Литература:

1. Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-153-УЗТ-01 [Электронный ресурс] // Руководство по эксплуатации. ДИВГ.648228.039 - 24.01 РЭ – НТЦ «Механотроника». – Режим доступа: <https://www.mtrele.ru/files/filedoc/releynaya-zashita/bmrz-150/bmrz-153-uzt-01.pdf> – Загл. с экрана.

СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА

С.Д. Аристархов, А.А. Осинцев

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, aristarkhov.sd@gmail.com

В работе рассматривается разработка математической модели микропроцессорного устройства дифференциальной защиты трансформатора с последующим сравнением разработанной модели с реальным устройством и оценкой достоверности.

The paper deals with the development of a mathematical model of a microprocessor device for differential protection of a transformer, followed by a comparison of the developed model with a real device and an assessment of the reliability.

С развитием вычислительной техники появилась возможность виртуального моделирования устройств РЗиА, позволяющая проверить работоспособность терминала в условиях, приближенных к реальным. Целью такого моделирования является оценка надежности функционирования устройства РЗиА в режимах, при которых возможно ложное срабатывание защиты. Испытание реального терминала в таких условиях технически затруднено, поэтому наличие достоверной математической модели облегчает задачу по тестированию надежности устройства, а также помогает выявить наиболее неблагоприятный режим для устройства РЗиА в конкретных условиях, с конкретным оборудованием.

В данной работе моделирование устройства РЗиА рассмотрено на примере микропроцессорного терминала дифференциальной защиты трансформатора «Сириус-Т» производства АО «РАДИУС Автоматика».

Одним из главных элементов микропроцессорного терминала релейной защиты является цифровой фильтр, так как именно он осуществляет вычисление величин, на основании которых алгоритмы устройства формируют токи и напряжения, сравниваемые с уставками срабатывания.

Основной задачей при моделировании устройств релейной защиты является подборка алгоритма цифровой фильтрации, так как именно от него в большей степени зависит правильность и скорость срабатывания защиты.

Для «Сириус-Т» главной функцией цифрового фильтра является определение модуля и начальной фазы вектора тока, характеризующего сигнал подводимого от аналого-цифрового преобразователя (АЦП). На данный момент существует множество алгоритмов определения амплитуды и начальной фазы дискретного гармонического сигнала. При моделировании устройства использовались такие алгоритмы как метод

наименьших квадратов, формирование ортогональных составляющих, дискретное преобразование Фурье.

После определения значения модуля и начальной фазы вектора тока, нетрудно составить алгоритм работы логического блока модели, осуществляющий сравнение рассчитанных токов и напряжений с введенными уставками.

В дифференциальной защите трансформатора в данном блоке модели осуществляется сравнение сформированных дифференциального и тормозного токов с уставками срабатывания.

Для оценки достоверности модели необходимо иметь критерий, основанный на характеристиках работы реального устройства. В данной работе в качестве такого критерия будет рассматриваться зависимость времени срабатывания дифференциальной защиты от значения дифференциального тока.

Для снятия данной зависимости предлагается принимать минимально возможную модель входного сигнала тока, состоящего только из основной гармоники промышленной частоты. Выдача сигнала тока будет осуществляться с использованием программно-технического измерительного комплекса «РЕТОМ-61». Факт срабатывания защиты и время будут фиксироваться при помощи дискретных входов и секундомера, встроенных в измерительный комплекс.

Выходное реле устройства защиты подключено к дискретному входу измерительного комплекса, алгоритмы которого опрашивают состояние "сухого" контакта каждые 100 мкс. При замыкании выходного реле защиты измерительный комплекс фиксирует замыкание между контактами, то есть фиксирует факт срабатывания защиты.

Возможности «РЕТОМ-61» позволяют подавать сигнал тока в двух последовательно протекающих режимах с заданными длительностями. При определении времени срабатывания предлагается, что в первом режиме подаются токи, при которых рассчитанный устройством дифференциальный ток не будет превышать уставку срабатывания (доаварийный режим), во втором режиме - наоборот (аварийный режим). Время протекания доаварийного устанавливается равным 1 с. Время протекания аварийного режима определяется временем срабатывания защиты.

При фиксации измерительным комплексом факта срабатывания защиты выдача сигнала прекращается и встроенный в комплекс секундомер рассчитывает время срабатывания защиты. Отсчёт производится с момента начала аварийного режима.

Определенное в данном опыте время состоит из двух составляющих: времени, за которое определенное цифровым фильтром значение тока

превысит уставку срабатывания (далее время работы цифрового фильтра) и времени замыкания выходного реле устройства.

Для создания модели защиты наибольший интерес представляет время работы цифрового фильтра, поскольку время срабатывания выходного реле при необходимости достаточно просто учесть в программе в виде элемента задержки выходного сигнала защиты.

Для определения времени работы цифрового фильтра необходимо из общего времени срабатывания отнять продолжительность работы промежуточного реле. Для этого предлагается с помощью функционала измерительного комплекса осуществить замер времени срабатывания выходного реле устройства при поступлении сигнала на дискретный вход от другой защиты, действие которой приводит к срабатыванию выходного реле без выдержки времени. В качестве такой защиты в данной работе применяется газовая защита трансформатора (ГЗТ).

Имитация работы газовой защиты осуществляется путем подачи с измерительного комплекса на дискретный вход ГЗТ терминала достаточного для срабатывания сигнала постоянного напряжения. Важно при определении времени замыкания выходного реле данным способом учесть также собственное время замыкания контактов «РЕТОМ-61», что выполняется с использованием встроенного секундомера.

В конечном итоге было выполнено сравнение определенного времени срабатывания цифрового фильтра реального устройства с тремя вариантами модели дифференциальной защиты трансформатора «Сириус-Т», различающихся алгоритмами цифровой фильтрации. Полученные результаты представлены в табл. 1.

В результате сравнения определено, что наиболее достоверной моделью устройства дифференциальной защиты трансформатора «Сириус-Т» является программа, осуществляющая цифровую фильтрацию по методу формирования ортогональных составляющих.

При этом следует отметить, что при выполнении исследования было принято множество допущений, которые следует учитывать при разработке моделей устройств РЗА.

В действительности сигнал тока передаётся в устройства релейной защиты через измерительные трансформатора тока, которые вносят изменения в форму сигнала и его параметры, вследствие насыщения.

При проведении данного исследования в работе использовалась идеальная модель сигнала, состоящая из одной синусоиды промышленной частоты. В реальности же сигнал тока помимо основной гармоники содержит высшие гармонические составляющие и возникающую при коротких замыканиях переходную аperiodическую составляющую. Всё это

сказывается на качестве фильтрации сигнала, поэтому в дальнейшем планируется проведение исследования с использованием сложной модели входного сигнала для выявления параметров работы устройства в аварийных режимах, токи которых наиболее приближены к реальным.

Таблица 1 – Результаты испытаний моделей защиты

$I_{\text{диф.о/ав}}/I_{\text{сраб}}$	$I_{\text{диф.ав}}/I_{\text{сраб}}$	$T_{\text{ф.реаль.мс}}$	$T_{\text{МНК, мс}}$	$T_{\text{ФОС, мс}}$	$T_{\text{ДПФ, мс}}$
0,98	1,02	11,0	21,0	11,0	16,0
	2	6,0	6,0	6,0	6,0
	3	6,0	6,0	6,0	6,0
	4	6,0	6,0	6,0	6,0
	6	6,0	6,0	6,0	6,0
0,5	1,02	11,0	21,0	21,0	21,0
	2	6,0	11,0	11,0	11,0
	3	6,0	11,0	6,0	11,0
	4	6,0	6,0	6,0	6,0
	6	6,0	6,0	6,0	6,0
0	1,02	16,0	21,0	21,0	21,0
	2	11,0	11,0	11,0	16,0
	3	11,0	11,0	11,0	11,0
	4	11,0	6,0	6,0	11,0
	6	11,0	6,0	6,0	6,0

Литература:

1. Реализация цифровых фильтров в микропроцессорных устройствах релейной защиты / Ю.В. Румянцев, Ф.А. Романюк, В.Ю. Румянцев, И.В. Новаш//Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2016. – Т. 59, № 5. – С. 397–417.

2. Микропроцессорное устройство защиты «Сириус-Т» [Электронный ресурс]//Руководство по эксплуатации. БПВА.656122.038 РЭ. – АО «Радиус Автоматика». – Режим доступа: https://www.rza.ru/upload/iblock/f6e/rukovodstvo-po-ekspluatatsii-sirius_t_redaktsiya-1.24-ot-11.05.18_.pdf – Загл. с экрана.

НОВЫЕ МЕТОДЫ РАБОТЫ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТА

С.А. Бахтиева, А.Л. Столяров, И.И. Литвинов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, bakhtievass@mail.ru

В данной работе описываются солнечные элементы на основе перовскита, необходимость использования которых обусловлена отсутствием эффективности и долговечности у многих солнечных элементов. Представлен анализ трёх новых методов по повышению производства работы солнечных элементов на основе перовскита. Методы базируются на изменении структуры материала, использования предварительной нуклеации и совместного использования двух материалов. Данные изменения имеют основополагающее значение для работы фотоэлектрического материала.

The article focuses on perovskite solar cells. The necessity of use of a new type of cells is due to the absence of sufficient efficiency and durability of many present solar technologies. Three new methods to improve the efficiency of perovskite solar cells are analyzed. These methods are based on the restructuring, pre-nucleation and on the use of two materials in pair. These changes have a fundamental meaning for the performance of a photovoltaic material.

Первый метод – это суперкомпьютерное моделирование, которое углубляет понимание характеристик перовскитного материала, который может собирать солнечный свет с большой эффективностью, благодаря длительному сроку службы его заряда. Для исследования материала перовскита, который называется метиламмонийтриодоплюмбат ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) использовали суперкомпьютер «Piz Daint». В фотоэлектрических элементах энергия солнечного света возбуждает электроны, переводя их из обычного состояния в зону проводимости с более высокой энергией. Там электроны могут свободно перемещаться в материале и становятся носителями заряда. Их движение создает электрический ток, который можно передавать и собирать. Аналогично, электронная дыра, которая является положительным зарядом, возникающим из-за отсутствия электрона, где он может существовать, также может проходить через материал, действующий как носитель заряда. Требования, которыми должен обладать материал, для того чтобы он хорошо работал: 1) Его электроны должны быть легко возбудимыми; 2) быстрая и эффективная передача заряда в материале.

Эти требования обуславливают время жизни носителей заряда-электронов и электронных дырок. Однако во многих материалах время жизни

носителей заряда ограничено, поскольку электроны быстро возвращаются из своего возбужденного состояния. Происходит рекомбинация электронных дырок. Скорость этой рекомбинации определяет, насколько эффективно материал может сохранять и транспортировать собранную энергию. Перовскит $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ стабилен в различных кристаллических структурах, тетрагональная структура демонстрирует гораздо более низкую скорость рекомбинации, а это способствует лучшему переносу заряда. Для моделирования возбуждения электронов в тетрагональном материале $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ с помощью молекулярно-динамического моделирования использовали программу «Piz Daint». Чтобы выявить продолжительности жизни носителей зарядов, в систему добавляют либо электрон и дырку, либо пару электрон-дырка. За благоприятные времена жизни носителей заряда ответственны тонкие структурные нарушения в материале, они возникают в результате полярных эффектов в кристаллической структуре материала. В частности, тепловые искажения и колебания в подрешетке, образованной ионами PbI_3 приводят к последовательному пространственному разделению электронов и электронных дырок. Это пространственное разделение оказалось ключевым: оно предотвращает электронно-дырочную рекомбинацию, приводя к длительному времени жизни носителей заряда. Достижение такой четко разграниченной локализации электронов и дырок имеет важное значение для работы фотоэлектрического материала. [1]

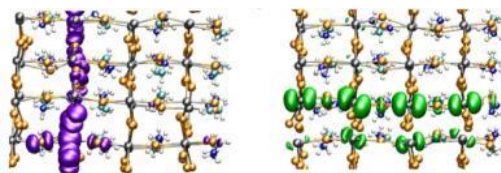


Рис. 1 – Рисунок слева показывает пространственное расположение электронных дырок; рисунок справа показывает расположение дополнительных электронов.

Вторым методом является метод изготовления солнечных элементов на основе перовскита с использованием метода предварительной нуклеации. Метод направлен на то, чтобы избежать потери эффективности, вызванной влажностью, связанной с взаимодействием окружающей воды и кислорода. Предварительная нуклеация состоит из контролируемого образования огромного количества свинцовых комплексов – "пренуклеационных кластеров" - в процессе мокрого прядения образца при изготовлении перовскитной пленки. Образованию комплексов свинца способствует присутствие воды в обычных производственных процессах.

Чтобы избежать избытка воды, используют взрыв свинцовых комплексов для облегчения и продления зарождения промежуточных кристаллитов. Этот метод приводит к образованию более мелких кристаллитов во влажных пленках, которые легче конвертировать в перовскит. В результате, метод предварительной нуклеации позволил влажной пленке легче и быстрее трансформироваться из прозрачного промежуточного продукта в черную перовскитную форму даже без отжига. Это происходит в процессе нагрева, а затем медленного охлаждения для повышения долговечности. Этот процесс позволил получить максимальную эффективность преобразования 21,5%. [2]

Третий метод, который используется для повышения эффективности солнечных элементов, основан на совместном использовании кремния и перовскита в солнечных элементах. Основным недостатком однослойных солнечных батарей на основе кремния является неэффективность преобразования энергии. Необходимость устранения этого недостатка привела к идее совместного использования кремния и перовскита. Солнечные элементы на их основе могут работать с более высоким КПД преобразования солнечной энергии в электрическую, чем каждый из них по отдельности. В таком солнечном элементе слой перовскита лежит на слое кремния, и вся система генерирует электроны большей энергии, чем каждый из материалов по отдельности, что позволяет получить на выходе более высокое напряжение. Кроме того, перовскит и кремний преобразуют свет в разных участках спектра, заставляя работать более широкую его часть (Рисунок 2); повышается эффективность солнечных элементов за счет нанесения слоя перовскитного полупроводника на поверхность более эффективных кремниевых ячеек [3].



Рис. 2 – Преобразование света перовскитом и кремнием в разных участках спектра

Важным условием эффективности солнечных элементов является текстура кристаллов кремния и способ нанесения перовскитного слоя. Кри-

сталлы должны иметь текстуру, состоящую из массива пирамидок микронного размера, что позволяет снизить долю отраженного света, а в способах нанесения следует отдать предпочтение методам осаждения пленок из газовой фазы: термическому напылению, атомно-слоевому осаждению [4].

Все эти методы могут рассматриваться как перспективное направление в солнечной энергетике. Но, несмотря на свой огромный потенциал, перовскитная технология солнечных батарей все еще имеет ряд недостатков, которые предстоит устранить. Первый недостаток – это их общая стоимость. Причиной этого является основной электродный материал в перовскитных солнечных элементах - золото. Вторым – являются перовскитные фотоэлектрические технологии, которые быстро разрушаются в присутствии влаги и продуктов распада, поражающих металлический электрод. Устранив данные недостатки, повысится эффективность и стабильность, продлится срок службы солнечных элементов.

Литература:

1. R.Peleg. Supercomputer simulations deepen understanding of perovskite materials' performance [Electronic resource] // - URL: <https://www.perovskite-info.com/supercomputer-simulations-deepen-understanding-perovskite-materials-performance> (accessed 10.03.2020).
2. R.Peleg. A new manufacturing method based on pre-nucleation yields efficient perovskite solar cells. [Electronic resource] // - URL: <https://www.perovskite-info.com/new-manufacturing-method-based-pre-nucleation-yields-efficient-perovskite-solar> (accessed 05.03.2020).
3. Сиварам, В. Лучше кремния / В. Сиварам, Г. Снэйт, С. Стрэнкс // В мире науки. – [08/09] август/сентябрь, 2015. – С. 110–115.
4. Дубов А. Перовскит увеличит эффективность кремниевых солнечных батарей без ущерба для производства.[Электронный ресурс] – URL: <https://nplus1.ru/news/2018/06/13/perovskite-silicon-solar-cells> (дата обращения:13.06.2018).

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ И МОЛНИИ НА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ПОДСТАНЦИЙ

О.С. Белова, С.Р. Калужная, Т.К. Кившар
Национальный исследовательский университет "МЭИ",
г. Москва, BelovaOS@mpei.ru

Представлены результаты физического моделирования, с использованием искусственной грозовой ячейки, возможного влияния грозовых облаков и молнии на системы мониторинга воздушных линий электропередачи и подстанций. Выявлено, что на модели элементов такой системы могут воздействовать как формирующиеся с них восходящие разряды (стримерная короны, лидер, главная стадия), так и электромагнитное излучения близких разрядов. Оценены характер и возможные уровни такого прямого и косвенного воздействия.

Results of a physical simulation, using artificial thunderstorm cell, of a possible influence of the thunderclouds and lightning on a monitoring system of the transmission lines and substations have presented. It was found that upward discharges (streamer corona, leader, main stage) forming from the model elements of such system and electromagnetic radiation of the close discharges could influence on such elements. Character and possible levels of such direct and induced action have been estimated.

Системы удаленного мониторинга различного назначения в настоящее время широко внедряются на открытых распределительных устройствах подстанций (ОРУ) и воздушных линиях электропередачи (ВЛ) [1, 2]. Использование элементов искусственного интеллекта в системах онлайн мониторинга состояния ВЛ и ОРУ (датчиков, аналого-цифровых преобразователей для обработки регистрируемых сигналов, антенных устройств) показало проблему их функционирования в условиях воздействия молнии и атмосферного электричества [2, 3]. Не вполне ясно, как разрядные явления, формирующиеся на этих наземных систем под воздействием грозовых облаков и молнии (вспышки стримерной короны, восходящий лидер, главный разряд), и создаваемое ими электромагнитное излучение и в какой форме будут воздействовать на функционирование такие элементы систем мониторинга ВЛ и ОРУ [4]. Цель работы, используя искусственные грозовые ячейки отрицательной полярности, физически смоделировать и исследовать характеристики электрических разрядов и создаваемого ими электромагнитного излучения, которые могут формироваться на моделях таких элементах или наводиться на них при близких ударах молнии (например, при ударе молнии в стержневой молниевод или в вершину опоры).

Для моделирования грозовой ситуации использовался экспериментально-измерительный комплекс «ГРОЗА», схематично изображенный

на Рисунке 1 [5]. Потенциал искусственной грозовой ячейки отрицательной полярности достигал 1,2 МВ. Элементы системы мониторинга и заземленные части ВЛ или ОРУ, моделировались с помощью стержневых электродов со сферическими вершинами (4,5). При возникновении разрядных явлений с одного из электродов, регистрировались как параметры самого разряда, так и наведенные сигналы, на соседнем электроде.

Электромагнитное излучение разрядных явлений регистрировалось с помощью плоских антенн А2, А3 (6,7), которые располагались в ближней к разряду зоне. Ток разряда и сигналы, наводимые на соседнем электроде и антеннах, регистрировались с помощью цифрового осциллографа: исследовалось влияние отдельных стадий разряда – импульсной стримерной корона, лидера, главной стадии (лиловый, зеленый и голубой участки осциллограммы 2 на Рисунке 2). В результате обработки осциллограмм, были получены следующие параметры импульса тока и наведенных сигналов: $|I_{\max}|$ и ΔT – амплитуда и длительность импульса тока (сигнала); $a_{0,3}$ – крутизна импульса тока, соответствующая уровням 0,3 и 0,9 от максимума; $|Q_{\text{сумм}}|$ – суммарный протекший заряд.

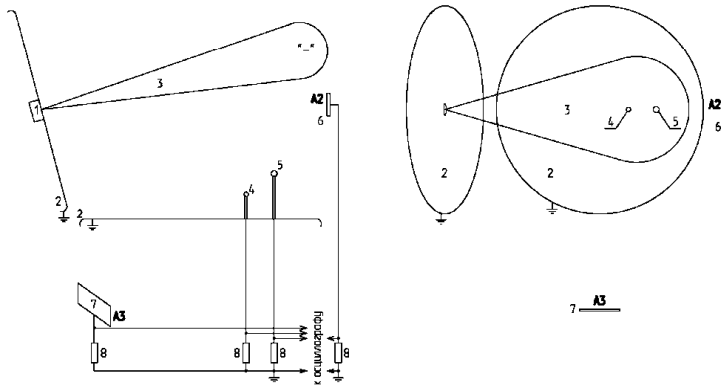


Рис. 1 – Схема экспериментального комплекса: 1 – генератор заряженного аэрозоля, 2 – заземленные электростатические экраны, 3 – искусственная грозовая ячейка, 4,5 – стержневые электроды, 6,7 – плоские антенны, 8 – шунты

Токовые характеристики различных стадий разряда, формирующихся с модельных элементов системы мониторинга и ВЛ, обобщены в Таблице 1 (средние значения и разброс). Характеристики сигналов, наводимых при формировании разряда на соседнем элементе и близких антеннах, представлены в Таблице 2 (средние значения и разброс).

Как видно из Таблиц 1 и 2, при формировании стримерной короны с элементов системы мониторинга в электрическом поле искусственной грозовой ячейки можно ожидать протекания через них импульсов тока амплитудой в среднем 3,5 А небольшой крутизны и длительностью, в среднем 5 мкс. При этом на соседних модельном датчике и моделях антенных устройств будут наводиться высокочастотные помехи амплитудой, в среднем, 0,2-0,6 А длительностью 1-2 мкс. При переходе восходящего разряда в главную стадию через модели элементов системы мониторинга будут протекать импульсы тока амплитудой в десятки ампер с крутизной в единицы кА/мкс. При этом на соседних модельном элементе и моделях антенных устройств будет наводиться СВЧ-помехи амплитудой до 4 А длительностью от 0,6 до 1,8 мкс.

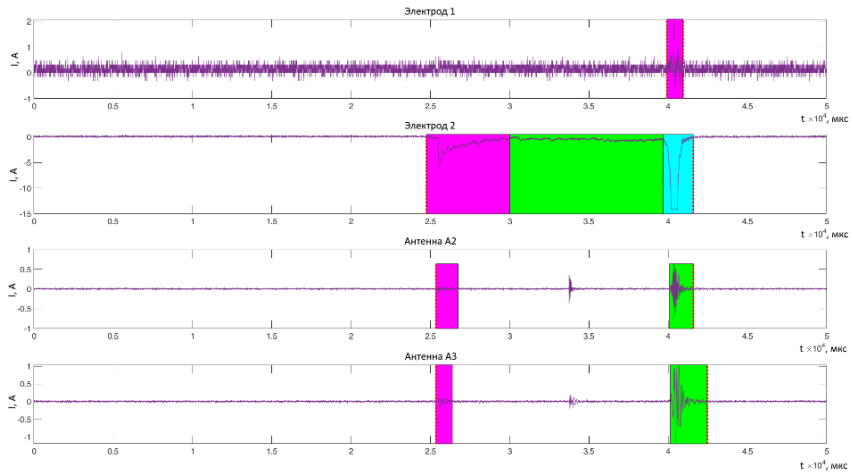


Рис. 2 – Осциллограммы импульсов тока (сигналов), регистрируемых (сверху вниз) на модельных элементах 4,5 и антеннах А2 и А3

Таким образом, при формировании стримерной короны с элементов системы мониторинга в электрическом поле грозового облака и молнии можно ожидать протекания через них импульсов тока амплитудой в единицы ампер длительностью до 5-10 мкс. При формировании главной стадии разряда молнии с элемента системы мониторинга он будет выходить из строя. Можно ожидать, что на находящихся поблизости других элементах и антенных устройствах системы мониторинга будут наводиться СВЧ-помехи амплитудой в единицы-десятки ампер длительностью в несколько микросекунд.

Таблица 1 – Характеристики разряда на модельных элементах

Стадия разряда	ΔT , мкс	$a_{0,3}$, А/нс	$ I_{\max} $, А	$ Q_{\text{сумм}} $, мкКл
Корона	$[4,8 \pm 4,7]$	$[0,06 \pm 0,22]$	$[3,5 \pm 2,7]$	$[3,7 \pm 4,1]$
Лидер	$[12,1 \pm 5,6]$	$[0,02 \pm 0,003]$	$[1,2 \pm 0,6]$	$[3,9 \pm 3,0]$
Главная	$[1,7 \pm 0,9]$	$[0,28 \pm 0,38]$	$[20,7 \pm 6,9]$	$[8,7 \pm 2,9]$

Таблица 2 – Основные характеристики наведенных сигналов

Регистрация сигнала:	На электроде		На антенне А2		На антенне А3	
	ΔT , мкс	$ I_{\max} $, А	ΔT , мкс	$ I_{\max} $, А	ΔT , мкс	$ I_{\max} $, А
Корона	$[1,1 \pm 1,0]$	$[0,6 \pm 0,1]$	$[0,9 \pm 0,5]$	$[0,2 \pm 0,1]$	$[1,9 \pm 1,0]$	$[0,2 \pm 0,1]$
Главная	$[1,1 \pm 0,4]$	$[2,2 \pm 0,9]$	$[1,4 \pm 0,9]$	$[0,9 \pm 0,4]$	$[1,7 \pm 0,5]$	$[0,9 \pm 0,6]$

Исследование проведено в Национальном исследовательском университете «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FSWF-2020-0019).

Литература:

1. Аппаратно-программный комплекс удаленного мониторинга линейных ОПН под рабочим напряжением / Р.К. Борисов, С.С. Жуликов, П.С. Глазунов, М.А. Кошелев, Б.К. Максимов, Г.З. Мирзабекян, Ю.С. Турчанинова // Электротехника. – 2019. – № 2. – С. 42-47.
2. Система мониторинга электромагнитной обстановки на подстанции / Р.К. Борисов, О.М. Кочуров, Е.В. Коломиец, А.Я. Чернокоз // Энергоэксперт. – 2019. – № 1 (69). – С. 38-40.
3. P. Hoole, M. Sharip, J. Fisher, K. Pirapaharan, A. Othman, N. Julai, S. Rufus, S. Sahrani, S. Hoole. Lightning protection of aircraft, power systems and houses containing IT network electronics // Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering. – 2017, – Vol. 9, – No. 3-10.
4. V. Cooray. Lightning Electromagnetics // IET Publishing, London, United Kingdom, – 2012.
5. Применение искусственных грозовых ячеек для исследования проблем инициирования молнии между грозовым облаком и землей / А.Г. Темников, Л.Л. Черненский, А.В. Орлов, Н.Ю. Лысов, Д.С. Журавкова, О.С. Белова, Т.К. Герастенок // Известия Академии наук. Энергетика, – 2017, – № 2, – с. 48-61.

УЧАСТИЕ КАСКАДА ВАХШСКИХ ГЭС В РАБОТЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ И ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

М.С. Гулмамадов, В.Е. Глазырин
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, muhammadsti95@gmail.com

Рассматриваются вопросы работы каскада Вахиских ГЭС при внедрении автоматики регулирования частоты и перетоков активной мощности при наличии связи между ОЭС Центральной Азии и энергосистемами Афганистана и Пакистана.

The paper considers the issues of the Vakhsh HPP cascade operation when introducing automatic load frequency control in the presence of a connection between the UPS of Central Asia and power systems of Afghanistan and Pakistan.

Таджикистан является одной из стран Центральной Азии, на которую приходится значительная доля мировых запасов гидроресурсов. Страна располагает избытком электроэнергии в летний период, а соседние страны такие как Афганистан и Пакистан испытывают дефицит электроэнергии. Текущее состояние электроэнергетики не позволяет Афганистану удовлетворять потребности потребителей в получении электроэнергии, особенно в летний период. По этой причине, из-за дефицита мощности в системе происходит снижения частоты, что приводит к действию частотной разгрузки потребителей. Из-за этого может наноситься значительный ущерб промышленному производству, а иногда даже приводить к закрытию малых предприятий [1]. Линия электропередачи (ЛЭП) соединяющая Таджикистан с Афганистаном позволяет с максимальной эффективностью использовать гидроэнергетические ресурсы путем передачи избыточной электроэнергии вышеуказанным странам в летний период. На рисунке 1 показаны электрические связи Таджикистана с Афганистаном.

Для решения проблемы дефицита электроэнергии в Афганистане и Пакистане, а также для эффективного использования гидроресурсов Таджикистана и Кыргызстана в летний период разработан проект CASA-1000. Цель проекта CASA-1000 заключается в организации экспорта имеющегося летнего излишка электроэнергии из Таджикистана и Кыргызстана в Пакистан и Афганистан. Проект CASA-1000 направлен на реализацию торговли электроэнергией в объеме примерно 1000-1300 МВт между двумя регионами. Схема электрических связей по проекту CASA-1000 показана на рисунке 2.



Рис. 1 – Схема электрической связи Таджикистана с Афганистаном

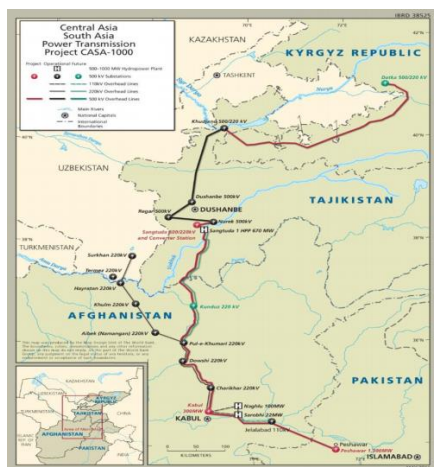


Рис. 2 – Схема электрических связей по проекту CASA-1000

Все генерирующие мощности для выработки электроэнергии, необходимые для CASA- 1000 уже имеются. В летний период в странах Центральной Азии имеется достаточно избыточной электроэнергии, чтобы обеспечить загрузку имеющихся ЛЭП, даже без ввода новых генерирующих мощностей [1].

В настоящее время основным перспективным источником электроэнергии и на ближайшее будущее в Таджикистане является гидроэнергетика. Большие потенциальные возможности, сравнительно низкая себестоимость электроэнергии, производимой на ГЭС в Таджикистане, делает ее бесконкурентным источником энергии. Большинство гидроэлек-

тростанций (ГЭС) сосредоточены на реке Вахш и при полностью реализованном каскаде общая мощность будет составлять 9195 МВт. Естественно, в этом случае Вахшский каскад будет доминировать в регионе. На рисунке 3 показаны профиль реки Вахш с указанием высоты над уровнем моря и расположение ГЭС Вахшского каскада.

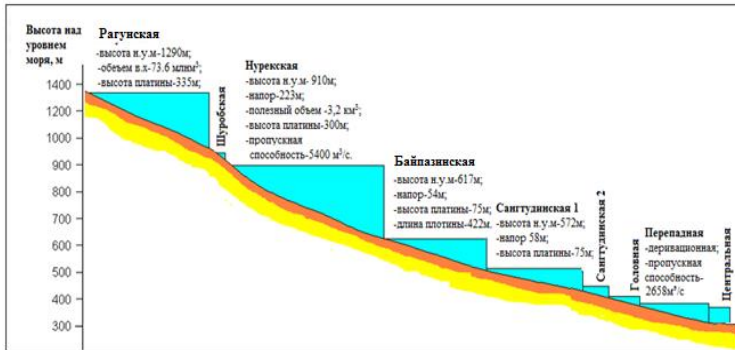


Рис. 3 – Структура каскада Вахшских ГЭС

Одним из основных параметров режима работы энергосистемы является частота. Для поддержания частоты в допустимых пределах необходимо соблюдение баланса мощностей, а именно генерируемой мощности и мощности потребляемой [2]. Для поддержания баланса мощностей в системе используется автоматика регулирования частоты и перетоков активной мощности (АРЧМ). Этот вид автоматики должен обеспечивать поддержание среднего отклонения номинального значения частоты с допустимым отклонением, не превышающим $\pm 0,1$ Гц. Основными задачами АРЧМ при распределении заданий на выработку активной мощности между ГЭС являются следующие [3]:

- автоматическое астатическое регулирование частоты в объединённой энергосистеме;
- автоматическое ограничение перетоков мощности по системообразующим связям (исключение перегрузок по току);
- автоматическое управление перетоком мощности в заданном сечении с коррекцией по частоте (режим АРПЧ).

АРЧМ энергосистемы обеспечивает автоматическое поддержание заданной мощности электростанций со статизмом по частоте, что необходимо для их участия в первичном регулировании частоты. Эта система позволяет автоматически изменять задания активной мощности, выдаваемые на электростанции. ГЭС, по сравнению с другими видами электро-

станций, позволяют наиболее гибко осуществлять регулирование активной мощности, в том числе и для поддержания частоты в энергосистеме. Для реализации управляющих воздействии от АРЧМ энергосистемы на ГЭС устанавливаются групповые регуляторы частоты и активной мощности (ГРАМ).

Основными требованиями к системе ГРАМ на ГЭС являются:

-обеспечение участия ГЭС в регулировании режима работы энергосистемы по частоте и перетокам активной мощности, при выполнении которого не должен препятствовать работе первичных регуляторов, выполняющих функцию первичного регулирования частоты (общего и нормированного), и реализовывать управляющие воздействия вторичного регулирования;

-регулирование активной мощности при выполнении заданий по вторичному регулированию должно выполняться в автоматическом режиме без участия оперативного персонала станции в пределах заданных значений резервов для вторичного регулирования;

-переходный процесс изменения активной мощности, обусловленного вторичным регулированием должен иметь аperiodический характер без перерегулирования;

-при реализации изменения активной мощности в рамках вторичного регулирования отклонение от задания не должно превышать 1 % номинальной мощности станции.

Заключение

Решение вопросов реализации АРЧМ для энергетической системы Таджикистана является актуальной научной задачей, при рассмотрении которой должны учтены особенности работы ГЭС Вахшского каскада и их взаимодействие с ОЭС Центральной Азии и связанных с ней энергосистемами Афганистана и Пакистана.

Литература:

1. Официальный сайт проекта CASA – 1000 [Электронный ресурс].– URL: <http://www.casa1000.org/>.

2. Дроздов А.Д., Засыпкин А.С., Аллилуев А.А., Савин М.М. Автоматизация энергетических систем // – М.: Энергия, 1977. –440 с.

3. СТО 59012820.27.100.003-2012. Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС России. Нормы и требования. Утвержден и введен в действие Приказом открытого акционерного общества «Системный оператор Единой энергетической системы» от 05.12.2012г. № 475. 27 с.

АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ ANYLOGIC ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПА АДРЕСНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ И ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ

Н.А. Иванов, И.В. Прибыльский, Е.А. Смоленкова
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nikolay_ivanov_99@mail.ru

Для электроэнергетических систем (ЭЭС), содержащих в ГЭС, характерна значительная неопределённость плановых энергетических балансов, что связано с неравномерностью нагрузки потребителей и с изменчивостью речного стока. При управлении нормальными режимами решаются две основные оптимизационные задачи: распределение нагрузки между станциями и снижение потерь мощности в электрической сети. В статье первая задача решается с помощью применения агентного моделирования в программной среде Anylogic. Показана актуальность такой задачи для ГЭС, работающих в каскаде. В зависимости от загрузки электростанций изменяются величины и трассы потоков мощности по линиям. В литературе такие задачи относят к адресным задачам или к задачам трассировки потоков мощности.

For electric power systems (EES) containing hydroelectric power plants, significant uncertainty of planned energy balances is characteristic, which is associated with the uneven load of consumers and the variability of river flow. When managing normal modes, two main optimization tasks are solved: load distribution between stations and reduction of power losses in the electric network. In the article, the first problem is solved by applying agent-based modeling in the Anylogic software environment. The relevance of this problem for hydroelectric power plants operating in a cascade is shown. Depending on the load of power plants, the values and routes of power flows along the lines change. In the literature, such problems are referred to as address problems or power flow tracing problems.

Моделирование является одним из способов решения сложных научных и практических задач. В имитационном моделировании выделяют три подхода: системная динамика, агентное моделирование и дискретно-событийное моделирование. Каждый подход применяется в некотором диапазоне уровней абстракции. Для решения задачи, поставленной в исследовании, был выбран подход «Агентное моделирование», поскольку он предполагает средний уровень абстракции и, как правило, используется для объектно-ориентированного моделирования и построения диаграммы состояний.

Объектом энергосистемы выступит энергосистема Памира. ГЭС дают неоспоримые преимущества в экономичности и режимных свойствах. Однако имеются огромные трудности в регулировании таких систем, так как в тепловой системе изменение режима станций зависит главным образом от изменчивости нагрузки, то в гидротепловой – от изменчивости

нагрузки и от стока через ГЭС. Прогноз нагрузок с годовым упреждением имеет погрешность 5...7%, а изменчивость выработки электроэнергии ГЭС может составлять до 50% при условии применения технологии непрерывных корректировок [2, 3]. Управление режимами при такой неопределённости становится очень сложной задачей, при этом изменяются адресные потоки и трассы.

Наиболее важными для управления режимами ЭЭС являются оперативные и текущие балансы мощностей. Уравнение баланса мощности является одним из наиболее жестких ограничений при решении задачи загрузки электростанций, влияющих на режим всей энергосистемы. Цель данной модели – оптимизировать режим работы ГЭС используя модельное разделение потоков и потерь мощности.

Методика разделения потоков и потерь мощности. При расчете нормальных режимов определяются все траектории потоков и потерь мощностей и их стоимостей от генераторных к нагрузочным узлам.

В сетях произвольной конфигурации матрица токораспределения задающих токов на нагрузках по ветвям имеет вид:

$$T * n = Y_e * M_t * Y^{-1} * J_D = I \quad (1)$$

где Y_e - столбцовая матрица проводимостей ветвей; M_t - транспонированная матрица матрицы соединений по узлам; Y - матрица собственных и взаимных проводимостей схемы сети; J_D - диагональная матрица задающих токов, I - столбцовая матрица токов в ветвях, T - матрица токораспределения, n - столбцовая единичная матрица.

По ее данным определяется адресность потоков мощностей.

Матрица составляющих потерь мощности в ветвях схемы сети от протекания по ним токов нагрузок:

$$\Delta P_e = r_D [\alpha T^2] \quad (2)$$

где r_D - диагональная матрица сопротивлений схемы сети, а элементы матрицы $[\alpha T^2]$ рассчитываются по следующим формулам:

$$\alpha_{ki} J_{ki}^2 = I_{ki}^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{j=n} (J_{kia} J_{kja} + J_{kip} J_{kjp}) \quad (4)$$

При оптимизации нормальных режимов ЭЭС решаются взаимосвязанные задачи выбора оптимального состава работающих на электростанциях агрегатов и распределения нагрузки между электростанциями и агрегатами с учетом всех стационарных и системных ограничений как

мгновенного, так и интегрального характера. Эффективность наивыгоднейшего распределения нагрузки системы оценивается экономией 0,5-1,5% суммарного расхода условного топлива, а эффективность оптимизации состава агрегатов в несколько раз выше. Для решения данной задачи представлен блок программы AnyLogic, созданный с помощью агентного моделирования.

Преимущества имитационного моделирования в AnyLogic:

1. Возможность пошагового и модульного моделирования.
2. Структура имитационной модели естественным образом отображает структуру моделируемой системы.
3. Встроенный аппарат предективной аналитики, позволяющий оценивать параметры системы в любой момент времени.
4. Анимированный процесс моделирования позволяет демонстрировать работу системы при изменении влияющих факторов и упрощает процесс верификации модели.

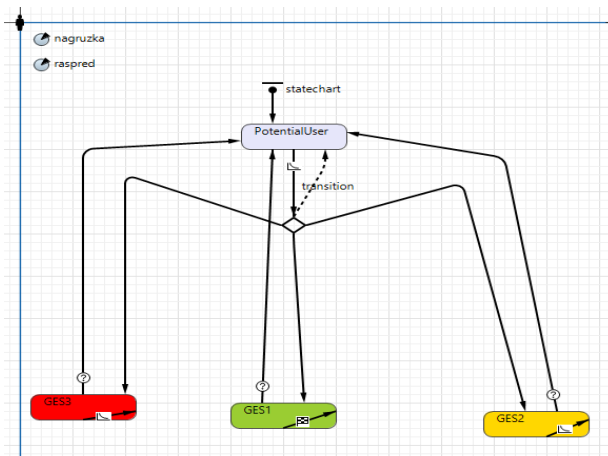


Рис. 2 – Модель каскада ГЭС AnyLogic

На рисунке 2 смоделирован каскад ГЭС, состоящий из таких объектов, как Памир-1 и Хорог, Намангут, в проекте как ГЭС1, ГЭС2 и ГЭС3. Также имеются неподключенные потребители. На рисунке 3 изображён график подключения потребителей, имеется возможность загружать и разгружать ГЭС и в зависимости от этого потребитель будет подключаться к различным ГЭС.



Рис. 3 – График подключений потребителей

В перспективе планируется интеграция данных геоинформационных технологий, усовершенствование логики распределения потребителей, использование более точных расчётов на основе данных по нагрузке.

Заключение

Использование данной модели позволит уменьшить неопределенность решений и повысить эффективность управления энергетически балансами.

Литература:

1. AnyLogic за три дня: практическое пособие по имитационному моделированию/ И. Григорьев– Изд-во: Интернет-издание, 2016– 202 с. <https://www.anylogic.ru/resources/books/free-simulation-book-and-modeling-tutorials/>
2. Русина А.Г. Развитие теории и методологии анализа электроэнергетических систем для управления установившимися режимами: дис. докт.техн.наук / Русина А.Г. – Новосибирск, 2013. – 297 с.
3. Гидроэнергетика: учебное пособие / М.Ш. Мисриханов, А. Г. Русина, Ю. М. Сидоркин, Т. А. Филиппова. – 2-е изд., перераб. - Новосибирск: изд-во НГТУ, 2012. - 620 с. (Серия «Учебники НГТУ»)
4. Адресность потокораспределения для электроэнергетиков: учебник / А.З. Гамм, И.И. Голуб, А.Г. Русина, Т.А. Филиппова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.-284 с.
5. Оценка использования ресурсов ГЭС при их работе в электроэнергетических системах / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова, Е. А. Совбан, Д. Х. Худжасаидов // Энергия: экономика, техника, экология. - 2016. - № 9. - С. 27-32.

НОВОЕ ЦИФРОВОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ РЕТРОФИТА УСТРОЙСТВ РЗА НА ПОДСТАНЦИЯХ

М.И. Камусин

ООО «Ноябрьскэнергонефть»,
г. Ноябрьск, m.kamusin@yandex.ru

В работе рассматривается проблема обязательной замены электромеханических реле на подстанциях, находящихся на обслуживании ООО «НЭН», которые превысили паспортный срок службы. При этом необходимо сравнить представленные на рынке технические решения и выбрать оптимальный вариант ретрофита для его реализации.

This article describes with the problem of mandatory replacement of electromechanical relays at substations serviced by LLC "NEN", which have exceeded their passport service life. At the same time, it is necessary to compare the technical solutions presented on the market and choose the best retrofit option for its implementation.

Эксплуатируемые по сей день электромеханические (ЭМ) реле имеют ряд недостатков, среди них: 1) низкая техническая функциональность, которая проявляется малым диапазоном выбора и сложностью точного выставления уставки; 2) низкая надежность работы из-за больших выдержек времени и погрешности при срабатывании; 3) большие затраты на техническое обслуживание и расследование аварийных ситуаций; 4) высокий износ.

Большая часть реле находится в эксплуатации более 25 лет, что влечет за собой увеличение вероятности возникновения аварийных ситуаций вследствие отказов защит или ложных срабатываний. Согласно данным о результатах функционирования ЭМ устройств РЗА СО ЕЭС за 2020 год [1], на 404 отказа ЭМ устройств 118 происходит по причине старения, что составляет 29,2%.

Наилучшим решением для проведения ретрофита устройств РЗА является замена ЭМ реле на современные МП устройства, которые имеют следующие преимущества: 1) Повышение надежности, чувствительности, быстродействия; 2) Снижение вероятности неселективной работы; 3) Наличие самодиагностики; 4) Удаленное управление и мониторинг, что приводит к снижению человеческих ресурсов; 5) Повышение уровня безопасности обслуживания электроустановок.

Для оценки МП устройств была собрана информация по бюджетным устройствам (Таблица 1) не дороже 60 тыс.руб. (на 2020 год). Сформированы минимальные Технические требования для проведения ретрофита на ПС типа ST-7. Среди всех проанализированных устройств соответствующими являются TOP-120 и Лютик-Т. Выбор сделан в пользу последнего ввиду его низкой стоимости и длительной гарантии. Весомой

функциональной возможностью этих устройств является наличие цифровой шины «НЕРВ».

Цифровая шина «НЕРВ» представляет собой систему нижнего уровня ПС, соединяющей посредством экранированной витой пары все устройства РЗА. С ее помощью работают защиты ЛЗШ, УРОВ, АВР, ВНР и пуск по току ЗДЗ.

На представленной типовой схеме ПС 35/6кВ типа ST-7 (Рисунок 1) изображены устройства РЗА, которые соединены между собой цифровой шиной для реализации защит и интерфейсом RS-485 для сбора данных подстанционным контроллером и дальнейшей их передачей в систему SCADA. Для упрощения проведения монтажных работ целесообразно установка МП устройств в составе двери релейного отсека с новыми щитовыми приборами, кнопками, светосигнальной арматурой и счетчиками. Так же учтены устройства дуговой защиты в каждую ячейку КРУН.

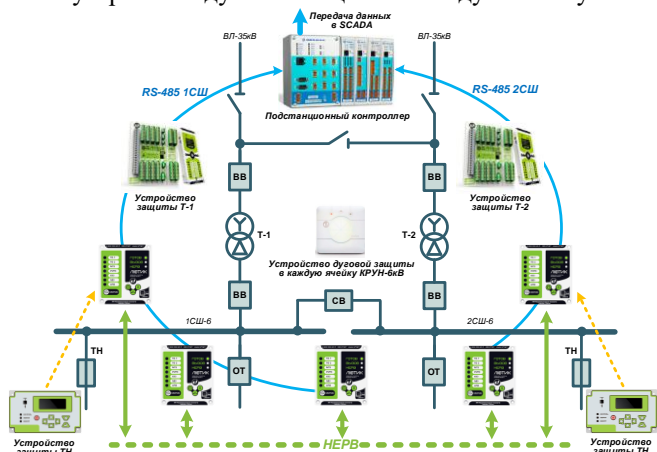


Рис. 1 – Пример построения релейной защиты на типовой ПС 35/6кВ типа ST-7

**Таблица 1 – Анализ предложений на рынке МП устройств
в среднем ценовом сегменте**

Наименование МП устройства РЗА	Минимальные технические характеристики	Лютик-Т	Орион-РТЗ	БМРЗ-50	МКЗП-Микро	ТОР 100-16
		Микропроцессорные технологии	Радиус Автоматика	Механотроника	Эстра	Релематика
Кол-во дискретных входов	7	4 (9 с учетом Шины)	10	8	4	10
Кол-во дискретных выходов	7	4 (9 с учетом Шины)	10	7	4	10
Питание от цепей тока	+	+	+	+	+	+
Регистрация аварийный осциллограмм	+	+	-	+	+	+
Самодиагностика	+	+	+	+	+	+
Управление выключателя с лицевой панели	+	+	-	-	+	+
Интерфейс связи RS-485	+	+	-	+	+	+
Аналоговые входы по напряжению	Желательно	-	-	-	+	+
Питание от USB	Желательно	+	-	-	+	+
Встроенные энергонезависимые блинкера	Желательно	7	-	5	-	-
Цифровая шина	Желательно	+	-	-	-	-
Гарантия, лет	5	10	3	5	8	10
Цена с НДС, тыс. рублей	-	28	48	58	30	50

Экономический расчет (Таблица 2) произведен на примере типовой ПС 35/6кВ типа ST-7 (кол-во ячеек – 22). Срок окупаемости проекта с учетом годовой ставки дисконта составляет 4,4 года.

Таблица 2 – Расчет экономической целесообразности проекта

Ретрофит устройств РЗА на типовой ПС 35/6кВ типа ST-7	CAPEX, тыс.руб.	Годовая экономия, тыс.руб.
Расчет доходных составляющих		
Уменьшение времени проведения ТО		389,3
Уменьшение вероятности отказа устройств РЗА		93,1
Уменьшение риска повреждения оборудования, в результате длительного протекания тока КЗ		1 074,8
Расчет капитальных затрат		
Алтей-БЗП (Основной блок + выносной пульт)	170	
Блок питания от цепей тока Пион-Т	26,7	
Релейная дверь ВВ (Люттик-Т, Лайм, Счетчик)	556,7	
Релейная дверь ОЛ (Люттик-Т, Лайм, Счетчик)	2 680	
Релейная дверь СВ (Люттик-Т, Лайм)	271	
Релейная дверь ТН (БЗП-01, Лайм)	523	
Подстанционный контроллер ЦП2.03	194	
Доступ к системе БШПД	21	
Итого	4 442,5	1 557,3

Ресурс электромеханических реле на половине ПС АО «Газпром-нефть-ННГ» уже выработан, что неизбежно приводит к снижению надежности работы электроустановок, как следствие к большим потерям добычи нефти. Единственным рациональным выходом в сложившейся ситуации является их замена (ретрофит) на новые устройства РЗА. По техническим, экономическим и функциональным показателям целесообразен переход на МП устройства с «цифровой» шиной.

Литература:

1. Официальный сайт Системного оператора Единой Энергетической системы. Информация о результатах функционирования устройств РЗА в ЕЭС России в 2020 году. URL: http://so-ups.ru/index.php?id=rza_results_info

2. Стандарт организации ПАО «Россети» СТО 34.01-4.1-008-2018. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики. Методические указания по расчёту надёжности. Дата введения: 28.04.2018.
3. Укрупненные нормы времени на техническое обслуживание устройств релейной защиты и автоматики для типовых схем присоединений. Утвержден заместителем Министра СССР энергетики и электрификации СССР В.Л. Смирновым 24.04.1990 г.
4. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – 4-е изд., перераб. и доп. – 350 стр., ил.

УСИЛЕНИЕ КОНТРОЛЯ ЗА РАБОТОЙ ЩЁТОЧНО-КОНТАКТНОГО АППАРАТА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

В.В. Клименко, А.А. Грибанов

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, klimenko-vika_56@mail.ru, diread@mail.ru

Турбогенераторы в настоящее время являются основным видом генерирующего оборудования, подавляющая часть которых работает на системе возбуждения через щёточно-контактный аппарат. Щёточно-контактный аппарат является одним из самых слабых конструктивных узлов турбогенератора, поскольку имеет скользящий контакт, и требует усиления контроля за его работой.

Turbogenerators are currently the main type of generating equipment, the vast majority of which operate on an excitation system through a brush-contact apparatus. The brush-contact apparatus is one of the weakest structural units of the turbogenerator, since it has a sliding contact, and requires increased control over its operation.

В структуре генерации электрической энергии России тепловые электрические станции занимают ведущее место. По итогам 2019 года коэффициент использования установленной мощности, произведенной тепловыми станциями, составляет 45,7% календарного времени. В структуре установленной мощности электростанций нашей страны данный тип генерации составляет 66,82%.

Выработку электроэнергии на тепловых станциях обеспечивают турбогенераторы. Такой тип генераторов представляют собой основной вид генерирующего оборудования, турбогенераторы обеспечивают почти 80% общей выработки электрической энергии. Турбогенераторы представляют собой генератор, соединенный с турбиной. Данные генераторы в качестве механического привода могут иметь паровые или газовые тур-

бины, они обязательно снабжаются системой возбуждения, и от надёжности её работы в большой степени зависит надёжная и устойчивая работа всего турбогенератора. С помощью возбуждения генератора (варьирования подающегося им тока) обеспечивается регулировка отданной в сеть реактивной мощности, а также поддержание устойчивости параллельной работы системы.

Электрический контакт возбудителя с обмоткой ротора преимущественно обеспечивается с помощью щёточно-контактного аппарата. В настоящий момент создана также бесщёточная система возбуждения, но идея ее создания рождалась несколько позже, когда многие тепловые станции уже были введены в эксплуатацию. К тому же, применение такой системы более обосновано для генераторов высокой мощности. Системы возбуждения с щёточно-контактными аппаратами в свою очередь являются более быстродействующими и маневрируемыми, но менее надёжными.

Щёточно-контактный аппарат турбогенераторов является одним из наиболее слабых конструктивных узлов. В процессе эксплуатации он требует непрерывного обслуживания и оперативного устранения возникающих дефектов, которые возникают достаточно часто. Процентное соотношение количества отказов турбогенераторов по причине нарушений в работе щёточно-контактных аппаратов в сравнении с другими причинами из года в год остаётся стабильно высоким и держится на уровне 13-15%. Приказом №676 Министерства энергетики России от 26.07.2017 «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования» в соответствии с Постановлением Правительства РФ №1401, в целях контроля технико-экономического состояния объектов электроэнергетики была разработана «Методика оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей» (далее – Методика). 17 марта 2020 г. Методика претерпела изменения. В соответствии с данной Методикой 4,8% значения индекса технического состояния турбогенератора составляет техническое состояние щёточно-контактного аппарата. [4]

Считается, что процессы, происходящие при работе щёточно-контактного аппарата, являются малоизученной частью процесса генерирования электроэнергии. Рассмотрим подробнее составные части данного конструктивного узла турбогенератора, которые обозначены на рисунке 1. Обозначения на рисунке 1: 1-28 – щётки и щёткодержатели; I-II – траверсы; а - зазор между щёткодержателями и контактной поверхностью

колец; b – глубина сечения винтовой канавки, c – ширина сечения винтовой канавки; D – диаметр контактного кольца; e – зазор между обоймой и щеткой.

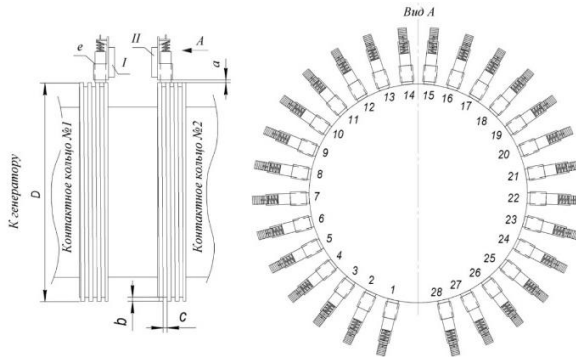


Рис. 1 – Общий вид щёточно-контактного аппарата на примере турбогенератора ТВ-60-2

ГОСТом 53617-2009 установлено почти сорок видов щёток электрических машин в зависимости от конструктивных исполнений. В зависимости от состава они делят на графитные, углеграфитные, электрографитные и металлографитные. Основой всех типов щёток является графитный или углеродный порошок, к нему добавляются различные примеси в зависимости от сферы применения, например, медный порошок, а также связующих веществ. Перед применением щётки проходят процедуру спекания при температуре до $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, в процессе чего выгорание и обугливание входящих в состав органических веществ приводит к образованию прочной кристаллической графитовой структуры. Далее шлифовкой подгоняют под размеры, установленные ГОСТом. Такие щётки в зависимости от состава обеспечивают легкую коммутацию, являются устойчивыми к высоким токовым нагрузкам и обладают значительной механической прочностью. [3]

Регистрация дефектов в работе щёточно-контактного аппарата и определение их причин во время нахождения машины в работе очень затруднительно. Рассмотрим основные причины нарушений в работе щёточно-контактного аппарата без учета дефектов контактных колец: дефекты восьми сборочных единиц (91,8%) (в том числе щётки (38,4%), щёткодержатели (17,8%)); загрязнение (11%); попадание постороннего предмета (9,6%); неправильные действия персонала (8,2%). [1]

Процесс передачи тока ротору от возбuditеля происходит на границе щётка-контактное кольцо. Этот контакт называют скользящим (контакт, существующий при перемещении (скольжении) одного элемента относительно другого). Исследования показали, что данный контакт сопровождается не только физическими и электрическими процессами, но и химическими. Например, образование «политуры» (оксидной пленки на поверхности контактного кольца, образующейся при контакте металла с внешней средой), а также разрушение ее микроплазменными каналами, вследствие чего наблюдается чрезмерное повышение температуры, испарение металла и проникание его в «политуру». Повышение температуры приводит к самому распространенному дефекту в работе щёточно-контактного аппарата – возникновению искрения.[1]

Согласно типовой инструкции по эксплуатации и ремонту узла контактных колец и щёточного аппарата турбогенератора допускается слабое искрение под небольшой частью щёток (степенью 1,25), к тому же не каждый работник ввиду отсутствия опыта может оценить степень искрения щёток. [2]

Типовая инструкция по эксплуатации и ремонту узла контактных колец и щёточного аппарата турбогенераторов в последний раз претерпела изменения в 2001 году. За прошедшие годы проведено большое количество исследований, доказывающих необходимость пересмотра или дополнения вышеуказанной инструкции. Также статистика показывает, что подавляющая часть персонала, обслуживающего щёточно-контактный аппарат турбогенераторов, не имеют четкого представления о процессах, происходящих в скользящем контакте и не могут точно оценить степень искрения, возникающего под щётками, определить причину его возникновения.

Таким образом, необходим постоянный мониторинг технического состояния щёточно-контактного аппарата машины с последующим анализом полученных данных, подкрепленный количественным показателем – индексом технического состояния; повышение квалификации персонала электрических цехов, обслуживающих турбогенераторы; актуализация и систематизация мероприятий по обслуживанию щёточно-контактных аппаратов.

Литература:

1. Самородов Ю. Н. Парадоксальные свойства скользящего контакта в ЩКА / Самородов Ю. Н. – М. : Энергопрогресс : Энергетик, 2013 . – 56 с. – (Библиотечка электротехника, приложение к журналу "Энергетик"; Вып. 6(174)) . - ISBN 0013-7278

2. РД 153-34.0-45.510-98 Типовая инструкция по эксплуатации и ремонту узла контактных колец и щеточного аппарата турбогенераторов мощностью 63 МВт и выше. – Введ. 2000-07-01. - М.: СПО ОРГРЭС, 2000. – 84 с.

3. ГОСТ 53617-2009. Щетки электрических машин. Конструкция. Тип и размеры. – Введ. 2011-01-01. - М.: Стандартиформ, 2011. – 70 с.

4. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 26 июля 2017 года №676 «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей» (с изменениями на 17 марта 2020 года).

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ МАГНИТОПРОВОДА ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

И.И. Литвинов, Д.В. Корнилович, А.А. Марченко
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ucemahaty@gmail.ru

Проведен анализ существующих методов диагностики трансформаторов тока, доказывающий необходимость проведения научного исследования, направленного на разработку более чувствительных методов выявления дефектов конструкции измерительных трансформаторов. Разработан метод диагностики, позволяющий эффективно и с большой чувствительностью выявить повреждение магнитной системы измерительных трансформаторов. Альтернативный метод основан на гармоническом анализе тока намагничивания трансформатора тока.

The analysis of existing methods for diagnostics of current transformers is carried out, proving the need for scientific research aimed at developing more sensitive methods for detecting construction defects in instrument transformers. A diagnostic method has been developed that allows efficiently and with greater sensitivity to detect defects of the magnetic system of instrument transformers. An alternative method is based on harmonic analysis of the magnetizing current of the current transformer.

При расчете уставок устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) учитываются коэффициенты, заглубляющие их параметры, такие коэффициенты в том числе обусловлены погрешностью трансформаторов тока (ТТ). Измерительные трансформаторы – самое слабое звено системы РЗА, дефекты в этих устройствах могут появиться на любом этапе их жизненного цикла: заводские дефекты; дефекты, возникающие при

транспортировке и монтаже; повреждения, вызванные старением изоляции и т.д.

Наиболее часто повреждение ТТ связано с наличием короткозамкнутых витков в обмотке, однако наличие большой погрешности измерений ТТ может быть также связано с повреждением магнитопровода. В настоящее время сложность выявления повреждений ТТ заключается в отсутствии прямых методов, позволяющих определить наличие повреждения, его степень и тип. Наиболее известная методика диагностики по вольт-амперной характеристике (ВАХ) подходит для всех типов ТТ и не требует использования дорогих измерительных приборов, однако этот метод является нечувствительным к повреждениям, при которых ВАХ поврежденного трансформатора отличается от ВАХ эталонного менее, чем на 10% [1]. Метод по ВАХ, кроме того, не позволяет определить характер повреждения, что является важным для осуществления ремонтных работ.

Для анализа состояния ТТ предлагаемым гармоническим методом из функции мгновенного тока намагничивания трансформатора преобразованием Фурье выделяются основная и третья гармонические составляющие. Указанные составляющие тока соответственно записываются в виде комплексных векторов \underline{I}_1 , \underline{I}_3 после чего определяется значение вектора \underline{I}_{13} , равного [2]:

$$\underline{I}_{13} = \frac{I_3}{I_1} \langle \arg(\underline{I}_3) - 3 \arg(\underline{I}_1) \rangle. \quad (1)$$

Разработанный метод предполагает непосредственно сравнение фазы и амплитуды векторов поврежденного ТТ, полученных по формуле (1), с фазой и амплитудой эталонного вектора неповрежденного трансформатора.

В испытаниях протестированы трансформаторы тока серии ТВЛМ-10 и ТПЛ-10-М (1981 г.). Схема испытаний изображена на рис.1. В качестве источника переменного напряжения в экспериментах используется программно-аппаратный испытательный комплекс РЕТОМ-61. Аналоговый вход устройства подключен к выводам низкоомного резистора R . В качестве устройства измерения действующего значения тока намагничивания и напряжения, подведенного к зажимам ТТ, используется два типа мультиметров.

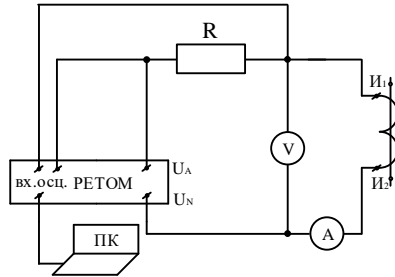


Рис. 1 – Схема испытаний трансформаторов

Для каждого ТТ построена ВАХ без повреждений и серия характеристик с повреждениями: расслабление стержней магнитопровода, механический удар по изоляции магнитопровода, разбор магнитопровода, извлечение пластин магнитопровода. Для нескольких действующих значений тока линейных и нелинейного участков каждой ВАХ зафиксированы мгновенные значения тока намагничивания трансформатора.

На рис.2 изображены гистограммы относительных значений фаз вектора δI_{13} , который представляет собой отношение разницы векторов \underline{I}_{13} , рассчитанных по формуле (1) для случая поврежденного и неповрежденного трансформатора, к значению вектора \underline{I}_{13} неповрежденного трансформатора. Фазы векторов поврежденного трансформатора значительно отличаются от фазы вектора тока намагничивания трансформатора без повреждений. При этом наибольший интерес представляют значения амплитуды вектора δI_{13} для ВАХ, отличающейся от ВАХ неповрежденного трансформатора менее, чем на 10% (рис.3). При разнице ВАХ от 5 до 10% относительные значения фаз вектора δI_{13} находятся в диапазоне от 13 до 23%. Выявить повреждение гармоническим методом является возможным не только по относительному значению амплитуды вектора δI_{13} , но и по относительному значению его фазы, в сравнении со значением фазы вектора тока \underline{I}_{13} неповрежденного ТТ. При разнице ВАХ от 5 до 10% относительные значения амплитуд вектора δI_{13} для рассматриваемых на рис.3 ТТ находятся в диапазоне от 13 до 31%.

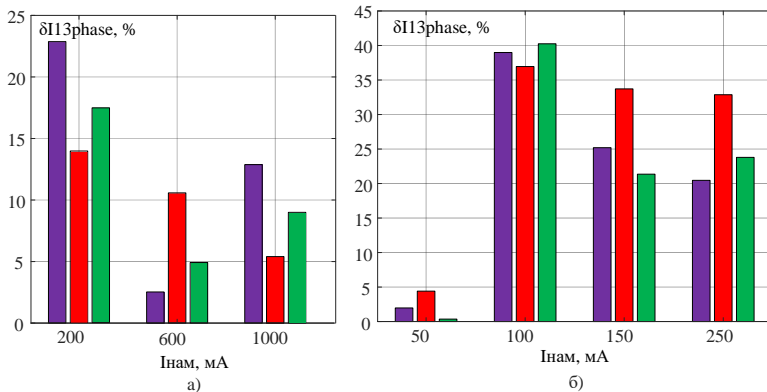


Рис. 2 – Гистограмма значений фаз параметра δI_{13} при различных действующих значениях тока намагничивания трансформаторов: а) ТВЛМ-10; б) ТПЛ-10-М с повреждением магнитопровода;

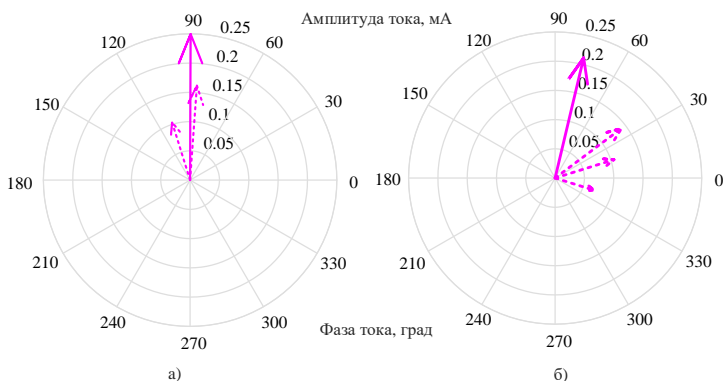


Рис. 3 – Вектор I_{13} на комплексной плоскости при различных значениях тока намагничивания для ВАХ, отличающейся от неповрежденной менее, чем на 10% для трансформаторов а) ТВЛМ-10; б) ТПЛ-10-М с повреждением магнитопровода;

Литература:

1. Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты. - 2-е изд. - М.: Энергия, 1977. - 89 с.
2. Б. Каптенни, Л. Севов Усовершенствованный алгоритм отстройки от бросков тока намагничивания // Релейщик №1 – Москва, 2009.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

А.С. Косарева, А.С. Трофимов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, anna8kosareva@gmail.com

В статье предложен алгоритм определения эффективности работы турбогенератора, основанный на оценке тепловых характеристик работающего агрегата, с целью диагностики и выявления дефектов.

The article proposes an algorithm for determining the efficiency of a turbine generator, based on an assessment of the thermal characteristics of an operating unit, in terms of diagnostics and defects.

Турбоагрегат – основной вид генерирующего оборудования, обеспечивающий около 80% мирового объема вырабатываемой электроэнергии. Турбогенератор – сложный тип электрооборудования, в котором совмещены процессы электромагнитные, нагрева, охлаждения, статической и динамической прочности элементов конструкции. Обеспечение максимальной эффективности и надежности функционирования ТГ является актуальной задачей.

Под эффективной работой турбогенератора понимается работа агрегата с максимальным коэффициентом полезного действия и минимальными затратами. Поэтому критерием оценки эффективности работы турбогенератора является его КПД. Согласно ГОСТ 25941-83 методы определения КПД делятся на непосредственные и косвенные, среди которых в том числе методы определения по механической и электрической мощности, нагрузочные методы, метод тарированной машины, калориметрический метод. В настоящее время активно внедряются цифровые технологии в электроэнергетику, и в связи с этим актуальной становится задача автоматизации контроля эффективности работы оборудования на основе технических параметров работы оборудования. Диагностические алгоритмы позволят проводить непрерывный мониторинг состояния турбогенератора с целью выявления повреждений на ранней стадии с возможностью предотвращения снижения эффективной работы.

В соответствии с ГОСТ 25941-83 регламентируются способы измерения потерь и определения КПД турбогенератора. Калориметрическим методом осуществляется измерения отдельных видов потерь с последующим их суммированием или одновременным измерением всех выделяющихся в машине потерь. Измерения могут быть проведены как непосредственным измерением расхода и превышения температуры охлажда-

ющей среды, так и тарированием превышения температуры охлаждающей среды без измерения её расхода, при этом для каждого контура охлаждения измерения проводятся отдельно.

Для определения КПД предложен ниже алгоритм на основе информации от автоматизированной системы контроля и диагностики генераторов.

На начальном этапе следует определить исходные параметры для расчета потерь. Базой данных является устройство АСКДГ. Система контроля снимает необходимые параметры работы ТГ. Измерение расхода, удельной теплоемкости, плотности охлаждающей среды и воздуха, а также превышения температуры охлаждающей среды и скорость движения воздуха должны быть произведены в соответствии с приведенными в ГОСТ 25941-83 условиями, приборами учета и характеристиками.

Если все необходимые данные получены, то устройство, реализующее данный алгоритм, приступает к вычислению суммарных потерь. После этого рассчитывается КПД турбогенератора по полученным результатам. Данные операции проводятся с определенной дискретностью, поскольку важно отследить изменение КПД в динамике.

Рассчитанные значения КПД отображаются на графике в зависимости от времени $f = \eta(t)$. Таким образом, имеется возможность оценить производную функции КПД. Дискретность измерений предлагается установить длительностью в один час.

Значение КПД турбогенератора в предложенном алгоритме следует рассматривать как функцию от потерь в синхронной машине. При увеличении потерь коэффициент полезного действия турбоагрегата будет снижаться. Для обеспечения эффективной работы и поддержания условий надежной работы турбогенератора следует учитывать, что производная полученной характеристики должна иметь неотрицательное значение. Несоблюдение этого условия свидетельствует об увеличении потерь в машине, для определения которых потребуются дополнительная диагностика и локализация причины потерь.

Однако следует отметить, что не всегда $\frac{d\eta(t)}{dt} < 0$ сигнализирует об увеличении потерь вследствие неполадок или аномального режима. Небольшие колебания значения $\frac{d\eta(t)}{dt}$ в определенном диапазоне характеризуют нормальный эксплуатационный режим. Величина потерь в турбогенераторе, а, следовательно, и КПД зависят от нагрузки, которую несёт машина. Например, потери в турбогенераторах малой и средней мощности могут составлять от 1,5 до 2,5% их активной мощности, снижаясь, как правило, с ростом мощности машины.

Целью разработки алгоритма является оценка состояния турбогенератора посредством динамики изменения производной зависимости $f = \eta(t)$. Разработанный алгоритм возможно реализовать на базе автоматизированной системы контроля и диагностики генераторов, которая позволит оценивать изменение состояния электрооборудования и оперативно реагировать на возникновение отклонений от нормальной работы.

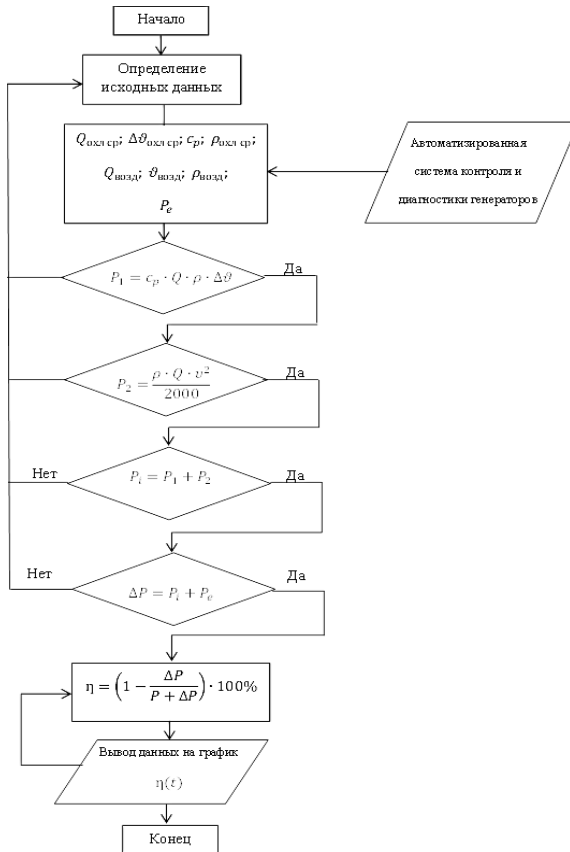


Рис. 1 – Алгоритм определения эффективности работы турбогенератора

Литература:

1. ГОСТ 25941-83. Машины электрические вращающиеся. Методы определения потерь и коэффициента полезного действия. – Введ. 01.01.1984 – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.

2. Азбукин Ю. И. Повышение эффективности эксплуатации турбогенераторов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 80 с., ил.

3. Старшинов В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие / В.А. Старшинов, М.В. Пираторов, М.А. Козина; под ред. В.А. Старшинова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 296 с.: ил.

4. Васин В. П. Основы эксплуатации электрооборудования станций и подстанций [Электронный ресурс]/ В. П. Васин – Режим доступа: <http://es.mpei.ac.ru/VasinVP/ekspEO.htm>. – Загл. с экрана.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ДИНАМИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ СКАЧКАХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЕМКОСТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

В.М. Лесс, А.В. Прокопов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, lessv134@gmail.com**

В статье рассмотрен альтернативный подход к решению переходных процессов в цепях с некорректными начальными условиями, предусматривающий преобразование линейной электрической цепи путем введения бесконечно малого сопротивления. Приводится сравнение результатов анализа динамической цепи с использованием закона сохранения заряда и второго закона коммутации.

The article discusses a method for solving transient processes in circuits with incorrect initial conditions, which provides for the transformation of a linear electrical circuit by introducing an infinitely small resistance. A comparison of the results of the analysis of a dynamic circuit using the law of conservation of charge and the second law of commutation is given.

В отличие от расчета установившихся режимов, расчет динамических режимов устройств, широко применяемых в энергетике, электромеханике, а также при расчетах электрических цепей, вызывает сложности анализа, вызванные изменениями токов и напряжений, являющихся функцией времени [1–5].

Так при анализе переходных процессов в электрических цепях наиболее трудоёмкой частью решения задачи является определение начальных условий [6–8]. При этом применяются первый и второй законы коммутации. Однако в ряде случаев возникает ситуация, когда законы коммутации цепей не выполняются, что вызвано их некорректной коммутацией и связано с особенностью их построения. Особенностью цепей с такими условиями является, например, одновременное параллельное включение

двух и более конденсаторов, заряженных до разных напряжений, где второй закон коммутации не выполняется. В таких случаях нельзя воспользоваться вторым законом коммутации, который гласит, что напряжение на конденсаторе не может измениться скачком [9, 10].

На рис. 1 представлена электрическая схема с начальными условиями. Данная цепь является наглядным примером некорректных начальных условий. На схеме видно, что до коммутации конденсатор C_1 заряжен до напряжения U , в то время как второй конденсатор C_2 полностью разряжен. Однако при замыкании ключа конденсаторы оказываются параллельными и их напряжения изменяются скачком.

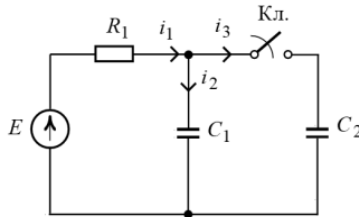


Рис. 1 – Схема электрической цепи с некорректными условиями

В качестве примера, зададимся следующими параметрами для электрической цепи: $U = 100 \text{ В}$; $C_1 = 10 \text{ мкФ}$; $C_2 = 7 \text{ мкФ}$; $R_1 = 30 \text{ Ом}$.

Применяя закон сохранения заряда и используя вышеприведённые параметры схемы (рис.1) получим зависимость изменения напряжения от времени на первом конденсаторе (рис. 2).

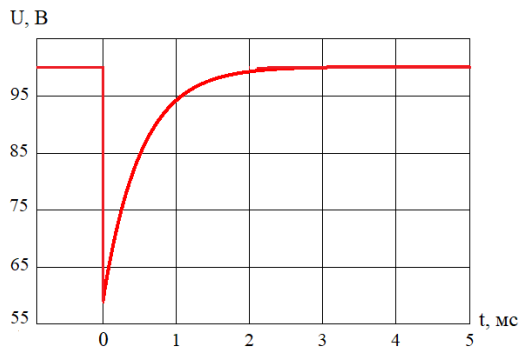


Рис. 2 – График напряжения, полученного через обобщенный закон коммутации для C_1

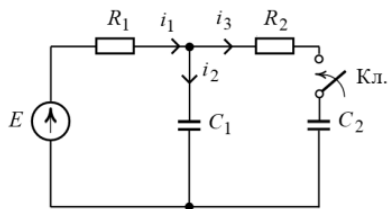


Рис. 3 – Преобразованная электрическая цепь порядка

Электрическая схема с некорректными начальными условиями преобразуется путем добавления в ветвь с конденсатором C_2 дополнительного сопротивления, значение которого очень мало.

Ввиду своей величины сопротивление R_2 не оказывает существенного влияния на расчётные величины, но в то же время предотвращает скачок напряжения на конденсаторах в первый момент времени. Таким образом, для решения переходного процесса можно воспользоваться вторым законом коммутации [9, 10].

Для схемы, представленной на рисунке 3, зададимся добавочным сопротивлением: $R_2 = 0,001 \text{ Ом}$. На рис. 4 представлена зависимость изменения напряжения U_{C_1} от времени.

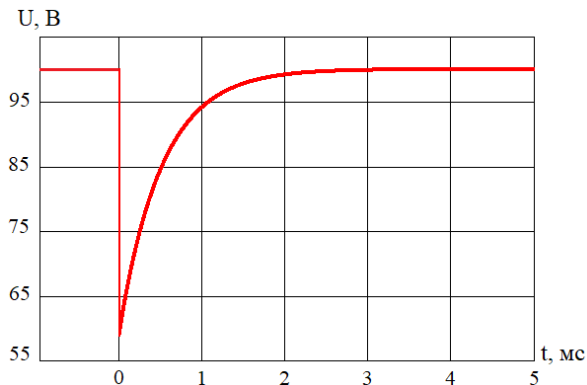


Рис. 4 – График напряжения, полученного вторым законом коммутации

Исследования, проведенные в данной работе, позволили продемонстрировать применимость метода дополнительного сопротивления при решении динамических процессов в линейных электрических цепях.

Добавление в электрическую цепь дополнительного сопротивления позволяет свести расчет цепи с некорректными начальными условиями к

цепи, где законы коммутации цепей выполняются. С помощью выполненных расчетов показано, что на точность расчета при использовании альтернативного подхода такая замена практически не оказывает никакого влияния.

Литература:

1. Прокопов А.В. Анализ переходных процессов в цепях высокого порядка методами структурного моделирования в Matlab Simulink / А.В. Прокопов, В.М. Лесс, В.Ю. Нейман // Сборник научных трудов в 9 ч. – 2019. – С. 75–78.
2. Нейман Л.А., Нейман В.Ю. Моделирование динамических процессов в электромагнитных преобразователях энергии для систем генерирования силовых воздействий и низкочастотных вибраций / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2015. – Т. 326. – № 4. – С. 154–162.
3. Нейман Л.А. Моделирование процессов в электромагнитном вибрационном преобразователе с потерями энергии в магнитопроводе / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2016. – Т. 19. – № 1. – С. 73–78.
4. Нейман Л.А. Расчет динамики электромагнитного привода колебательного движения с однополупериодным выпрямителем / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Вестник МЭИ. – 2016. – № 6. – С. 64–71.
5. Нейман Л.А. Математическая модель электромеханической системы колебательного движения с упругими связями / Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2015. – № 6. – С. 35–40.
6. Лесс В.М. Совершенствование подходов при расчете динамических цепей с нулевыми начальными условиями / В.М. Лесс, А.В. Прокопов, В.Ю. Нейман // Сборник научных трудов в 9 ч. – 2019. – С. 50–53.
7. Прокопов А.В. Исследование переходных процессов в сложных цепях высокого порядка при нулевых начальных условиях / А.В. Прокопов, В.М. Лесс // Вестник современных исследований. – 2019. – № 3-13. – С. 151–160.
8. Лесс В.М. Сравнение подходов к анализу динамических цепей с ненулевыми начальными условиями методами структурного моделирования / В.М. Лесс, А.В. Прокопов, В.Ю. Нейман // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2019. – №2 (95). – С. 35–49.
9. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 2000. – 638 с.

10. Малинин Л.И. Теория цепей современной электротехники / Л.И. Малинин, В.Ю. Нейман // Новосиб.: НГТУ, 2013. – 348 с.

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКАХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

И.И. Литвинов, А.А. Марченко, Д.В. Корнилович
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, alexandra_nstu@rambler.ru

Рассмотрены достоинства и недостатки различных методов диагностики трансформатора тока, позволяющие выявить в обмотках витковые замыкания – наиболее частые виды повреждения трансформаторного оборудования. Разработан более чувствительный метод диагностики повреждений, основанный на гармоническом анализе тока намагничивания. Эксперименты полностью подтверждают эффективность выявления витковых замыканий по относительной величине фазы и амплитуды вектора, полученного в результате преобразований гармонических составляющих вектора тока намагничивания.

Various diagnostic methods for detecting turn-to-turn faults (typical damage of transformer equipment) in a current transformer were considered, their advantages and disadvantages were established. A more sensitive method for diagnosing the turn-to-turn faults, based on harmonic analysis of the magnetizing current has been proposed. Experiments confirm the effectiveness of the developed method. It is possible to detect faults by analyzing the relative magnitude and the phase of the complex vectors obtained as a result of transformation of the harmonic components of the magnetizing currents of intact and damaged transformers

Витковые замыкания (ВЗ) являются одним из наиболее частых видов повреждения трансформаторного оборудования в целом и в частности – трансформаторов тока (ТТ).

В настоящее время сложность выявления ВЗ заключается в отсутствии прямых методов, позволяющих определить наличие короткозамкнутых витков в обмотке и дать оценку масштаба повреждения. Наиболее известной и широко используемой методикой диагностики является выявление межвитковых замыканий по вольт-амперной характеристике (ВАХ). Для проведения диагностики методом ВАХ не нужны дорогие измерительные приборы, он подходит для всех типов трансформаторов тока. Однако метод диагностики по ВАХ имеет ряд недостатков, к одним из которых относится критерий расхождения эталонной ВАХ с ВАХ трансформатора, имеющего с короткозамкнутые витки: достоверное выявление повреждения возможно только при расхождении ВАХ от 10 % и

более [1]. Таким образом, метод диагностики по ВАХ достоверен при значительном повреждении, мало чувствителен к развивающимся ВЗ.

Для анализа состояния ТТ предлагаемым гармоническим методом из функции мгновенного тока намагничивания трансформатора преобразованием Фурье выделяются основная и третья гармонические составляющие. Указанные составляющие тока соответственно записываются в виде комплексных векторов \underline{I}_1 , \underline{I}_3 после чего определяется значение вектора \underline{I}_{13} , равного

$$\underline{I}_{13} = \frac{I_3}{I_1} \langle \arg(I_3) - 3 \arg(I_1) \rangle. \quad (1)$$

Разработанный метод предполагает непосредственно сравнение фазы и амплитуды векторов поврежденного ТТ, полученных по формуле (1), с фазой и амплитудой эталонного вектора неповрежденного трансформатора [2].

В испытаниях протестированы трансформаторы тока производства Свердловского завода трансформаторов тока: ТОЛ-10-1, ТШЛ-0,66-Ш, ТПОЛ-10, ТПЛ-10-М.

Схема испытаний изображена на рис.1. В качестве источника переменного напряжения в экспериментах используется программно-аппаратный испытательный комплекс РЕТОМ-61. Аналоговый вход устройства подключен к выводам низкоомного резистора R , что необходимо для регистрации формы тока намагничивания исследуемого ТТ. В качестве устройства измерения действующего значения тока намагничивания и напряжения, подведённого к зажимам ТТ, используется два типа мультиметров: Mastech M890C⁺ и LINI UT51.

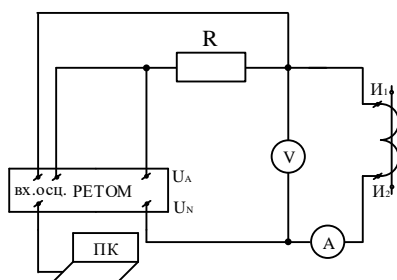


Рис. 1 – Схема испытаний трансформаторов

Для каждого ТТ построена ВАХ без повреждений и серия характеристик с повреждениями: замыкание одного или двух витков, витковое замыкание через переходное сопротивление различной величины. Для нескольких действующих значений тока линейных и нелинейного

участков каждой ВАХ зафиксированы мгновенные значения тока намагничивания трансформатора. В качестве примера приведены результаты испытаний трансформатора ТШЛ-0,66-III (рис.2).

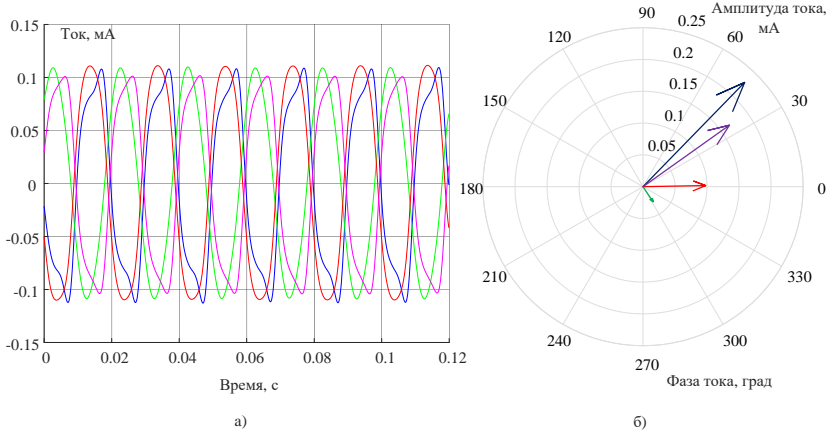


Рис. 2 – а) Осциллограммы тока намагничивания ТТ без КЗ витков (синий график), с одним КЗ витком (красный график) и двумя КЗ витками (зелёный график); б) Вектор I_{13} на комплексной плоскости для разных ВАХ при токе намагничивания 150 мА

На рис.2б можно оценить, что фазы векторов поврежденных ВАХ значительно отличаются от фазы вектора тока намагничивания неповрежденного ТТ. Гистограмма относительной разницы фазы δI_{13} вектора I_{13} для нескольких действующих значений тока намагничивания ВАХ трансформатора с различной степенью повреждения обмотки изображена на рис.3б. Наименьшее значение, равное 22%, параметр δI_{13} принимает при действующем значении тока намагничивания 500 мА. В этой точке относительная величина расхождения ВАХ составляет 4%. Таким образом, метод диагностики по ВАХ в данных условиях является недостаточно чувствительным для выявления повреждения. Выявить повреждение гармоническим методом является возможным не только по относительному значению фазы вектора δI_{13} , но и по относительному значению его амплитуды, в сравнении со значением амплитуды вектора тока I_{13} неповрежденного ТТ. Анализ результатов обработки данных испытуемых трансформаторов показал, что при отклонении поврежденной ВАХ на 10 % относительное отклонение фазы составит не менее 35 %, относительное отклонение амплитуды – более 20%. При разнице ВАХ в 1 %, разница фаз составляет для различных трансформаторов от 9 до 44 %, разница амплитуд – от 5 до 12 %.

Гармонический метод диагностики ТТ для выявления витковых замыканий обмотки показал свою полную эффективность и рекомендуется к применению совместно с методом ВАХ.

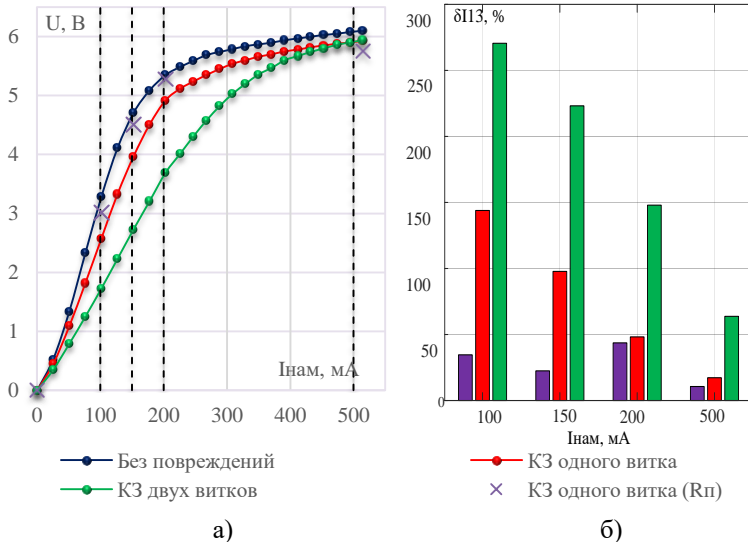


Рис. 3 – а) ВАХ ТТ без КЗ витков (синий график), с одним КЗ витком (красный график) и двумя КЗ витками (зелёный график); б) Гистограмма значений параметра ΔI_3 при различных значениях действующего тока намагничивания ТТ

Литература:

1. В. М. Лагутин, В.В. Телтя, В. В. Нетребский Усовершенствование испытаний измерительных трансформаторов в условиях эксплуатации // Научные труды Винницкого национального технического университета. – 2015. - №2. – С. 22-28.
2. Б. Каитенни, Л. Севов Усовершенствованный алгоритм отстройки от бросков тока намагничивания // Релейщик №1 – Москва, 2009.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ КОСВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

В.Е. Глазырин, М.В. Мизюн

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, m.mizyun@mail.ru**

В статье рассмотрено определение тока возбуждения синхронного генератора косвенным методом, а именно с помощью диаграммы Потье. Данный метод для определения тока возбуждения предполагает использование параметров режима статорной цепи. Это позволяет упростить аппаратную часть устройств релейной защиты и автоматики, где необходим контроль тока возбуждения.

The article discusses obtaining the excitation current of a synchronous generator by an indirect method, namely, using the Potier diagram. This method for determining the excitation current assumes the use of the stator circuit parameters. This makes it possible to simplify the hardware of relay protection and automation devices where excitation current control is required.

При построении систем релейной защиты и автоматики синхронных генераторов возникает необходимость контролировать его ток возбуждения. Непосредственное измерение этого тока в большинстве случаев затруднено технически, а в некоторых случаях вообще невозможно. Если на генераторе используется электромашинная или тиристорная система возбуждения, то непосредственное измерение тока возбуждения возможно, но является достаточно сложной технической задачей. Если же на генераторе используется высокочастотная или бесщёточная система возбуждения, то непосредственное измерение тока в обмотке возбуждения принципиально невозможно.

В данной работе рассматривается определение тока возбуждения синхронного генератора с использованием диаграммы Потье и характеристики холостого хода (х.х.х.) контролируемого генератора. Для построения диаграммы используются следующие параметры режима статорной цепи: фазные токи, фазные напряжения, активная мощность, реактивная мощность, коэффициент мощности. Необходимые параметры режима статорной цепи могут быть измерены с помощью многофункционального трёхфазного измерителя, в качестве которого может быть использован РМ130Р Plus. Прибор изображён на рисунке 1.



Рис. 1 – Многофункциональный трёхфазный измерительный прибор PM130P Plus

Далее будет рассмотрено построение диаграммы Потье (рисунок 2). Вектор напряжения на зажимах генератора \dot{U} совмещается с положительным направлением оси ординат. К нему пристраивается вектор тока статора \dot{I} , отстающий на угол φ . Геометрически суммируя вектор напряжения с падением напряжения на индуктивном $j\dot{I}x_{\sigma a}$ и активном $\dot{I}r_a$ сопротивлениях, определяется вектор индуцируемой в машине э.д.с. \dot{E}_δ . Падение напряжения в активном сопротивлении мало, поэтому им можно пренебречь:

$$\dot{E}_\delta = \dot{U} + j\dot{I}x_{\sigma a}. \quad (1)$$

По х.х.х. определяется намагничивающая сила (н.с.) \dot{F}_δ , необходимая для создания результирующего магнитного потока в зазоре генератора. Вектор результирующей н.с. опережает вектор \dot{E}_δ на 90° .

Поскольку ток в обмотке статора создаёт поток реакции якоря, необходимо учесть н.с. статора \dot{F}_a' , приведённую к обмотке возбуждения. Вектор н.с. статора совпадает по направлению с током статора и определяется по следующему выражению:

$$F_a' = k_a \cdot F_a = k_a \cdot \frac{m\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_1 k_{o61}}{p} \cdot I, \quad (2)$$

где k_a – коэффициент приведения н.с. реакции якоря к н.с. обмотки возбуждения, равный

$$k_a = \frac{\pi^2 \gamma}{8 \sin \frac{\gamma \pi}{2}}, \quad (3)$$

где γ – отношение обмотанной части полюса статора ко всему полюсному делению, лежит обычно в пределах $\gamma = 0,67 - 0,8$; m – число фаз статора; w_1 – число витков одной фазы обмотки статора; $k_{об1}$ – обмоточный коэффициент обмотки статора; p – количество пар полюсов; I – ток в обмотке статора. [1]

Результирующая н.с. \dot{F}_δ равна векторной сумме приведённой н.с. статора \dot{F}_a' и н.с. возбуждения \dot{F}_f , откуда выражается \dot{F}_f :

$$\dot{F}_\delta = \dot{F}_a' + \dot{F}_f \Rightarrow \dot{F}_f = \dot{F}_\delta - \dot{F}_a'. \quad (4)$$

Далее, исходя из F_f , находится искомый ток возбуждения i_f по выражению:

$$i_f = \frac{F_f}{w_f}, \quad (5)$$

где w_f – число витков обмотки возбуждения.

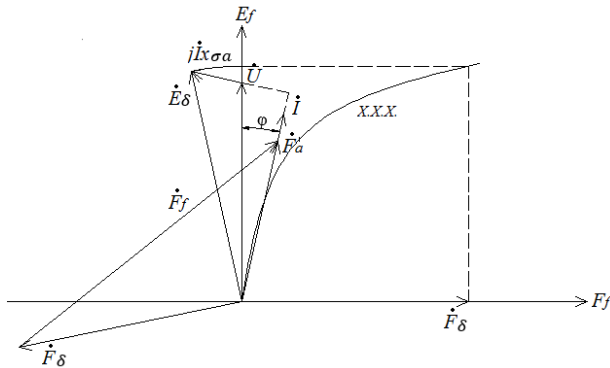


Рис. 2 – Диаграмма Потье, совмещенная с характеристикой холостого хода

Использование рассмотренного косвенного метода определения тока возбуждения синхронного генератора на основе информации о параметрах режима статорной цепи позволяет существенно упростить аппаратную часть устройств релейной защиты и автоматики, в которых необходим контроль тока возбуждения, особенно в тех случаях, в которых прямое включение измерительных средств в цепь возбуждения невозможно.

Литература:

1. *Костенко М.П., Пиотровский Л.М.* Электрические машины. В 2-х ч. Ч. 2. – Машины переменного тока. Учебник для студентов высш. техн. учеб. заведений. Изд. 3-е, перераб. Л., «Энергия», 1973. – 648 с., ил.
2. *Вольдек А.И.* Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с., ил.
3. *Жерве Г.К.* Промышленные испытания электрических машин. – 4-е изд., сокр. и перераб. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. – 408 с., ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУНЫХ РЕЖИМОВ И ПАРАМЕТРОВ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Г.Г. Муравьев, Е.И. Грачёва

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, muravyevgleb@mail.ru

Цель исследования – определить эксплуатационные характеристики кабельных линий, применяемых в электрооборудовании электрических станций. В статье рассмотрены технические параметры кабельных линий, в зависимости от температуры нагрева, материала жил и изоляции, типа прокладки и уровня напряжения.

The purpose of the study is to determine the operational characteristics of cable lines used in electrical equipment of power plants. The article discusses the technical parameters of cable lines, depending on the heating temperature, core material and insulation, type of laying and voltage level.

Любые промышленные изделия, включая кабельную и проводную продукцию для энергетики, принято классифицировать и описывать строго по определённым критериям, которые называют техническими ха-

рактиками. Они позволяют оптимально выбрать конкретную модель из большого разнообразия имеющихся изделий, обеспечить ее длительную и надежную работу.

Для кабельных линий (КЛ) следует выделить эксплуатационные параметры в зависимости от температуры нагрева и материала изоляции.

Важным элементом оборудования электрических станций является линия электропередачи (ЛЭП). Говоря о повышении надежности электроснабжения потребителей, стоит акцентировать внимание на видах и классах изоляции кабельных линий, так как они снижают фактор внешнего взаимодействия с токоведущей жилой.

Рассмотрим особенности КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена (СШЭ), поливинилхлорида (ПВХ) и бумаги (БП). [1,2] Для наглядности воспользуемся графиками зависимости температур жил кабелей от длительно допустимого тока в процентном отношении с учетом коэффициента загрузки.

Расчёты проведем по выражению (1) [3]:

$$I_{\text{доп}} = I \sqrt{\frac{t_{\text{доп}} - t_{\text{окр}}}{t_{\text{ж}} - t_{\text{окр}}}}. \quad (1)$$

Преобразовав выражение, получим (2):

$$t_{\text{ж}} = \frac{I^2(t_{\text{доп}} - t_{\text{окр}})}{I_{\text{доп}}^2} - t_{\text{окр}}. \quad (2)$$

Таким образом, графические зависимости рисунка 1 показывают, что температура жил кабеля с изоляцией из СШЭ АПвПг 3х95-10кВ выше, чем у ААШв 3х95-10кВ и ААГ 3х95-10кВ на различных этапах загрузки линии. Также стоит отметить, что чем больше значение длительно допустимой температуры жилы, зависящей от класса изоляции КЛ, тем больше значение температуры при возрастании токовой нагрузки. При нагрузке линии на 20 и 50% исследуемый параметр имеет разницу в 0,5-1°С.

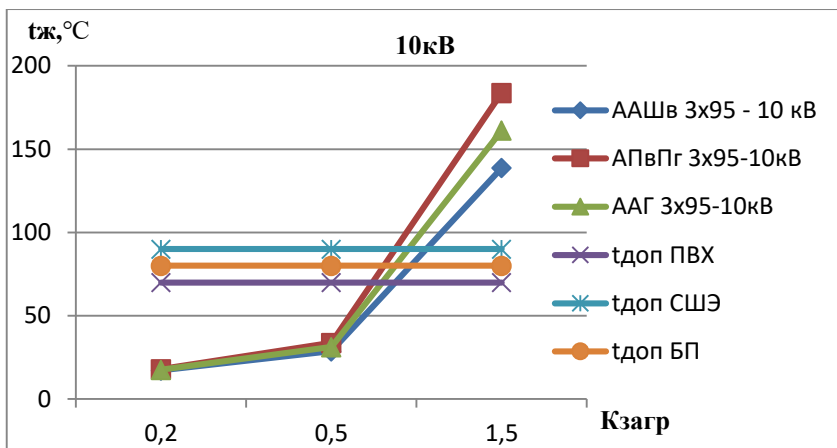


Рис. 1 – Зависимость величины температуры жилы от коэффициента загрузки КЛ 10 кВ

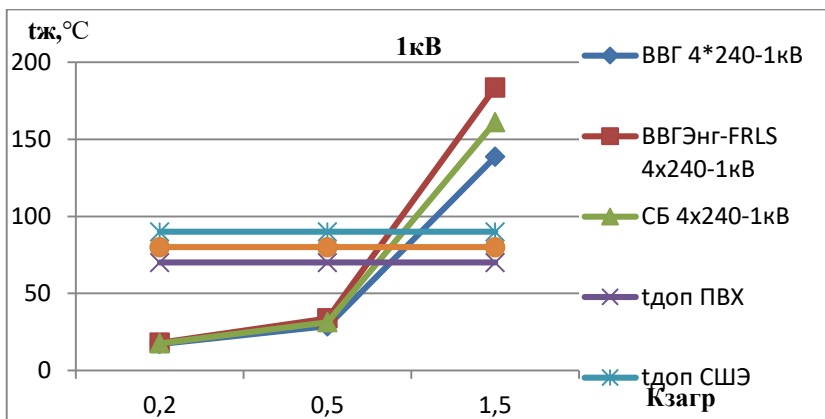


Рис. 2 – Зависимость величины температуры жилы от коэффициента загрузки и изоляции КЛ 1 кВ

Следовательно, можно сделать вывод о том, что следует применять в системах электрооборудования электрических станций КЛ с изоляцией из СШЭ, так как они имеют самую высокую допустимую температуру нагрева жил, что позволяет бесперебойно обеспечивать потребителя электрической энергией. Для потребителей, у которых требования к ка-

честву электроснабжения ниже, возможно применение кабельной продукции с БП и ПВХ изоляцией имеющих температуру нагрева жилы ниже.

Графические зависимости рисунка 2, показывают функциональную зависимость кабелей ВВГ 4х240-1кВ, ВВГЭнг-FRLS 4х240-1кВ, СБ 4х240-1кВ от коэффициента загрузки.

В статье исследованы технические параметры КЛ с медными и алюминиевыми токоведущими жилами с различным сечением, температура которых изменяется в зависимости от класса изоляции.

Литература:

1. Шайхутдинов Рустем Ринатович, Грачёва Елена Ивановна Применение современного электротехнического оборудования для снижения потерь электрической энергии в распределительных сетях // Вопросы науки и образования. 2019. №3 (47). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sovremennogo-elektrotehnicheskogo-oborudovaniya-dlya-snizheniya-poter-elektricheskoy-energii-v-raspredelitelnyh-setyah> (дата обращения: 15.11.2020).

2. Кабельно поисковая система [Электронный ресурс] // URL: <http://www/k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-bumajnoi-izolyaciei/aabl-1kv/> (дата обращения: 27.09.2020).

3. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения / Под ред. И. А. Баумштейна, С. А. Бажанова; Сост. Б. А. Астахов [и др.]. - Москва: Энергоатомиздат, 1989.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Д.А. Пехота, В.А. Фёдорова, В.А. Титов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, pexota.98@mail.ru**

Рассмотрены основные методы распознавания броска тока намагничивания (БТН) и короткого замыкания (КЗ), реализованные в современных защитах. Изучен теоретический вопрос о структуре и областях применения искусственных нейронных сетей (ИНС). Разработана методика обучения ИНС для восстановления кривых первичного тока в режимах КЗ и БТН. Произведено тестирование обученной ИНС на мат. модели насыщаемого трансформатора тока. Выполнена оценка эффективности разработанной методики.

The basic recognition methods of magnetizing inrush currents and fault currents implemented in modern relay protection devices are considered. The theoretical question of the structure and fields of application of artificial neural networks is studied. A methodology for training artificial neural networks to restore the waveforms of the primary current in the cases of short circuit and magnetizing inrush currents conditions has been developed. The trained neural network was tested on a mathematical model of a saturated current transformer. The effectiveness of the developed methodology was evaluated.

В устройствах дифференциальных токовых защит (ДЗТ) силовых трансформаторов широкое применения нашли методы гармонического анализа дифференциального тока для отстройки от броска тока намагничивания. При искажении формы кривой вторичного тока вследствие насыщения стали сердечника измерительного трансформатора тока (ТТ) защита оперирует искажёнными данными, в этих случаях соотношение высших гармоник к основной имеют другие значения нежели в первичной цепи. При некоторых обстоятельствах внутренние КЗ могут содержать коэффициент второй гармоники в первом периоде значительно выше чем уставки, принятые в дифференциальной защите. В таких случаях внутренних КЗ возможны случаи задержки срабатывания защиты, так как в самом начале переходного процесса защита неверно распознаёт режим работы силового трансформатора, принимая внутреннее КЗ за БТН и блокируя защиту.

В исследовании были реализованы математические модели силового трансформатора ТРДН-25000/110, трансформатора тока ТПЛ-10. На базе пакетов прикладных программ MATLAB и Python была создана и обучена нейронная сеть. Оценка эффективности работы ИНС произведена цифровым фильтром Фурье, посредством гармонического анализа кривых первичного тока, вторичного искажённого тока ТТ и восстановленного первичного тока на выходе ИНС.

Посредством использования математической модели силового трансформатора получены кривые БТН. В последующем они используются как первичный ток для насыщаемого ТТ.

Для обучения ИНС необходимо два массива данных: искажённый вторичный ток и значения приведённого истинного первичного тока. Обучение происходило по методу распространения обратной ошибки.

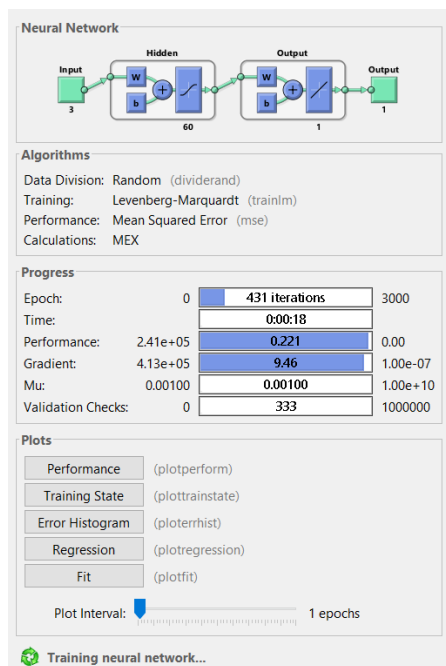


Рис. 1 – Процесс обучения искусственной нейронной сети

В ходе исследования были испробованы три методики составления массива входных данных, методика «счётчик», «i-1», их комбинация. Комбинация первых двух методик показала лучшие результаты, кривые восстановленного тока ИНС и первичного приведённого тока слились на рис.2.

На двух верхних графиках на рис.2 показана работа ИНС на выборках, моделирующих режимы КЗ и БТН, которые не были использована в процессе обучения сети, в отличие от двух нижних графиков на рис.2, на основе которых было проведено обучение ИНС.

Итогом обучения ИНС по новой методике стала возможность восстановления токов в режимах КЗ и БТН. Гармонический анализ посредством цифрового фильтра Фурье показал, что ИНС способна избежать задержки срабатывания защиты, верно восстановив первичный ток из искажённого тока, вне зависимости от режима.

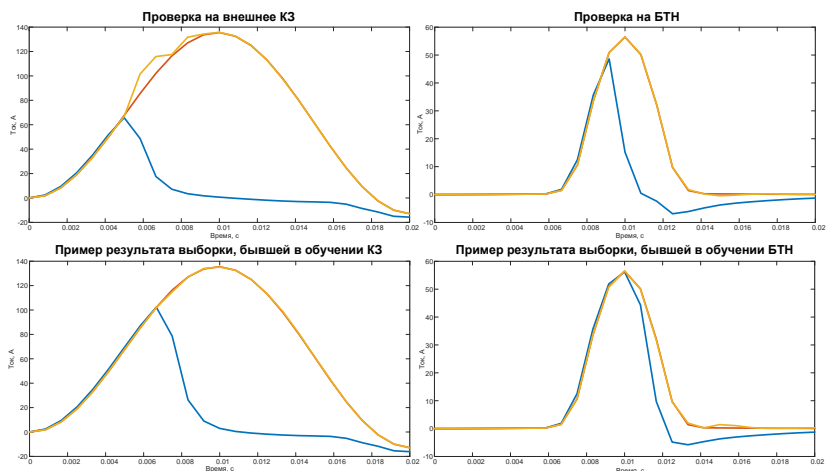


Рис.2 – Результаты восстановления токов ИНС

Литература:

1. Засыпкин А.С., Релейная защита трансформаторов. – М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
2. Каштенни, Б. Усовершенствованный алгоритм отстройки от бросков тока намагничивания / Б. Каштенни, Л. Севов // Релейщик. – 2009. – №1. – С. 30–41.
3. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2006. – 1104 с.: ил.-Парал. тит. англ.

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ КАСКАДА ГЭС В ПРОГРАМНОЙ СРЕДЕ ANYLOGIC

И.В. Прибыльский, И.Ф. Рудюк, Н.А.Иванов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Pribilvik@mail.ru

Несколько гидроэлектростанций (ГЭС), расположенных по течению одной реки и связанных между собой общим водохозяйственным режимом, образуют каскад. Для планирования работы каскада ГЭС и оценки их эффективности разрабатывается имитационная модель, объединяющая электрический, энергетический и гидравлический режимы. В статье представлена усовершенствованная модель каскада ГЭС, реализованная в программной среде AnyLogic с использованием подхода «Системная динамика» имитационного моделирования.

Several hydroelectric power stations (HPPs) located along the same river and connected by a common water management regime form a cascade. A simulation model is developed that combines electric, power and hydraulic modes, to plan the operation of a cascade of hydroelectric power plants and evaluate their effectiveness. The article presents an improved model of the HPP cascade implemented in the AnyLogic software environment using the "System dynamics" approach of simulation modeling.

Моделирование является одним из способов решения сложных научных и практических задач. Использование цифровых технологий позволяют создать сложную, динамически изменяющуюся имитационную модель объекта, зависящую от множества факторов, в том числе и случайных. Именно таким объектом является гидроэлектростанция.

В имитационном моделировании выделяют три подхода: системная динамика, агентное моделирование и дискретно-событийное моделирование. Каждый подход применяется в некотором диапазоне уровней абстракции (рис. 1) [1].

Для решения задачи, поставленной в исследовании, был выбран подход «Системная динамика», поскольку он предполагает высокий уровень абстракции и, как правило, используется для стратегического моделирования.

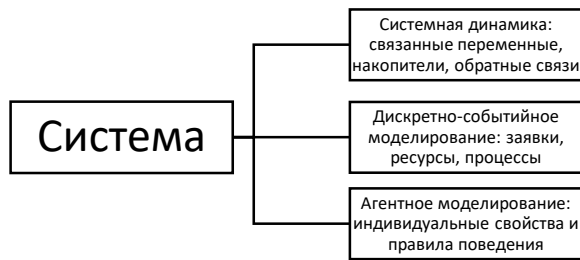


Рис. 1 – Подходы имитационного моделирования

Объектом исследования является энергосистема Памира, которая входит в энергосистему Таджикистана. Особенностью Памирской энергосистемы является то, что она две станции «Памир-1» и Хорогская ГЭС работают в каскаде на реке Гунт. Для эффективного управления режимом электроэнергетической системы необходимо рассчитывать её электрический режим. Именно для достижения этой цели появилась задача создания модели каскада ГЭС [2].

Модель разработана в программной среде для имитационного моделирования – AnyLogic, расширенную с помощью интегрирования языка программирования Java.

Преимущества имитационного моделирования в AnyLogic:

1. Возможность пошагового и модульного моделирования.
2. Структура имитационной модели естественным образом отображает структуру моделируемой системы.
3. Анимированный процесс моделирования позволяет демонстрировать работу системы при изменении влияющих факторов и упрощает процесс верификации модели [1].

В перспективе данная модель позволит наглядно отразить все особенности управления гидравлическими зависимостями ГЭС в составе одного каскада, а также оптимально распределить нагрузку между станциями.

На данном этапе разработки собрана информационная база, необходимая для создания имитационной модели каскада ГЭС энергосистемы Памира, а также создана модель с помощью системной динамики, которая будет являться основой для дальнейшего развития проекта.

Смоделирован каскад ГЭС, состоящий из таких объектов, как Памир-1 и Хорог, подключенный на одну общую нагрузку. Каждая ГЭС смоделирована как совокупность потоков и накопителей, они являются основными элементами системно-динамических диаграмм. Накопители задают статическое состояние моделируемой системы. Их значения изменяются с течением времени согласно существующим в системе потокам. Таким образом, потоки задают динамику системы. Входящие в накопитель потоки увеличивают значение накопителя, а исходящие из него потоки, соответственно, его уменьшают (Рис.2) [1].

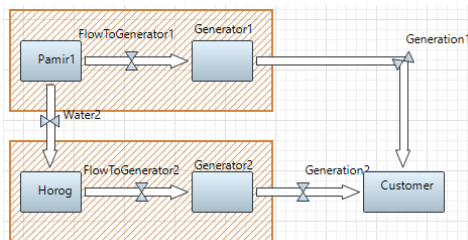


Рис.2 – Система потоков и накопителей в модели каскада ГЭС в AnyLogic

Сейчас функционал модели позволяет регулировать входящий поток реки такими параметрами, как температура, сила ветра, время года, количество осадков (Рис. 3).

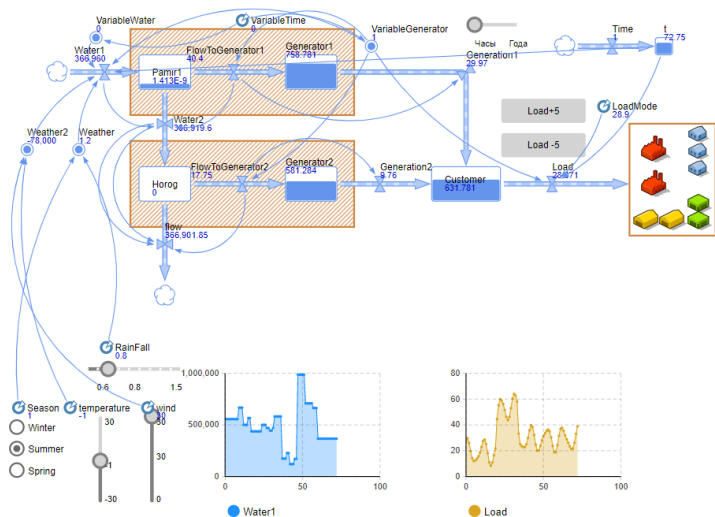


Рис.3 – Модель каскада ГЭС в AnyLogic

Также имеется возможность имитации изменения нагрузки, путем повышения или понижения уровня требуемой мощности. Добавлена возможность отслеживать изменения параметров как в течение дня, так и месяцев с помощью графика входящего потока воды, и графика нагрузки потребителя.

Для моделирования нагрузки потребителя в течение года используется следующую зависимость (1):

$$S(t) = 18,9 + 0,0047 \cdot t + 2,49 \cdot \sin(5,2382 \cdot t + 2,135) + 8,59 \cdot \sin(5,762 \cdot t + 2,172) \quad (1)$$

где t – время (мес.) [2].

В дальнейшей перспективе планируется интеграция данных геоинформационных технологий [3] и усовершенствование модели учета гидравлических связей каскада ГЭС, которая позволит формировать управляющие воздействия на гидроагрегаты для повышения эффективности режима ЭЭС.

Заключение

Связь ГЭС в каскаде по расходу, напору, мощности и выработке электроэнергии вызывает сложности в моделировании каскада ГЭС. Созда-

ние имитационной модели в программной среде AnyLogic даёт возможность в режиме онлайн оценить влияние внешних факторов на выработку электроэнергии каскада ГЭС.

Литература:

1. И. Григорьев. AnyLogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию. Интернет-издание, 2016.- 202 с.
2. Русина А. Г. Особенности управления режимами гидроэнергетической системы Памира / А. Г. Русина, Д. Х. Худжасаидов, Г. Л. Русин // Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации. - 2015. - №6. - С.41-46.
3. Применение ГИС-технологий для повышения эффективности имитационного моделирования каскадов ГЭС = Application of GIS Technologies to Improve the Efficiency of HPP Cascades Simulation Model / А. Ю. Арестова, С. В. Митрофанов, А. Г. Русина, А. А. Колесников // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии = Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. - 2020. – № 13 (6). – С. 732–744. - DOI: 10.17516/1999-494X-0262.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА С ЛУЧШИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

И.И. Литвинов, В.А. Титов, А.С. Трофимов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, vtitovnstu@gmail.com**

В данной статье осуществляется анализ вероятности отказа в срабатывании дифференциальной защиты трансформатора из-за блокировки по второй гармонике в дифференциальном токе в режиме внутренних коротких замыканий. Благодаря этому возможно сделать вывод о необходимости применения трансформаторов тока с более лучшими характеристиками.

In this article the estimation of transformer differential protection's probability of failure due to second harmonic blocking in differential current during internal short circuit mode is performed. Thanks to this, there is possible to make conclusion about the need of using current transformers with better parameters.

Введение. Отказ в функционировании релейной защиты (РЗ) возможен из-за насыщения измерительных трансформаторов тока (ТТ) в переходном режиме короткого замыкания (КЗ). Именно по этой причине в

ноябре 2014 г. и в июне 2018 г. произошли крупные аварии с отключением 4 млн. и 2 млн. потребителей соответственно.

В соответствии с письмом Минэнерго России от 02.04.2019 №ЧА-3440/10, с целью обеспечения техническими характеристиками ТТ и подключённым к ним устройств РЗ (в совокупности) правильной работы РЗ в переходных режимах при строительстве и модернизации объектов электроэнергетики необходимо проводить расчёты времени до насыщения, которое должно быть больше времени достоверного измерения тока микропроцессорного (МП) терминала РЗ.

Расчёт времени до насыщения на этапе проектной документации осуществляется по методикам [1] или [2]. На практике это время для ТТ класса 10Р получается равным 2-5 мс, тогда как время достоверного измерения, например, для дифференциальной защиты трансформатора (ДЗТ) может составлять 25 мс. Выходит, что, исходя из данных методик, ТТ недопустимо использовать в качестве источника питания РЗ.

Однако, при расчёте времени до насыщения по [1] и [2] не учитывается ряд важных факторов: тип подключаемой защиты, уставки защиты, реализованные алгоритмы производителя, допустимое время срабатывания РЗ по условию сохранения динамической устойчивости энергосистемы. К тому же режим, в котором получается наименьшее время до насыщения, не соответствует режиму, обуславливающему наибольшую погрешность ТТ.

Учёт вышеприведённых факторов поможет осуществить более рациональный выбор требуемых характеристик или обосновать необходимость замены ТТ. Для подтверждения данного тезиса, на примере ДЗТ, производится анализ вероятности отказа в срабатывании защиты из-за блокировки по второй гармонике в дифференциальном токе в режиме внутренних КЗ. Отказ ДЗТ в этом случае возможен из-за превышения содержания второй гармоники во вторичном токе уставки по блокировке.

Моделирование. Для моделирования переходных процессов в первичной сети используется модель реального участка ЭЭС в Matlab/Simulink.

Для моделирования переходных процессов в ТТ используется модель однофазного ТТ типа ТФНД-220-I-XЛ с коэффициентом трансформации 1200/5. Время до насыщения при расчёте по [1] составляет 5 мс.

Действующие значения токов соответствующих гармоник определяются с помощью модели фильтра Фурье.

На рисунке 1 приведена осциллограмма изменения второй гармоники во вторичном токе для одной из выборок.

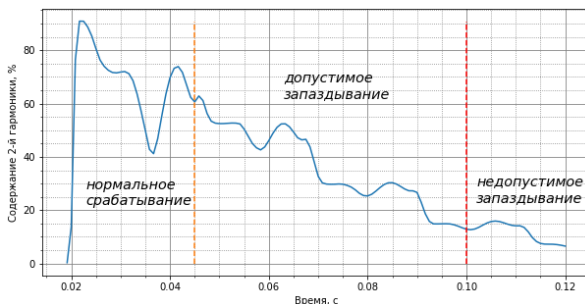


Рис. 1 – Содержание второй гармоники

Защита сработает тогда, когда содержание второй гармоники станет ниже уставки по блокировке. Момент времени, до которого защита срабатывает без задержки, обозначен оранжевой пунктирной линией. Момент времени, до которого допустима задержка в срабатывании, обозначен красной пунктирной линией. Срабатывание защиты за пределами красной пунктирной линией считается недопустимым, поскольку возможно нарушение устойчивости ЭЭС.

Исходя из проведённых опытов, строится гистограмма на рисунке 2. Учитываются различные уставки по блокировке.

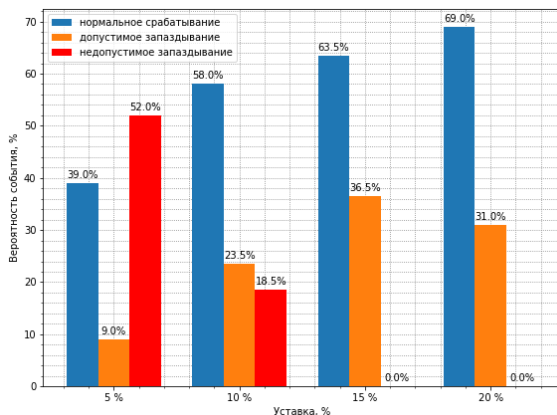


Рис. 2 – Вероятности срабатывания защиты при однофазном КЗ и постоянной времени 0,03 с.

Как следует из рисунка 2, если уставка по блокировке равна 10 %, то в почти в 19 % случаев происходит отказ в срабатывании защиты и возможно нарушение динамической устойчивости ЭЭС. Если же уставка составляет 15 %, то отказов нет.

Выводы. Проведённый анализ позволяет обосновать применение более дорогих ТТ. В рассмотренном примере время до насыщения составило 5 мс, что говорит о необходимости использования ТТ с лучшими характеристиками. Однако, как следует из рисунка 2, при уставке по блокировке 15 % нарушение устойчивости ЭЭС не происходит и использование выбранной ТТ допустимо.

Поэтому, принимая решение о выборе ТТ с теми или иными характеристиками, необходимо руководствоваться не только значением его времени до насыщения, но и логикой работы конкретной защиты, её уставками.

Литература:

1. ПНСТ 283-2018 Трансформаторы измерительные. Часть 2. Технические условия на трансформаторы тока (с Поправкой);

2. ГОСТ Р 58669-2019 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита. Трансформаторы тока измерительные индуктивные с замкнутым магнитопроводом для защиты. Методические указания по определению времени до насыщения при коротких замыканиях. Введён в действие в РФ с 1 января 2020 года.

ЦИФРОВОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ В СЕТЬ ГЕНЕРАТОРОВ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

В.А. Фёдорова, Д.А. Пехота, Г.В. Глазырин

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, win.victoria08@mail.ru

На сегодняшний день процесс синхронизации осуществляется двумя традиционными способами вручную персоналом или с использованием автоматических устройств. Для минимизации возможных последствий включения генератора на параллельную работу предложен промежуточный модернизированный метод синхронизации, целесообразность применения которого доказана аналитически и на основании математической модели. Для исключения влияния человеческого фактора разработана новая система синхронизации, представляющая собой цифровое устройство – подсистему комплекса микропроцессорной противоаварийной автоматики КПА-М, решающее проблему по переходу к автоматическому управлению процессом производства электроэнергии.

The synchronization process conducts of two traditional ways, manually by personnel or using automatic devices. Intermediate modernized synchronization method is proposed for minimize the possible consequences of switching on the generator for parallel operation. The expediency of using which has been proven analytically and on the

basis of a mathematical model. To eliminate the influence of the human factor, a new synchronization system has been developed. It is a digital device - a subsystem of the microprocessor-based emergency automatics complex, which solves the problem of transition to automatic control of the electricity generation process.

Синхронизация – алгоритм действий по включению синхронных генераторов на параллельную работу, является неотъемлемой частью процесса производства электроэнергии [1]. В настоящее время синхронизация осуществляется как вручную персоналом, так и при использовании автоматического управления. Однако, неправильное включение генераторов влечет за собой значительные последствия, именно поэтому можно обозначить первую проблему: операция синхронизации должна быть полувотоматической, либо полностью автоматической.

Объектом исследования выступает учебная электростанция Новосибирского Государственного Технического Университета (НГТУ). Второй проблемой является то, что последующая эксплуатация электростанции невозможна, поскольку имеющаяся система синхронизации будет не в силах выполнить поставленные требования в силу ее морального и физического устаревания и других трудностей [2].

В связи с этим, целью работы является модернизация существующей системы синхронизации и создание цифрового устройства – синхронизатора для автоматического включения в сеть генераторов учебной электростанции. Экономически целесообразным является выполнение микропроцессорного синхронизатора в качестве одной из подсистем комплекса противоаварийной автоматики КПА-М, так как на сегодняшний день уже ведутся работы по модернизации электростанции на базе данных устройств. Актуальность выполнения новой системы синхронизации заключается в осуществлении перехода к автоматическому управлению процессом производства электроэнергии.

Операцию синхронизации можно осуществить следующими способами: точной синхронизации и самосинхронизации. У обоих методов существуют свои недостатки. Для метода точной синхронизации это длительность выполнения операции, для метода самосинхронизации – большие величины уравнильных токов в момент включения, снижение напряжения на шинах электростанции, возможность втягивания явнополюсного генератора в синхронизм в противофазе ЭДС агрегата и системы [3].

Для того, чтобы избавиться от основных недостатков каждого из традиционных методов, предложено реализовать промежуточный модернизированный метод. Для численной оценки его целесообразности проведены расчеты уравнильного тока в момент включения генераторного

выключателя, зависящего от величин угла δ и тока возбуждения, и построены соответствующие зависимости (рис.1).

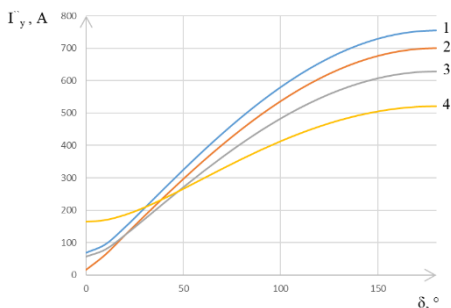


Рис. 1 – Зависимость уравнивающего тока от угла δ и i_f (1 – $i_f = 17,5$ А, 2 – $i_f = 10$ А, 3 – $i_f = 6$ А, 4 – $i_f = 3$ А)

Модернизированный метод характеризуется увеличением допустимого диапазона угла δ между векторами ЭДС генератора и системы, а для предотвращения возникновения больших уравнивающих токов – снижением тока возбуждения в момент включения генераторного выключателя ниже номинального значения. На основании проведенных расчетов рекомендуется включение синхронной машины на параллельную работу при угле, не превышающем $30 - 40^\circ$, и токе возбуждения от 10 А до 6 А. Модернизированный метод удовлетворяет следующим требованиям: выполняет процесс включения в сеть машины быстрее, чем методом точной синхронизации, но при этом имеет уравнивающие токи в момент включения меньше, чем в методе самосинхронизации (около 80% от максимального уравнивающего тока). На практике данный метод может быть использован для быстрого включения в сеть крупных синхронных генераторов, для которых ускоренный пуск методом самосинхронизации является недопустимым.

Для проверки предложенного алгоритма синхронизации разработана математическая модель процесса включения учебного генератора электростанции НГТУ на параллельную работу с системой в среде MATLAB. Основная цель модели – визуализация процесса синхронизации посредством расчета и изображения уравнивающего тока во времени (рис.2). Сравнение всех возможных вариантов синхронизации позволило ещё раз убедиться в целесообразности применения модернизированного метода, так как полученные токи в момент включения более чем в 3 раза меньше даже в самом худшем случае, когда угол δ в момент включения достиг своего максимального

возможного значения (40°), чем при использовании метода самосинхронизации.

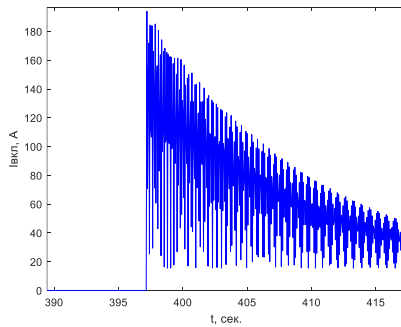


Рис. 2 – Изменение уравнивающего тока $I_{вкл}$ во времени при использовании промежуточного модернизированного метода

Для автоматического выполнения программ возможных методов синхронизации в нескольких точках учебной электростанции НГТУ разработан синхронизатор в качестве подсистемы КПА-М со следующей структурой:

1. Измерительный блок, осуществляет замеры мгновенных значений напряжения в двух точках учебной электростанции: на генераторе и на системе шин.

2. Блок цифровой обработки, преобразующий входные аналоговые сигналы во временные последовательности чисел.

3. Блок расчёта значений контролируемых величин (логическая часть устройства) для его функционирования разработаны алгоритмы по нахождению угла δ , частоты и действующих значений ЭДС.

4. Блок проверки условий синхронизации. Данный элемент реализует контроль рассчитанных в предыдущем блоке величин, при их нахождении в допустимом диапазоне формируется выходной сигнал на включение привода генераторного выключателя, вне диапазона – блокировка.

Проведенные исследования обладают новизной, поскольку автоматизация процесса производства электроэнергии и разработка систем автоматического управления станционными агрегатами являются одними из составляющих будущего перспективного развития электроэнергетических объектов.

Практическая ценность разработанной микропроцессорной системы синхронизации – возможность автоматической синхронизации различными методами, снижение капитальных затрат на системы

автоматики. Перспектива использования – в учебном процессе при выполнении студентами лабораторных работ, в ходе проведения научно-исследовательских работ, а также на реальных объектах электроэнергетики, в частности на электрических станциях.

Литература:

1. Барзам А.Б. Системная автоматика. – 4-е изд., перераб. доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 446 с.:ил.
2. Глазырин Г.В., Кравченко В.А., Фёдорова В.А. Разработка и внедрение микропроцессорной системы синхронизации для учебной электростанции // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. II Всерос. науч. – практ. конф. (Казань, 18–19 марта 2020 г.): в 2 т. / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – Т. 2. – 436 с.
3. Филатов Г.М., Меркурьев Г.В. Автоматика энергосистем. – Санкт-Петербург: «Центр подготовки кадров энергетики», 2001 г. – 381 с.

АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЁТА ВРЕМЕНИ ДО НАСЫЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

А.А. Осинцев, Р.В. Филатов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, filato-roma@yandex.ru**

В данной статье проводится обзор методик расчёта времени до насыщения в соответствии с ГОСТ Р 58669-2019 и расчёт времени до насыщения для дифференциальной защиты трансформатора подстанции 220 кВ «Харьагинская».

This article contains an overview of methods for saturation time calculation according to GOST R 58669-2019 and saturation time calculation of 220 kV “Har'yagin-skaya” substation's differential protection current transformers.

Трансформаторы тока (ТТ) являются неотъемлемой частью большинства устройств релейной защиты (РЗ), так как именно они питают цепи защиты током сети и выполняют роль датчика, через который поступает информация к измерительным органам устройств РЗ. От точности этой информации зависит надёжная и правильная работа релейной защиты. Поэтому основным требованием к ТТ является точность трансформации с погрешностями, не превышающими допустимых значений. [1]

В качестве меры погрешности в [2] предлагается рассчитывать время участка идеальной трансформации – время до насыщения. Данный ГОСТ

содержит несколько способов расчёта времени до насыщения, в частности, аналитический и графические методы.

Аналитический метод основан на определении эквивалентной постоянной времени $T_{p.эке}$ и параметра режима A по паспортным данным, после чего по аналитической формуле рассчитывается время до насыщения. Данный метод даёт заниженное время до насыщения. Более того, если рассчитанное время до насыщения не соответствует значениям, рекомендованным производителями устройств релейной защиты, то необходимо проводить уточняющие расчеты с помощью других методик.

Графические методы основаны на нахождении параметра режима A по следующей исходной информации: паспортные данные, вольт-амперная характеристика (ВАХ) или характеристика намагничивания ТТ. Расчёт времени до насыщения необходимо проводить либо с помощью эквивалентной постоянной времени $T_{p.экв}$ и универсальных характеристик, либо с помощью построения временных диаграмм с учётом воздействий аperiodических составляющих токов в отдельных ветвях.

Применимость [2] рассмотрена на примере ТТ дифференциальной защиты ДЗТ-21 трёхобмоточного силового трансформатора Т1 подстанции 220 кВ «Харьгинская». Необходимо отметить, что в расчётах есть отличия от методики, изложенной в ГОСТе. В частности, расчёт сопротивления нагрузки происходит с разложением на активное и индуктивное сопротивление. Время до насыщения было рассчитано для двух вариантов КЗ: максимальный ток через ТТ и максимальный сквозной ток через ТТ. Это необходимо для того, чтобы сравнить результаты, т.к. максимальный ток через ТТ соответствует требуемой ГОСТом методике, а максимальный сквозной ток соответствует расчётному току при выборе ТТ для дифференциальной защиты. Также был рассчитан вариант с нулевым сопротивлением контрольных кабелей для того, чтобы была возможность рассмотреть наиболее благоприятные условия нагрузки ТТ. Расчёт был произведён тремя методами: аналитический, графический по паспортным данным и графический по ВАХ. Токи КЗ были рассчитаны с помощью программного комплекса АРМ СРЗА.

Результаты расчётов вышеуказанными методами для всех ТТ сведены в таблицы 1-4. В них приняты следующие условные обозначения: «3ф» - трехфазное КЗ, «1ф» - однофазное КЗ, «Э/Н» - эксплуатация невозможна, «Р/Н» - расчёт невозможен.

Таблица 1 – Результаты расчёта времени до насыщения ТТ при максимальном токе КЗ

Способ расчёта	K_r	$t_{нас}, \text{МС}$		
		ТТ 220	ТТ 35	ТТ 6

		3ф	1ф	3ф	3ф
Аналитический	0	Э/Н	0,5	Э/Н	Э/Н
	0,86	Р/Н	Р/Н	Р/Н	Р/Н
Графический по паспортным	0	7	7,7	5,4	5,2
	0,86	4,2	4,2	3,1	3
Графический по ВАХ	0	-	-	7,1	-
	0,86	-	-	3,9	-

Таблица 2 – Результаты расчёта времени до насыщения ТТ при максимальном токе КЗ без учёта сопротивлений контрольных кабелей

Способ расчёта	K _r	t _{нас} , мс			
		ТТ 220		ТТ 35	ТТ 6
		3ф	1ф	3ф	3ф
Аналитический	0	∞	∞	6,24	0,21
	0,86	1,24	3,23	Р/Н	Р/Н
Графический по паспортным	0	∞	∞	11,7	7,1
	0,86	8,6	9,4	5,1	3,7
Графический по ВАХ	0	-	-	∞	-
	0,86	-	-	6,7	-

Для дифференциальной защиты исполнение требований ГОСТ Р 58669-2019 может быть крайне затруднительно, так как, например, в данных расчётах все ТТ оказались непригодными для эксплуатации при расчёте времени до насыщения по условию максимального тока КЗ. Это связано с тем, что условие обеспечения полной погрешности ТТ для дифференциальной защиты рассчитывается по максимальному сквозному току, который может быть гораздо меньше максимального тока при внутреннем КЗ.

Таблица 3 – Результаты расчёта времени до насыщения ТТ при максимальном сквозном токе КЗ

Способ расчёта	K _r	t _{нас} , мс			
		ТТ 220		ТТ 35	ТТ 6
		3ф	1ф	3ф	3ф
Аналитический	0	∞	58,16	2,23	Э/Н

	0,86	2,79	Р/Н	Р/Н	Р/Н
Графический по паспортным	0	∞	73	8,4	6,65
	0,86	9	6,7	4,2	3,5
Графический по ВАХ	0	-	-	11,4	-
	0,86	-	-	5,1	-

Таблица 4 – Результаты расчёта времени до насыщения ТТ при максимальном сквозном токе КЗ без учёта сопротивлений контрольных кабелей

Способ расчёта	K _r	t _{нас} , мс			
		ТТ 220		ТТ 35	ТТ 6
		3ф	1ф	3ф	3ф
Аналитический	0	∞	∞	∞	3,98
	0,86	∞	∞	1,33	Р/Н
Графический по паспортным	0	∞	∞	∞	9,3
	0,86	∞	∞	7,9	4,4
Графический по ВАХ	0	-	-	∞	-
	0,86	-	-	10,4	-

Одна из проверок в аналитическом методе является аналогом проверки полной погрешности ТТ, однако из-за несовпадения точек КЗ данная проверка не может быть пройдена. Данное несовпадение говорит о том, что необходимо изменять либо методику выбора ТТ для дифференциальных защит трансформаторов, либо методику проверки времени до насыщения для них.

Литература

1. *Чернобровов Н.В.* Релейная защита. Учебное пособие для техникумов. Изд 5-е, перераб. и доп. М., “Энергия”, 1974. – 680 с.: ил.
2. ГОСТ Р 58669-2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита. Трансформаторы тока измерительные индуктивные с замкнутым магнитопроводом для защиты. Методические указания по определению времени до насыщения при коротких замыканиях. – М.: Стандартинформ, 2020. – 62 с.

ПОДСИНХРОННЫЙ РЕЗОНАНС В ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

М.В. Елаев¹, А.И. Хальясмаа^{1,2}

**¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Екатеринбург, г. Новосибирск, Россия**
**²Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия**

Весомым аргументом в пользу изучения явления подсинхронного резонанса в ветроэнергетических установках послужил ряд аварий, произошедший за последнее десятилетие в крупных ветроэнергетических системах (ВЭС) таких стран как Америка и Китай. В статье приведено описание резонанса напряжений в электрических цепях как, один из типов подсинхронных колебаний, составляющий основу подсинхронного резонанса в ВЭС. Приведены условия, при которых возможно полезное использование резонанса напряжений.

A weighty argument for studying the phenomenon of subsynchronous resonance in wind power stations is a number of accidents that occurred over the past decade in large wind power systems (WPPs) in countries such as America and China. This paper describes the voltage's resonance in electrical circuits as one of the types of subsynchronous oscillations, which forms the basis of subsynchronous resonance in WPP. The conditions under which the efficient use of the voltage resonance is possible are given.

Введение

Благодаря современной тенденции роста объёмов ввода новых мощностей на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), наибольшую долю среди которых имеют ветряные электростанции (ВЭС), появляется ряд новых проблем, которые могут оказывать негативные последствия на работу энергосистемы. Одна из главных таких проблем – возникновение подсинхронного резонанса (ПСР) в ВЭС, который представляет собой серьёзную угрозу для безопасной и стабильной работы энергосистемы. Риск появления ПСР чаще всего связан с взаимодействием различных устройств системы управления генераторов и сети. Наиболее частому возникновению ПСР способствует наличие устройств продольной компенсации в линии электропередачи.

Существует несколько ключевых мероприятий по подавлению подсинхронных колебаний (ПСК) и ПСР в ВЭС [1-3], которые помогают отстроиться от них, а некоторые из мероприятий способны полностью демпфировать появляющиеся колебания без ущерба для стабильной работы электроэнергетической системы (ЭЭС). Для выбора эффективного мероприятия, первоначально, необходимо разобраться с природой явления ПСК/ПСР.

Резонанс напряжений

Существующие явления ПСК/ПСР подразделяются на три типа: крутильные колебания, LC-колебания и колебания с участием преобразователей сети. В рамках данной статьи рассмотрен тип колебаний LC цепи, состоящий из генератора и линии. При подключении в цепь переменного тока последовательно катушки индуктивности и конденсатора, по-разному воздействующих на генератор, а также на соотношение фаз между напряжением и током, катушка индуктивности оказывает влияние на цепь таким образом, что напряжение опережает ток. Конденсатор же, напротив, заставляет напряжение в цепи отставать по фазе от тока.

Влияние индуктивного и емкостного сопротивлений на сдвиг фаз между напряжением и током в цепи взаимно противоположно. Следовательно, сдвиг фаз между напряжением и током в электрической цепи обуславливается сопоставлением величин емкостного и индуктивного сопротивлений. Преобладание величины ёмкостного сопротивления в электрической цепи над индуктивным, свидетельствует о том, что цепь носит ёмкостный характер, т.е. напряжение отстает по фазе от тока. При преобладании индуктивного сопротивления цепи над ёмкостным – цепь носит индуктивный характер. Наиболее точно описать природу явления сможет простая LC-цепь с последовательно подключенными индуктивностью и емкостью, представленная на рисунке 1 [4].

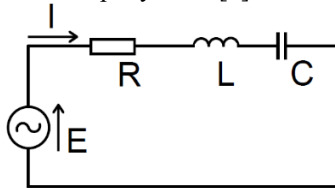


Рис. 1 – Резонансная цепь с последовательным соединением R, L, C элементов

При резонансе напряжений ток в цепи должен совпадать по фазе с э.д.с., если входное сопротивление схемы будет чисто активным.

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (1)$$

Резонанс напряжений наступает при частоте ω_0 , когда

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Такая частота называется резонансной угловой частотой.

Мгновенные энергии выражаются формулами:

$$W_L = \frac{Li^2}{2}; W_C = \frac{CU_C^2}{2} \quad (3)$$

Если принять $i = I \sin \omega_0 t$, то $U_C = -U_C \cos \omega_0 t$, то

$$W_L = \frac{LI_m^2}{2} \sin^2 \omega_0 t \quad (4)$$

$$W_C = \frac{CU_{Cm}^2}{2} \cos^2 \omega_0 t \quad (5)$$

В резонансном режиме максимальные значения энергий равны друг другу:

$$\frac{CU_{Cm}^2}{2} = \frac{C}{2} \left(\frac{I_m}{\omega_0 C} \right)^2 \quad (6)$$

Реактивное сопротивление цепи, содержащей индуктивность и емкость, при любой схеме соединений пропорционально разности максимальных значений энергии, запасаемой в магнитном и электрическом полях [5].

Явление резонанса

ПСР в ВЭС связан с совпадением частот собственных колебаний в передающей и распределительных сетях с нагрузкой и одной из частот собственных колебаний ветрогенерирующей установки. Простейшими электрическими цепями, в которых может возникать резонанс напряжений, являются последовательное соединение резистора, индуктивности и емкости. Соответственно схеме соединения, эти цепи называются последовательным резонансным контуром. Наличие резистивного сопротивления в резонансном контуре по определению не является обязательным и может отсутствовать как отдельный элемент (резистор). Однако, при анализе резистивным сопротивлением следует учитывать по крайней мере сопротивления проводников.

В цепи с конденсатором и катушкой индуктивности при резонансе напряжений ($X_L = X_C$) энергия, запасенная цепью, периодически переходит из катушки в конденсатор и обратно. Источник тока расходует свою энергию только для преодоления активного сопротивления цепи. Поэтому для источника питания вся цепь эквивалентна одному активному сопротивлению. Обмен энергии происходит между конденсатором и катушкой почти без участия генератора.

Резонанса можно достичь, изменяя либо частоту напряжения источника, либо параметры цепи – индуктивность или емкость. Угловая частота, при которой наступает резонанс, называется резонансной угловой частотой. При нарушении условий резонанса напряжений в цепи (изме-

нение частоты или величин реактивного сопротивления ($X_L \neq X_C$), энергия магнитного поля катушки станет не равной энергии электрического поля конденсатора, и в процессе обмена энергии между этими полями появится избыток энергии, который периодически будет то поступать из источника в цепь, то возвращаться ему обратно цепью.

Одним из основных параметров колебательного контура является добротность или коэффициент резонанса. Он влияет на максимум и крутизну кривой. Чем круче и острее резонансная кривая тока, тем выше избирательность контура, т.е. его реакция на определенную резонансную частоту. Явление резонанса напряжений может пагубно сказываться на режимах работы оборудования и энергосистемы, однако, его также используют в радиотехнике, если необходимо усилить колебания напряжения какой-либо частоты, например в устройствах входной части радиоприемника. Добротность колебательного контура в таких устройствах высока, напряжение с конденсатора контура подается на вход усилителя. Входные сигналы вызывают в антенне переменный ток высокой частоты, который вызывает в катушке индуктивности ЭДС взаимной индукции. Данное усиление работает только в узком интервале частот, около резонансной частоты, что позволит выделять из большого количества сигналов разных радиостанций только колебания нужной частоты.

Заключение

В электрических цепях резонанс может рассматриваться в задачах анализа явления при вариации параметров цепи и синтеза цепи с заданными резонансными параметрами. Для крупных энергосистем возникновение резонанса напряжений может представлять опасность, и чревато последствиями не только нарушения механической устойчивости как одного генератора, так и всей энергосистемы, а также возникновением субгармоник в сети и выхода из строя ряда преобразователей и коммутационной аппаратуры. По максимуму тока можно обнаружить режим резонанса и отключить ряд установок для предотвращения распространения режима резонанса в сети, однако обнаружение режима резонанса по максимуму тока также используется в технике при настройке резонансных контуров.

Литература:

1. Н. А. Mohammadpour, M. M. Islam, E. Santi, SSR damping in fixed-speed wind farms using series FACTS controllers. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 31, No. 1, 2016, 76-86

2. Rysev P. V., Rysev D. V., Shulga K. S., Meshalkin O. V. Determining the resonant frequency of the electromechanical oscillation aggregates gas turbine power, UDC 621.311, DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-82-85
3. Fan L, Miao Z. Mitigating SSR Using DFIG-Based Wind Generation. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2012, 3(3):349- 358
4. Г.И. Атабеков, Линейные электрические цепи, М. 1978, стр.121-122

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УГОЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

Н.И. Волков, А.Р. Богомолов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kolyavolkov990@mail.ru**

Важное значение в выработке тепловой энергии играют эффективность использования установленной мощности источников теплоснабжения и экономичный расход топлива на единицу тепла, которые достигаются за счет продуктивного использования оборудования. В данной работе представлена оценка эффективности работы котельной №5 п. Трудармейский, работающей на каменном угле, определены фактические КПД котельных установок с выявлением их эксплуатационных особенностей и недостатков конструкции.

Efficiency of using the installed capacity of heat supply sources and economical fuel consumption per unit of heat, which are achieved through productive use of equipment, play an important role in the generation of heat energy. This paper presents an assessment of the efficiency of the boiler house No. 5 in Trudarmeisky, operating on coal, the actual efficiency of boiler plants is determined with the identification of their operational features and design flaws.

Эффективность работы котельной рассчитывалась на основе результатов проведение теплотехнических испытаний. Теплотехнические испытания позволяют оптимизировать режимы работы котельных установок, а также определить основные технико-экономические показатели. Испытания осуществлялись в несколько этапов: инструментальное обследование котлов и вспомогательного оборудования; лабораторные работы; подготовка технического отчета.

Целью данной работы являлось определение причин снижения КПД котельной №5 п. Трудармейский Кемеровской области и, по возможности, устранение таких причин путем режимно-наладочных испытаний, а также составление рекомендаций по оптимизации работы, если проблемы не удастся устранить на месте [1].

Инструментальное обследование проводится для выявления общей картины работы котельных установок. Большинство параметров работы котельных установок замеряются специальными поверенными приборами высокой степени точности [2]. На данном этапе осуществлялся анализ дымовых газов, также замерялись температура и давление в топке, были отобраны пробы топлива и очаговых остатков. Испытания проводились при следующих условиях:

- обследование ведется в нормальных эксплуатационных условиях при установившемся тепловом режиме;
- тепловой режим котла поддерживается обслуживающим персоналом котельной под наблюдением бригады энергоаудиторов;
- колебания нагрузки котла не должны превышать $\pm 2,5\%$.

Исходя из полученных данных при обследовании, после проведения лабораторного анализа, был составлен тепловой баланс действующих на котельной котлов типа КВМ-2,5 ШП:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

где Q_p^p - располагаемая теплота; Q_1 - теплота, полезно использованная в котлоагрегате; Q_2 - потери теплоты с уходящими газами; Q_3 - потери теплоты от химической неполноты сгорания; Q_4 - потери теплоты от механического недожога; Q_5 - потери теплоты от охлаждения элементов котельного агрегата в окружающую среду; Q_6 - потери теплоты с физической теплотой шлака.

На основании теплового баланса определены КПД и необходимый расход топлива:

$$B = \frac{G_B \cdot (i_1 - i_2)}{\eta^{обп} \cdot Q_H^p},$$

где G_B - расход воды в котле; i_1 - энтальпия горячей воды; i_2 - энтальпия холодной воды; $\eta^{обп}$ - КПД котла по обратному циклу; Q_H^p - низшая теплота сгорания топлива.

Так, фактический КПД котла №1 составил 62,01%, котла №2 - 63,84% [1]. Данные показатели не соответствуют паспортному значению, которое равно 85%.

Причиной низкой эффективности работы котлов являются высокие присосы холодного воздуха ($\alpha_{к1} = 2,41$; $\alpha_{к2} = 4,78$), которые поступают из-за конструкторского дефекта в системе шлакоудаления через затвор. Плотность топки нарушена и это оказывает влияние на экономичность работы котлоагрегата. Также, в результате испытаний, был выявлен высокий механический недожог топлива (показатель котла №1 - 7,3%, котла №2 - 6,4), о чем свидетельствует большое содержание углерода в шлаке (более 31%).

Стоит отметить, что регулировка работы котлов сильно осложняется, ввиду не работающих систем регулирования тягодутьевых машин. Сломанные частотные преобразователи на дутьевых вентиляторах и дымососах не позволяют осуществлять регулировку их производительности.

Проделанные теплотехнические испытания позволили определить эффективность работы и выявить дефекты в эксплуатации котельной. По результату обследования были разработаны рекомендациями, способствующие улучшению эксплуатации работы котельной в выработке тепловой энергии при небольших расходах топлива. В качестве рекомендаций были предложены следующие мероприятия:

- Произвести реконструкцию системы шлакоудаления с устройством гидрозатвора или рассмотреть возможность устранения присосов применением материалов в области наклонного колосника, не подвергаемым температурной деформации;
- Установить в газоходы котлоагрегатов штатные газоанализаторы для возможности оперативной настройки режимов работы тягодутьевых машин (ТДМ);
- Восстановить работоспособность частотно-регулируемых приводов ТДМ.

Литература:

1. *Богомолов А.Р.*, Техническое заключение по результатам инструментального обследования работы котельной №5 п. Трудармейский / А.Р. Богомолов, Д.А. Лапин – Кемерово: Кузбасский государственных технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2020г. – 24 с.

2. *Фигнер Е.Д.*, Теплотехнические испытания котельных установок/ Е.Д.Фигнер, В.И. Трёмбовля, А.А. Авдеева. – Москва 2-е издание, переработанное и дополненное: Энергоатомиздат, 1991г, - 416с.

МЕТОД РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЧЕТАНИЯ ПАРОВОДЯНОГО И ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛОВ РЕНКИНА ПРИ ВНУТРЕННЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ R-АГЕНТОВ

Н.И. Ворогушина, П.А. Щинников

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, vnadia1998@gmail.com**

В работе представлен метод расчета термодинамической эффективности энергоблока, работающего на сочетании пароводяного и органического циклов Ренкина (далее– ОЦР). Рассмотрена эффективность реализации внутренней регенерации рабочего тела в ОЦР-контуре. Выполнена анализсоответствияорганическихжидкостейдляразрабатываемойтехнологии.

This work presents a method for calculating the thermodynamic efficiency of a power unit operating on a combination of steam-water and organic Rankine cycles (hereinafter - ORC). The efficiency of the implementation of internal regeneration of the working fluid in the ORC loop is considered. The analysis of the compliance of organic liquids for being developed technology has been performed.

Сегодня мировая энергетика ищет пути повышения экологичности электростанций. Одним из усугубляющих экологическую обстановку факторов является термальное загрязнение. Исследуемая технология представляет собой комбинацию двух блоков: традиционного пароводяного контура и контура на ОЦР, в первом из которых отсутствует привычный конденсатор водяного охлаждения, а второй работает на низкокипящих рабочих телах – R-агентах. Энергоблок может располагаться вне близости водоемов, предотвращая их тепловое загрязнение. С целью получения не только экологичной, но и высокоэффективной технологии ОЦР-контур дополнен внутренним регенератором. Исследование именно такого сочетания циклов проведено в данной работе.

Техническое решение. Рассчитываемый энергоблок представлен на принципиальной технологической схеме (рис. 1).

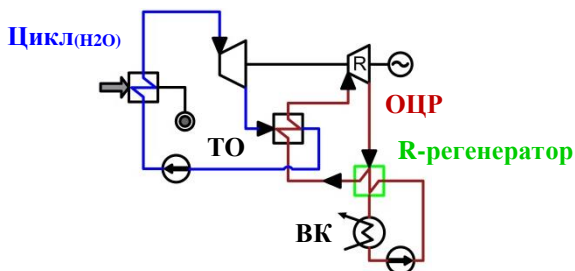


Рис. 1 – Пароорганическая технология с регенератором в ОЦР

В R-регенераторе R-пар, отработавший в турбине ОЦР-контура, подогревает свой конденсат, тот в свою очередь направляется в теплообменный аппарат ТО для генерации R-пара посредством теплообмена с насыщенным водяным паром.

Представленный ниже метод расчета проведен для тех же R-агентов что и в работе [1] для схемы без внутренней регенерации. При расчетах термического к.п.д. для всех хладонов приняты условия: расход водяного пара: $G=1$ кг/с, температура воздуха: $t_{окр}=+30$ °С.

Применение R-600 (н-бутан) в ОЦР-контуре простой схемы продемонстрировало высокое значение термического к.п.д. технологии

и небольшой расход R-агента [1]. На его примере покажем методику вычисления к.п.д. исследуемого технического решения.

Параметры. Вводопаровом контуре: $P_0=130$ бар; $t_0=550^\circ\text{C}$; $h'=3471$ кДж/кг, $h''=2765$ кДж/кг – энтальпии острого пара и пара после расширения в турбине соответственно; $P_k=9$ бар; $t_k=176^\circ\text{C}$ – температура насыщенного пара после расширения; $h_k=742$ кДж/кг – энтальпия после конденсации на левой пограничной кривой.

В ОЦР-контуре: $P_R=48$ бар, $t_R=172^\circ\text{C}$, $h_R=772$ кДж/кг – параметры острого R-пара; $t_{R'}=46^\circ\text{C}$, $h_{R'}=665$ кДж/кг – параметры пара после расширения; $t_{kR}=t_{окр}=30^\circ\text{C}$ – температура конденсации соответствует температуре воздуха: R-агент охлаждается в воздушном конденсаторе ВК.

Метод. Расчет турбины на водяном паре:

$$H_0 = h' - h'' = 3471 - 2765 = 706 \text{ кДж} / \text{кг};$$

$$N^{H_2O} = G \times H_0 = 1 \times 706 = 706 \text{ кВт};$$

$$Q_T = G \times (h' - h_{k'}) = 1 \times (3471 - 742) = 2729 \text{ кВт};$$

где H_0 – располагаемый тепलोперепад; N^{H_2O} – мощность паровой турбины; Q_T – теплота, подведенная к турбине.

Расчет R-регенератора:

$$G_{R1} = G_{R2};$$

$$0,98 \times Q' = c_1 \times V t_1 = Q'' = c_2 \times V t_2;$$

$$0,98 \times \frac{V t_1}{V t_2} = \frac{c_2}{c_1};$$

$$\frac{V t_1}{V t_2} = \frac{1,3475}{0,98} = 1,375;$$

$$V t_2 = \frac{t_{R''} - t_{окр}}{1,375} = \frac{46 - 30}{1,375} = 11,64;$$

$$t_{R'} = 30 + 11,64 = 41,64^\circ\text{C};$$

$$h_{R'} = 300 \text{ кДж} / \text{кг};$$

где G_{R1}, G_{R2} – расходы парообразного и жидкого R-тела; Q', Q'' – нагревающий и нагреваемый тепловые потоки; $\Delta t_1, \Delta t_2$ – температурные напоры нагревающего и нагреваемого R-потока; c_1 и c_2 – изобарные теплоемкости для парообразного и жидкого R-тела; t_R, h_R – температура и энтальпия после подогрева; в коэффициенте 0,98 учтены потери в 2%.

Расчет генератора R-пара:

$$Q_R = G_R (h_R - h_{R'}) = G_R \times 472;$$

$$Q_1 = G (h'' - h_{k'}) = 2023 \text{ кВт};$$

$$0,98 \times Q_1 = Q_R;$$

$$G_R = \frac{0,98 \times 2023}{472} = 4,2 \text{ кг} / \text{с};$$

где Q_R – теплота, полученная R-агентом в ТО; G_R – расход R-агента; Q_1 – теплота, отданная водяным паром в ТО.

Мощность турбины ОЦР-контура:

$$N_R = G_R (h_R - h_{R'}) = 4,2 \times (772 - 665) = 449,43 \text{ кВт}.$$

Энергетический эффект технологии:

$$\eta_i = \frac{N^{H_2O} + N_R}{Q_T} = 0,423.$$

Результаты. При вычислениях для изобутана R600a получено – к.п.д.: $\eta_i = 0,434$; расход немногим больше н-бутана: $G_R = 4,74$ кг/с. Тогда как при отсутствии регенератора, наоборот, R600 демонстрировал себя чуть эффективнее R600a [1]. Температура R600a после расширения в турбине составляет 75°C против 46°C для н-бутана; наглядно показаны Δt_i для обоих тел на рис.2 – фиолетовой линией. В цикле с регенерацией изобутан эффективнее. Такая же тенденция роста η_i по отношению к схеме без регенерации, наблюдается и для других жидкостей, у которых состояние отработавшего пара после R-турбины далеко от линии насыщения (правой пограничной кривой).

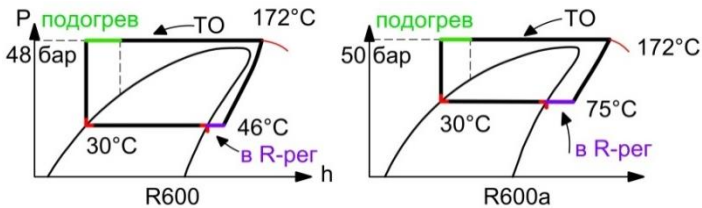


Рис.2 – Циклы для R600a и R600 в Ph-координатах

Почти для всех хладагентов правая пограничная кривая почти вертикальна, и пар в конце расширения остаётся в перегретом состоянии [2]. Но, например, для R11и R717, при ранее принятых параметрах нет смысла в применении регенератора, так как пар находится в насыщенном состоянии: $t_{R'} = t_{окр}$. При отсутствии регенератора схема имела наивысший показатель: $\eta_i = 0,436$ при применении именно R11 среди других 30 рабочих тел. Так в работе [3] жидкости классифицируются по форме кривой насыщения на колоколообразную и нависающую. Для таких типов органических

жидкостей подбираются циклы с разными начальными параметрами, с перегревом и регенератором или без них. Из рис. 2 видно, что R600 и R600a относятся к нависающему типу.

Высокие показатели η установки получены с не азеотропными смесями, при них же и максимальные расходы. Без регенератора такие варианты не занимали высокие позиции по эффективности. Однако обозначилась проблема для таких веществ: кипение и конденсация у них происходит при непостоянных температурах. Тогда для более достоверного результата метод требует корректировки. Одно из таких рабочих тел – R410B, имеет условно постоянную температуру при конденсации. При его использовании в технологии достигается самый высокий показатель к.п.д. $\eta_r=59,25\%$ (из 31 агента), а $G_R=26,8$ кг/с. Есть возможность генерировать 1 кг водяного пара почти 27 кг пара органической жидкости. При внутренней регенерации R410B подогревает себя почти на 82 градуса, когда, например, в случае с R12 – это только: $\Delta t_2=6,22^\circ\text{C}$.

Выводы. Сопоставимая эффективность с современными станциями вместе с экологическим эффектом и увеличением срока службы оборудования в связи отсутствием работы турбин во влажных зонах делает пароорганическую технологию привлекательной и интересной для дальнейшего исследования.

Литература:

1. *Ворогушина Н.И.* Эффективность двухступенчатого цикла Ренкина // Дни науки НГТУ– 2020: материалы науч. студ. конф. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – С. 39–42.
2. *Белов Г.В., Дорохова М.А.* Органический цикл Ренкина и его применение в альтернативной энергетике [Электронный ресурс] // Наука и образование: электрон.науч.-техн. журн. – № 2. – 2014. – URL: http://www.aerikom.ru/netcat_files/userfiles/ORC/ORC.pdf (дата обращения: 01.09.2020). – doi:10.7463/0214.0699165.
3. Working fluids for low-temperature Organic Rankine Cycles / B. Saleh, G. Koglbauer, M. Wendland, J. Fischer // *Energy*. – 2007. – Vol. 32, iss. 7. – P. 1210-1221. – doi: 10.1016/j.energy.2006.07.001.
4. Investigation of a two stage Rankine cycle for electric power plants / L. Bo, R. Philippe, C. Christophe, G. Renaud, D. Franck // *Applied Energy*. – 2012. – Vol. 100. – P. 285-294. – doi: 10.1016/j.apenergy.2012.05.044

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАРА НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАПИТАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ ДВУХТОПЛИВНОЙ ПГУ

А.С. Воронкова, О.В. Боруш

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, voronkova.nastya@mail.ru**

В данной статье представлен анализ эффективности работы двухтопливной ПГУ с параллельной схемой работы при различных начальных параметрах пара паросиловой установки. Приведены результаты оценки технико-экономических показателей работы установки и капитальных затрат при строительстве энергоблока.

The analysis of the efficiency of a dual-fuel CCGT with a parallel operation scheme for various steam initial parameters of the steam turbine units presented in the article. The results of the assessment of the technical and economic indicators of the installation and capital costs of the power unit from the beginning of construction are given.

На сегодняшний день энергетика переживает изменения, связанные с быстрым ростом спроса на энергию и развитием новых технологий с целью повышения эффективности выработки энергии и увеличения конкурентоспособности на энергетическом рынке. Более 80% энергии в мире вырабатывается в процессе сжигания ископаемого топлива: угля, нефти и природного газа. Согласно экспертизе Международного энергетического агентства (МЭА) в 21 веке ископаемое топливо будет оставаться основным источником энергии в большинстве секторов экономики по всему миру, особенно в электроэнергетике [1]. Таким образом, вопрос повышения эффективности выработки электроэнергии является приоритетным в развитии энергетики.

Одной из основных причин низкой эффективности выработки электроэнергии на Российских электростанциях является применение физически изношенного оборудования и морально устарелых технологий. Одним из перспективных направлений развития энергетики является применение парогазовых установок (ПГУ). Для повышения эффективности использования твердого топлива в процессе выработки электроэнергии предлагается применение двухтопливных ПГУ с параллельной схемой работы, которые могут найти применение как при строительстве новых энергетических объектов, так и при модернизации уже существующих [2].

В настоящее время в мировой энергетике наблюдается тенденция применения установок с сверхкритическими (СКП) и ультрасверхкритическими (УСКП) параметрами пара. Наибольших

успехов в этом вопросе добились в Японии, Корее, Китае и США [3]. Применение двухтопливных ПГУ параллельного типа (рис. 1) позволяет использовать в парогазовом цикле уголь, который сжигают для генерации пара необходимых параметров, расширяя, таким образом, диапазон начальных параметров пара в паросиловой части установки.

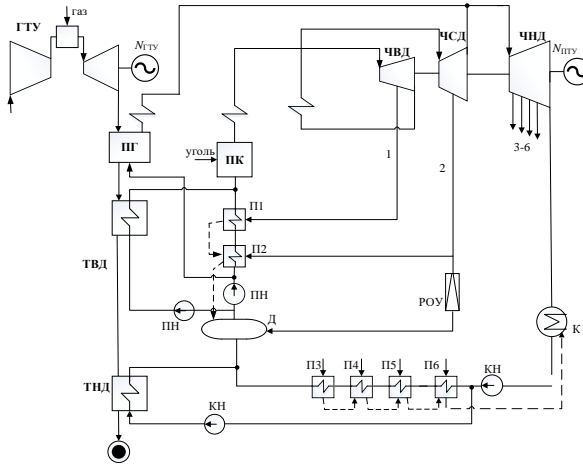


Рис. 1 – Тепловая схема двухтопливной ПГУ параллельного типа

В рамках данной работы выполнены расчеты для энергоблоков ПГУ параллельного типа мощностью 300 МВт с докритическими, сверхкритическими и ультрасверхкритическими параметрами пара. В ходе расчетов установки определены термодинамические, расходные и технико-экономические показатели эффективности работы установки, некоторые из них представлены в таблице 1.

По представленным результатам расчетов можно видеть, что повышение начальных параметров пара позволяет повысить эффективность работы установки в среднем на 2 % и сократить удельный расход условного топлива в среднем на 3 %.

Таблица 1 – Технико-экономические показатели работы установки

Наименование величины	$p_0 = 9 \text{ МПа},$ $t_0 = 535 \text{ °C}$	$p_0 = 13 \text{ МПа},$ $t_0 = 540 \text{ °C}$	$p_0 = 24 \text{ МПа},$ $t_0 = 545 \text{ °C}$	$p_0 = 30$ МПа, $t_0 = 600 \text{ °C}$
Тепловой поток, подведенный к ГТУ, МВт	211,34	211,34	211,34	211,34
Расход острого пара на турбину, кг/с	215,31	163,92	163,92	139
Подведенная теплота при работе ПГУ в составе ПГУ, МВт	392,11	362,18	342,73	325,40

Наименование величины	$p_0 = 9$ МПа, $t_0 = 535$ °С	$p_0 = 13$ МПа, $t_0 = 540$ °С	$p_0 = 24$ МПа, $t_0 = 545$ °С	$p_0 = 30$ МПа, $t_0 = 600$ °С
КПД-нетто ПТУ в автономном режиме / ПГУ, %	37,22/46,23	39,68/48,65	41,46/50,35	43,18/51,98
Удельный расход условного топлива ПТУ / ПГУ, кг у.т./кВтч	0,330/0,266	0,310/0,253	0,297/0,244	0,285/0,237

Помимо технико-экономических показателей работы установки, также необходима оценка экономической целесообразности применения той или иной технологии. Экономическая целесообразность определяется большим числом показателей, однако косновным можно отнести капитальные затраты и срок окупаемости.

В рамках данной работы выполнена укрупненная оценка стоимости блока двухтопливной ПГУ по удельным затратам на 1 кВт для турбоагрегата и по удельным затратам на производство тонны пара в час для парового котла (из расчета, что в среднем на выработку 1 кВт энергии необходимо с ~ 0,003 - 0,004 т/ч пара). Кроме этого учтены изменения металлоемкости котлоагрегата с увеличением начальных параметров пара, стоимость оборудования ПГУ по объектам-аналогам и рекомендации по оценке стоимости строительства ТЭС [4]. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Капитальные затраты и издержки

Наименование величины	$p_0 = 9$ МПа, $t_0 = 535$ °С	$p_0 = 13$ МПа, $t_0 = 540$ °С	$p_0 = 24$ МПа, $t_0 = 545$ °С	$p_0 = 30$ МПа, $t_0 = 600$ °С
Капитальные вложения, млн. руб.				
Паровой котел	9 173,97	7 124,05	7 844,16	8 952,68
Турбоагрегат	2 966,04	2 966,04	2 892,96	2 892,96
Газовая турбина	2 955,57	2 955,57	2 955,57	2 955,57
Котел-утилизатор	202,00	202,00	202,00	202,00
Эл.часть	2 046,24	2 046,24	1 980,72	1 980,72
АСУ ТП	1 713,60	1 713,60	1 668,24	1 668,24
Пароводяной тракт	3 356,64	3 356,64	3 984,12	3 989,12
Монтаж и наладка	1 837,08	1 837,08	1 779,12	1 779,12
Строит.работы	4 427,64	4 427,64	4 205,88	4 205,88
Стоимость проекта	1 333,08	1 333,08	1 401,12	1 401,12
Суммарные кап.вложения	30 011,86	27 961,94	28 913,89	30 022,41
Издержки, млн. руб.				
Издержки на топливо	1 230,12	1 188,75	1 161,87	1 137,90
Постоянные затраты	3 975,60	3 705,02	3 830,67	3 977,00
Суммарные затраты	5 205,73	4 893,77	4 992,54	5 114,90
Себестоимость электроэнергии, руб.	2,84	2,67	2,72	2,79

Таким образом, результаты расчетов свидетельствуют о том, что увеличение начальных параметров пара в части паросиловой установки двухтопливной ПГУ с параллельной схемой работы позволяет увеличить КПД по выработке электрической энергии с 46,23 % при параметрах пара $p_0 = 9$ МПа, $t_0 = 535$ °С до 51,98 % с начальными параметрами $p_0 = 30$ МПа, $t_0 = 600$ °С (среднее увеличение 2 %) и сократить удельный расход условного топлива с 0,266 до 0,237 кг у.т./кВт·ч соответственно. Капитальные затраты на строительство рассматриваемого энергоблока колеблются от 27 млрд. руб. до 30 млрд. руб. в зависимости от начальных параметров пара, дисконтируемый срок окупаемости в среднем составляет 14 лет с начала строительства.

На основании всего вышесказанного можно сделать вывод, что применение двухтопливных ПГУ с параллельной схемой работы может служить альтернативным вариантом при модернизации уже существующих и при строительстве новых энергетических объектов, в особенности в угольных регионах. При анализе показателей эффективности рассматриваемой технологии в рамках увеличения начальных параметров пара видно, что с одной стороны повышение параметров приводит к повышению термодинамической эффективности работы установки, а с другой стороны – к увеличению капиталовложений. Стоит отметить, что в рамках данной работы проводилась укрупненная оценка эффективности применения рассматриваемой технологии, и для оценки эффективности технологии в определенных условиях требуется более детальная проработка.

Литература:

1. International Energy Agency World Energy Outlook 2019. Paris: IEA, 2019. – 810 p.
2. Расчет двухтопливной ПГУ с параллельной схемой работы: учеб. пособие / П.А. Щинников, О.В. Боруш, А.А. Францева, А.А. Зуева. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 128 с.
3. Пылеугольные энергоблоки на супер- и ультрасверхкритические параметры пара / А. Г. Тумановский [и др.] // Теплоэнергетика. 2017. № 2. С. 3-19.
4. Ашинянц С.А. Оценка стоимости строительства и эксплуатации угольных ТЭС: обзор / С.А. Ашинянц, под ред. Г.Г. Ольховского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: ОАО «ВТИ», 2013. – 44 с.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ГТУ И ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

А.Г. Дарбинян, П.В. Кривоножникова
Самарский национальный исследовательский университет им.
академика С.П. Королева. Национальный исследовательский
университет,
г. Самара, chesscity2020@gmail.com

В работе «Оценка возможности создания комбинированной установки на базе ГТУ и двигателя Стирлинга» авторов А.Г. Дарбинян, П.В. Кривоножниковой, по заданным расходам, температуры продуктов сгорания двух ГТУ и заданным мощностям двигателей Стирлинга по методике Шмидта определены размеры рабочих объемов модулей. Оценены подведенные и отведенные теплоты идеального цикла и с учетом потерь найдены действительные энергетические характеристики, подтверждающие возможность создания комбинированной установки.

In the work "Assessment of the possibility of creating a combined installation based on a gas turbine and a Stirling engine" of the authors A.G. Darbinyan, P.V. Krivonozhnikova, following of the sizes of the working volumes of the modules were determined according to the given flow rates, the temperature of the combustion products of the two gas turbines and the given power of the Stirling engines using the Schmidt method. The supplied and removed heats of the ideal cycle were estimated and, taking into account the losses, the actual energy characteristics were found, confirming the possibility of creating a combined installation.

Проведена оценка возможности создания комбинированной энергетической установки на базе ГТУ и цикла Стирлинга. Рассчитана бинарная установка на их основе. Двигатель Стирлинга возможно использовать во всех областях, где требуется преобразование тепловой энергии в механическую. Теплота продуктов сгорания ГТУ используется для подвода теплоты к горячему контуру двигателя. Рассмотрена одна из схем комбинированной установки (рисунок 1.) газы, покидающие турбину газотурбинного двигателя, подаются в нагреватель двигателя Стирлинга, их теплота используется для работы такого двигателя.

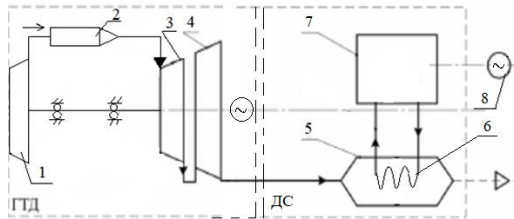


Рис. 1 – Схема комбинированного двигателя с утилизацией теплоты отводимых газов

1 – компрессор, 2 – камера сгорания, 3 – газовая турбина, 4 – силовая турбина, 5 – выхлопное устройство, 6 – теплообменник детандерной полости, 7 – двигатель Стирлинга, 8 – электрогенератор

В соответствии со схемой рисунка 1 газы, покидающие силовую турбину 4, перед удалением их в атмосферу направляются в выхлопное устройство 5 ГТУ. Теплоту к рабочему телу (гелий или водород) внутреннего контура двигателя Стирлинга рационально передавать через теплообменник детандерной полости 6.

Идеальный цикл такой установки представлен на рисунке 2. Комбинированная бинарная установка представляет из себя объединенный цикл ГТД с подводом теплоты при $P = const$ с циклом двигателя Стирлинга. Здесь цикл газотурбинного двигателя является основным. Верхняя часть цикла 1 – 2 – 3 – 4 – 1 представляет собой цикл газотурбинной части, причем в процессе отвода теплоты 4 – 1. Часть отводимой теплоты $Q_{2\text{ ГТУ}}$ является подводимой теплотой двигателя Стирлинга $Q_{1\text{ Ст}}$ в процессе 7 – 8.

$Q_{2\text{ Ст}}$ является отводимой теплотой двигателя Стирлинга, отвод теплоты осуществляется по изотерме 6 – 5 [3].

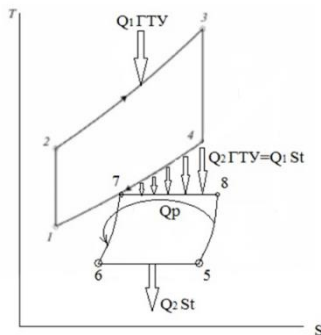


Рис. 2 – Термодинамический цикл комбинированной установки

КПД такой комбинированной установки выражается как

$$\eta_{установки} = \frac{N_{ГТУ} + N_{St}}{Q_{1 ГТУ}},$$

где $N_{ГТУ}$ – мощность ГТУ, N_{St} – мощность двигателя Стирлинга с учетом потерь, $Q_{1 ГТУ}$ – подводимая тепловая мощность ГТУ. По нескольким заданным характеристикам газотурбинных установок: расходу

температуре продуктов сгорания и мощностей двигателя Стирлинга оценены энергетические характеристики идеального цикла и возможно реализуемого одномодульного двигателя Стирлинга. По методике Шмидта [1] определены размеры модуля двигателя:

$$\text{Тепло, подводимое в цикле } Q_1 = \pi \cdot P_{CP} \cdot V_{ог} \cdot \delta \cdot \frac{\sin\theta}{1+(1-\delta^2)^{0,5}}$$

$$\text{Тепло, отводимое в цикле } Q_2 = \pi \cdot P_{CP} \cdot K \cdot V_{ог} \cdot \delta \cdot \frac{\sin(\theta-\alpha)}{1+(1-\delta^2)^{0,5}}$$

$$\text{Отношение температур } \tau = \frac{T_x}{T_r}$$

За T_r принято средняя температура на входе и выходе выхлопного устройства

Отношение максимальных описанных объемов рабочих полостей

$$K = \frac{V_{ox}}{V_{ог}}$$

$$\text{Приведенный мертвый объем } S = \frac{2 \cdot X \cdot \tau}{\tau + 1}$$

Максимальный объем детандерной полости

$$V_{ог} = \frac{L_{ц}}{\frac{\pi \cdot P_{CP} \cdot \delta}{1+(1-\delta^2)^{0,5}} \cdot [\sin\theta + K \cdot \sin(\theta - \alpha)]}$$

Результаты расчетов геометрических размеров полостей двигателя представлены в таблице 1

Рассчитаны регенеративные теплообменники и потери в нем и оценены действительные характеристики двигателя и с учетом потерь в теплообменных аппаратах в регенераторе и теплообменнике внешней нагрузки. Потери в регенеративном теплообменнике рассчитаны по среднерасходным скоростям [2] и включает в себя: потери на недорекуперацию

$$\Delta Q_{H1} = 0,5 \cdot (1 - \eta_p) \cdot Q_p,$$

где уточненный расчет теплового потока регенератора

$$Q_p = G \cdot C_p \cdot (T_r - T_x) + 2 \cdot \varepsilon \cdot V_{pГ} \cdot (P_{max} - P_{min}) \cdot \frac{1}{\tau_{ц}}$$

Потери на гидравлическое сопротивление

$$Q_{\Delta P} = \Delta P \cdot \frac{G}{\rho}$$

Тепловые потери вследствие теплопроводности насадки регенератора

$$\Delta Q_{HP} = A_H \cdot \lambda_{эф} \cdot F_p \cdot (T_r - T_x) \cdot \frac{1}{l_p}$$

Потери стенок регенератора

$$\Delta Q_{СТР} = \pi \cdot d_p \cdot \delta_{ст} \cdot (T_r - T_x) \cdot \frac{\lambda_{ст}}{l_p}$$

Суммарные потери

$$\Delta Q_{\Sigma} = \Delta Q_{H1} + Q_{\Delta P} + \Delta Q_{HP} + \Delta Q_{СТР}$$

Таблица 1 - Результаты расчетов геометрических размеров полостей двигателя

N об/мин	G $\frac{кг}{с}$	T _{пс} °C	N МВт	ΔQ_1 МДж	ΔQ_2 МДж	$\eta_{дв.ст.}$ %	ΣN МВт	$\eta_{уст.}$ %
1500	45,9	495	12,3	33,5	17,76	44	381	41
1500	140	412	25	67,6	42,6	46	223	43

Результаты, представленные в таблице, показывают, что возможно создание комбинированной установки на базе ГТУ и двигателя Стирлинга. Эффективная комбинированная установка варьируется от 41% до 59%, что определяет уровень температур продуктов сгорания выходящих из ГТУ во внешний контур двигателя Стирлинга. В ГТУ большой мощности целесообразно двигатель Стирлинга выполнять многомодульным с расположением модулей в отдельном машинном зале при подводе продуктов сгорания от ГТУ к каждому модулю.

Литература

1 *Белозерцев, В. Н.*, Расчет двигателя Стирлинга для бортовой энергосистемы космического летательного аппарата и наземной теплоэнергетической установки [Текст]: методические указания/ В.Н. Белозерцев. – С.: СГАУ, 2003. – 35 с

2 *Уокер, Г.*. Машины, работающие по циклу Стирлинга – М.: «Энергия» 1978 – 145с.

3 *Горожанкин, С. А.*, Комбинированные газотурбинные установки с двигателями Стирлинга [Текст]/ С.А. Горожанкин, Н.В. Савенков, А.В. Чухаркин// Науч.-техн. ведом. Санкт-Петербургского гос. политех. ун-та. – 2015. - №2(219).

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ДВС СО СВОБОДНЫМ ПОРШНЕМ И ЛИНЕЙНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ

П.В. Зонов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, p.zonov@corp.nstu.ru**

Рассматриваются тенденции и перспективы использования в автономной энергетике России энергоустановок с энергетическими модулями мощностью до 100 кВт на основе двигателей внутреннего сгорания со свободным поршнем для районов Дальнего Востока, Крайнего Севера и приравненных к нему местностям, Арктики. С целью повышения коэффициента полезного действия таких энергоустановок предлагается повсеместно использовать в них генераторы линейного действия цилиндрической конструкции с постоянными магнитами.

The article considers the trends and prospects of using power plants with power modules up to 100 kW based on internal combustion engines with a free piston for the regions of the Far East, the Far North and equivalent areas, and the Arctic in the Autonomous power industry of Russia. In order to increase the efficiency of such power plants, it is proposed to use linear generators of cylindrical design with permanent magnets everywhere in them

Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года (ЭС-2035), утвержденная постановлением Правительства РФ N1523-р от 09.06.2020 года, определила приоритетом государственной энергетической политики переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, рациональному природопользованию и энергетической эффективности.

В настоящее время в автономной энергетике России в районах Арктики, Крайнего Севера и приравненных к нему местностях, Дальнего Востока получили распространение мобильные и стационарные энергоустановки с энергетическими модулями мощностью до 100 кВт на основе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с кривошипно-шатунным механизмом (КШМ), преобразующим возвратно-поступательное движение поршней (от энергии сгорания топливной смеси) во вращательное движение коленчатого вала и обратно.

Для преобразования механической энергии возвратно-поступательного движения поршней ДВС в электрическую энергию в автономных энергетических установках в большинстве случаев применяются электрические машины вращательного действия.

Достигается это преобразование энергии с помощью кинематических передач, значительно усложняющих конструкцию и снижающих коэффициент полезного действия (КПД) установки. Альтернативой является применение ДВС со свободным поршнем и электрическим генератором линейного движения.

Применение линейных электрических машин возвратно-поступательного действия позволяет устранить эти недостатки, а модульная конструкция позволит масштабировать энергоустановку по мощности для конкретной задачи [1].

Анализ источников научно-технической литературы по данной теме показал, что исторически ДВС со свободным поршнем предложен в 20-х годах XX века и до 90-х годов использовался ограничено, например, как генератор газов для последующей работы в турбоустановке или в воздушных компрессорах. Но, уже начиная с 1990-х годов, в научном мире начались проводиться исследования свободнопоршневого линейного двигателя, в англоязычной литературе называемого «Free-Piston Linear Engine» (FPLE) в сочетании с гидравлическим насосом как силового агрегата автомобиля, а потом и в сочетании с линейным генератором электрического тока. Генератор возвратно-поступательного движения или линейный генератор со свободным поршнем (ЛГСП), в англоязычной литературе называемый «Free-Piston Linear Generator» (FPLG), является относительно новым видом устройств, вырабатывающих электроэнергию. Он представляет огромный интерес как перспективная концепция энергоустановки с ДВС для мобильных и стационарных энергоустановок малой энергетики России с целью реализации Энергетической стратегии России до 2035 года.

Как известно из курса электромеханики, электрические машины вращательного движения бывают постоянного тока, переменного тока (асинхронные, синхронные, в т.ч. шаговые) и имеют свои аналоги в электрических машинах линейного движения, как цилиндрической, так и плоской конструкции.

Наиболее перспективными являются цилиндрические конструкции линейных электрических машин возвратно-поступательного действия (ЛЭМ ВПД) (рис. 1, [2]), КПД которых достигает 93 – 95%, в то время как КПД плоской конструкции ЛЭМ ВПД составляет всего 60 – 62% [3].

На рис. 1 цифрами приведены следующие обозначения: 1 – электропривод клапана, 2 – выпускное отверстие, 3 – свеча зажигания, 4 – поршень, 5 – шток, 6 – катушка статора, 7 – магнитопровод статора, 8 – постоянные магниты, 9 – впускной патрубок, 10 – клапан, 11 – инжектор.

Из различных видов цилиндрических ЛЭМ ВПД целесообразно выделить машины с постоянными магнитами, расположенными на подвижном элементе (трансляторе), преимуществом которых является реализация подвижной магнитной системы из кольцевых постоянных магнитов с радиальной и осевой намагниченностью в виде Холбах-массива (англ. *Halbach-array*) [4].

Холбах-массив представляет собой последовательность постоянных магнитов с циклически изменяемой угловой ориентацией вектора намагниченности. При этом, во-первых, в идеальном случае вектор намагниченности синусоидально изменяется в пространстве, что приводит к минимизации пульсации межзубцового сцепления без применения специальных мер в виде скашивания пазов, а во-вторых, магнитные потоки замыкаются внутри электрической машины, не рассеиваясь снаружи, – эффект самоэкранирования [5].

Следующим этапом предлагается провести подробный научный анализ различных типов и конструкций ЛЭМ ВПД в целях разработки собственной оригинальной конструкции и выполнить проверку ее математической модели при помощи программ схемотехнического моделирования на компьютере.

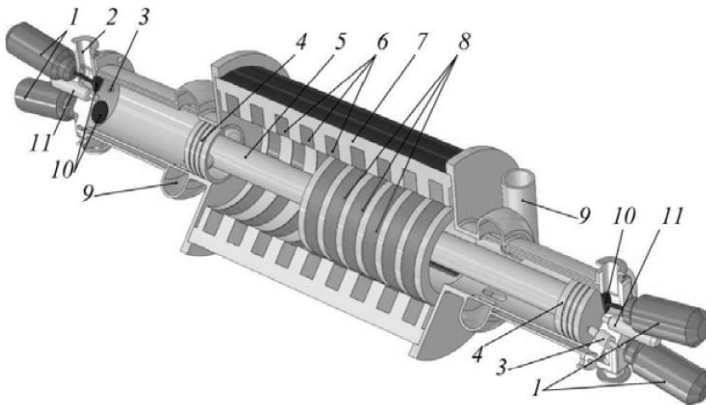


Рис. 1 – Линейный генератор со свободным поршнем

Литература:

1. Разработка электрической машины возвратно-поступательного действия модульного типа. Копылов А.М., Сафин А.Р., Гибадуллин Р.Р., Доломанюк Л.В., Цветков А.Н. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – №9–10. – С. 126 – 132.

2. Автомобильный генератор возвратно-поступательного движения. Анализ конструкции. Духанин В.И., Кецарис А.А. // Известия МГТУ «МАМИ». – 2012. – №2(14). – С. 11 – 14.

3. Рыжков А.В. Анализ и выбор рациональных конструкций цилиндрического линейного двигателя с магнитоэлектрическим возбуждением: дис. канд. техн. наук. / Воронеж. гос. техн. ун-т. – Воронеж, 2008. – 154 с.

4. Jang S. Thrust Analysis and measurements of tubular linear actuator with cylindrical Halbach-array // IEEE Transactions on magnetics. – 2005. – V. 41. May. – P.2028 – 2029.

5. Линейный генератор с постоянными магнитами для систем электропитания автономных объектов. Высоцкий В.Е., Тарашев С.А., Синицин А.П. // Известия вузов. Электромеханика. – 2010. – №1. – С. 80 – 82.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ СМЕСЕВОМ СЖИГАНИИ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ И МУКОМОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н.С. Кузьменко, Р.Б. Табакаев

**Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, nsk26@tpu.ru**

В настоящее время население планеты увеличивается с каждым днём. С ростом населения возрастает энергопотребление, что влечёт за собой рост негативного воздействия на окружающую среду. Одним из решений проблемы является снижение выбросов вредных веществ за счет использования более экологических видов топлива. В настоящей работе рассмотрены экологические аспекты при сжигании топливных гранул из отходов угледобычи и мукомольного производства.

Nowadays, the world's population is increasing every day. With the growth of the population, energy consumption increases, which leads to an increase in the negative impact on the environment. One of the solutions to this problem is to reduce emissions of harmful substances by using more environmentally friendly fuels. In this paper, we consider the environmental aspects of the combustion of fuel pellets from waste from coal mining and milling.

В настоящее время население планеты увеличивается с каждым днём [1]. С ростом населения возрастает энергопотребление, что влечёт за собой рост негативного воздействия на окружающую среду. Исследования Международного энергетического агентства (МЭА) показали, что около 18 000 человек ежедневно умирают из-за

загрязнения воздуха [2]. Одним из решений этой проблемы является снижение выбросов вредных веществ за счет использования более экологических видов топлива. В качестве топлива рассмотрены топливные гранулы (пеллеты), изготавливаемые из смеси каменноугольного штыба и пшеничных отрубей [3]. Каменноугольный штыб является отходом угледобычи в связи с тем, что его размеры труднообрабатываемы для промышленного пользования. Пшеничные отруби представляют собою отход мукомольного производства, требующие утилизации [4].

Целью работы является определение оптимального состава топливных гранул из каменноугольного штыба и пшеничных отрубей, обеспечивающих минимальные выбросы вредных веществ при сжигании.

Для достижения поставленной цели рассмотрены пеллеты с содержанием отрубей 0, 4, 10 и 20%. В таблице 1 приведены значения их теплоты сгорания в пересчете на сухую массу топлива.

Таблица 1 – Теплота сгорания топливных гранул в зависимости от доли содержащихся в них пшеничных отрубей

Концентрация отрубей	0%	4%	10%	20%
Теплота сгорания в пересчете на сухое состояние (МДж/кг)	30,1	29,64	28,94	27,78

Для исследования вредных выбросов, образующихся при сжигании топливных гранул, разработана специальная установка (рис. 1), имитирующая горение топлива в приближенных к реальным условиям. При проведении эксперимента пеллету 2 размещали в топочной камере 1, осуществляли нагрев. Одновременно с нагревом в топочную камеру 1 подавали воздух при помощи воздушного компрессора 6, расход которого поддерживался по показаниям ротаметра 7 при помощи регулировочного вентиля 8 на уровне 5 л/мин. Контроль температуры осуществляли при помощи термопары 3 и регистратора температуры 4, а регулировка скорости нагрева – при помощи автотрансформатора 5. Образующиеся при горении образца 2 дымовые газы охлаждали в стеклянном теплообменнике 9 и анализировали в газоанализаторе Тест-1 (Россия, Бонэр-ВТ) 10. Топочная камера нагревалась до температуры 500°С и поддерживалась на одном уровне до завершения горения.

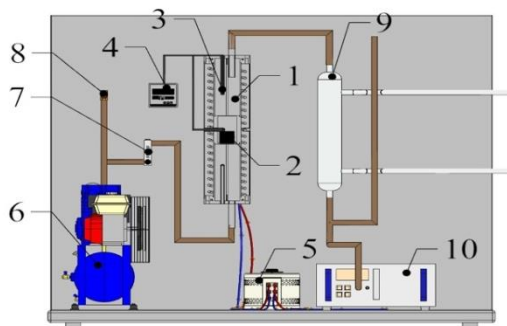


Рис. 1 – Экспериментальный стенд сжигания твердого топлива: 1 – топочная камера, 2 – исследуемый образец топлива, 3 – термопара К-туре, 4 – регистратор температуры, 5 – автотрансформатор, 6 – воздушный компрессор, 7 – ротаметр, 8 – регулировочный вентиль, 9 – стеклянный теплообменник, 10 – газоанализатор Тест-1 (Бонер-ВТ, Россия).

Результаты изучения максимальной концентрации вредных компонентов (CO, NO, NO₂, SO₂) и углекислого газа CO₂ в составе дымовых газов сведены в таблицу 2. Видно, что с увеличением доли отрубей в составе пеллеты наблюдается снижение концентрации CO, NO₂, SO₂, однако увеличивается NO. При этом происходит наиболее полное выгорание топлива, что проявляется в росте концентрации CO₂, при снижении CO. В связи с тем, что пеллеты с различной долей отрубей имеют разную теплоту сгорания, то целесообразно оценивать удельные выбросы вредных веществ при пересчете на 1 МДж выделяющейся теплоты (табл. 3).

Таблица 2 – Максимальные концентрации вредных компонентов в выходящем газе

Доля отрубей в грануле	CO, %	CO ₂ , %	NO, ppm	NO ₂ , ppm	SO ₂ , ppm
0%	1,85	0,1	147	22	102
4%	1,85	0,1	73	4	26
10%	1,77	0,21	155	2	35
20%	1,51	0,21	176	3	52

Из табл. 3 видно, что оптимальной концентрацией является содержание отрубей от 4-10%. Данная концентрация обеспечивает наименьшие выбросы вредных веществ.

Таблица 3 – Относительные концентрации вредных компонентов в выходящем газе

Концентрация отрубей	CO, %/МДж	CO ₂ , %/МДж	NO, ppm/МДж	NO ₂ , ppm/МДж	SO ₂ , ppm/МДж
0%	0,0615	0,0033	4,8837	0,7309	3,3887
4%	0,0624	0,0034	2,4629	0,1350	0,8772
10%	0,0612	0,0073	5,3559	0,0691	1,2094
20%	0,0544	0,0076	6,3355	0,1080	1,8719

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 19-79-00085).

Литература:

1. *Эйфари А. К.*, Рост населения и мировая продовольственная проблема (1970–2015 гг.): монография / А. К. Эйфари, В. В. Манцев, В. С. Семенович, А. А. Урынғалиева. – Москва: РУДН, 2018. – 129 с.
2. World Energy Outlook Special Report. Energy and air pollution. Paris: International Energy Agency; 2016.
3. Определение связанной влажности при гранулировании угольной смеси / Н. С. Кузьменко, Д. Е. Мусафиров, А. С. Сухушин, Н. А. Зиза, В.В. Кан // Теплоэнергетика: материалы XV всерос. конф. науч.- техн. конф. студ., аспирантов, и молод. учен. – Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2020 – С. 112.
4. Исследование пшеничных отрубей и продуктов их пиролиза для оценки возможности использования в энергетических целях / А.В. Астафьев, М.А. Гайдабрус, К. Т. Ибраева, Р.Б. Табакаев, Н.А. Языков, А.С. Заворин // Химия растительного сырья. – 2020. – № 2. – С. 323-332.

СНИЖЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПАРА ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЕЖИМЫ ТЭС

И.А. Малышев, О.К. Григорьева

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, malyshevia95@gmail.com**

В данной статье рассматривается вопрос перераспределения возникших резервов тепловой мощности Новосибирской ТЭЦ-2, образовавшихся вследствие особенности работы турбин, связанных со снижением потребления пара из производственных отборов турбин типа ПТ. Предлагаются решения данной проблемы при заданных режимах работы, исходя из имеющегося теплового графика.

This article discusses the issue of redistribution arose reserves of thermal power Novosibirsk CHPP-2, which was formed following the result features the work of

turbines associated with a reduction of steam consumption from the production of turbines type PT. Solutions to this problem are proposed for the given operating modes, based on the available thermal schedule.

Построенная еще в СССР и запущенная в эксплуатацию в 1935 г. Новосибирская ТЭЦ-2 была рассчитана на обеспечение теплоснабжением и электроэнергией не только населения, но и промышленных потребителей. Однако в настоящий момент, в связи с переходом большинства предприятий на собственные парогенераторы, а также общий уровень снижения потребления, возникли значительные резервы тепловой мощности в паре производственных отборов турбин 4-ой очереди. Это в свою очередь не позволяет наиболее экономично использовать потенциал имеющегося оборудования. Исходя из этого, актуальностью данной статьи можно назвать необходимость решения вопроса модернизации паровых турбин типа ПТ.

Работа турбины с регулируемым промышленным отбором пара в современных условиях из-за отсутствия или снижения нагрузки производственных отборов характеризуется ухудшенными технико-экономическими показателями и, как следствие, перерасходом топлива. И так же необходимо отметить, что комбинированная выработка электрической и тепловой энергии с помощью теплофикационных турбин дает значительную экономию топлива по сравнению с раздельной выработкой этих видов энергии. Учитывая данные факторы, необходимо проведение реконструкции таких установок с целью улучшения показателей режима работы.

Основная деятельность Новосибирской ТЭЦ-2 заключается в отпуске тепла потребителю и регулировании графика электрических нагрузок. В зимний период при предельно низких температурах наружного воздуха все энергоагрегаты электростанции загружены полностью, согласно тепловому графику и диспетчерскому заданию тепловых сетей города. И как следствие, возможность разгрузки турбоагрегатов в часы ночного «провала» нагрузки или конденсационной догрузки в часы дневного максимума отсутствует.

С помощью теплофикационных отборов турбин ПТ-80/100-130/13, а также производственных отборов и редуцированной охлаждающей установки (РОУ), осуществляется качественное регулирование тепловой нагрузки до температуры наружного воздуха $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. В условиях же более низких температур осуществляется срезка тепла по температуре прямой сетевой воды.

Касаемо летне-осеннего периода, при закупке энергосистемой электроэнергии на оптовом рынке электроэнергии и мощности России

(ОРЭМ)по выработке электроэнергии, Новосибирская ТЭЦ-2 разгружается до минимума и даже до «нуля».

Низкая пропускная способность частей среднего и низкого давления (ЧСНД) ограничивает электрическую и тепловую мощность турбин типа ПТ на некоторых режимах работы. Учитывая данные особенности, а также подразумеваемая указанные выше режимы работы электростанции, можно сделать вывод о том, что низкий уровень коэффициента использования электрической мощности на уровне 45% был предопределен ранее.

Касательно вопроса реконструкции теплофикационной установки в связи с уменьшением потребления пара из производственных отборов промышленными потребителями, можно рассмотреть следующие варианты решения данной проблематики:

1. Модернизация турбоагрегатов ст. ПТ-80-130/13 с увеличением мощности до 100 МВт, установкой ПСГ большего типоразмера;

2. Перевооружение ЧСНД турбин ПТ-80/100-130/13, которое позволит по диспетчерскому графику увеличить выработку электроэнергии до 1 000тыс. МВт·ч в год или сэкономить топлива около 30 000 т.у.т.

3. Установка приключенной турбины К или Т типа, для снятия ограничений в режимах работы турбин и увеличения располагаемой мощности ТЭЦ.

В заключении статьи подведем итог о том, что каждый из предложенных выше вариантов может являться решением проблемы, затронутой в статье. Их применение позволит снять ограничения по электрической нагрузке турбогенераторов при некоторых режимах работы. Это приведет к увеличению мощности турбин а следовательно и установленной мощности станции, и как итог, приведет к росту экономических показателей. Однако стоит отметить, что исследования в данной области будут продолжаться в последующих научных работах.

Литература:

1. *Шляхин П.Н.*, Справочник по паротурбинным установкам: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1972. – 515 с.

2. *Трошин С.С.*, *Шарапов А.И.*, *Коваленко И.А.*, Способы повышения производительности предприятия. Производственный энергоаудит. – Школа молодых ученых, 2017 – 144 с.

3. *Цыганок А.П.*, *Шагапов С.Г.*, *Кузнецов А.В.* Модернизация оборудования. Выбор оптимального варианта реконструкции турбины ПТ-135/165-130-15 Красноярской ТЭЦ-2 // Энергетик, 2010. – С. 12-16.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АТТ С ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ РЕГЕНЕРАЦИЕЙ РАБОЧЕГО РАСТВОРА

Н.В. Миронова, С.Л. Елистратов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, miroanovaNina@inbox.ru**

В данной работе проведено сравнительное исследование энергетической эффективности хлористо-литиевого и бромисто-литиевого АТТ с двухступенчатой регенерацией рабочего раствора.

This article presents a comparative study of the energy efficiency of lithium chloride and lithium bromide АТТ with a two-stage regeneration of the working solution.

Термотрансформаторы абсорбционного (АТТ) типа в последнее время вызывают значительный исследовательский интерес. Несмотря на то, что, холодильный коэффициент (COP) абсорбционных термотрансформаторов существенно ниже, чем парокompрессионных, АТТ имеют эксплуатационные преимущества, поскольку в качестве источника энергии для работы используют низкосортное тепло. Холодильный коэффициент, определяющий эффективность работы термотрансформаторов, повышается с увеличением количества ступеней генератора (десорбера). Наиболее эффективными являются АТТ с трехступенчатой системой генерации рабочего раствора. Однако, на практике трехступенчатые АТТ широкого применения не получили, поскольку COP с добавлением третьей ступени не всегда бывает достаточно высоким, чтобы оправдать дополнительную стоимость и сложность конструкции. Гораздо больший эффект может дать работа двухступенчатых АТТ на оптимально подобранных параметрах.

Водный раствор хлорида лития представляет собой один из перспективных рабочих растворов АТТ, поскольку его стоимость существенно ниже стоимости бромида лития. Более того, использование в АТТ водного раствора LiCl обеспечивает лучшую производительность системы по сравнению с раствором LiBr при равных условиях работы. Термодинамические свойства водного раствора LiCl в форме эмпирических выражений представлены в работах [1-3]. Преимущество LiCl в том, что его водный раствор обеспечивает стабильность процесса регенерации в аппаратах АТТ. Он также имеет более высокое, в сравнении с раствором LiBr, давление паров над поверхностью раствора, и при равных значениях давления и концентрации растворов, температура в случае использования LiCl будет ниже. Это позволит использовать в АТТ греющий источник тепла с относительно низкой

температурой. Недостатком использования в АТТ водного раствора LiCl в качестве абсорбента является повышенный риск его кристаллизации при высокой температуре греющего источника [4].

На рисунке 1 представлена схема двухступенчатого АТТ, в котором слабый рабочий раствор из абсорбера через два растворных теплообменника (ТР) насосом раствора подается в генератор высокого давления (ГВД). В ГВД при подводе тепла греющего источника образуется водяной пар, который используется в качестве греющей среды для генератора низкого давления (ГНД). Рабочий раствор средней концентрации после ГВД через ТР-2 направляется в ГНД, где выпаривается до необходимой концентрации. Крепкий раствор из ГНД поступает в абсорбер через ТР-1. Пар, образованный в ГВД и ГНД, поступает в конденсатор, конденсируется и подается на испаритель. В испарителе, за счет тепла низкопотенциального источника, происходит испарение конденсата. Образовавшийся пар поступает в абсорбер и поглощается крепким раствором абсорбента. Такая схема распределения потоков в исследованиях [5] показала себя одной из наиболее эффективных.

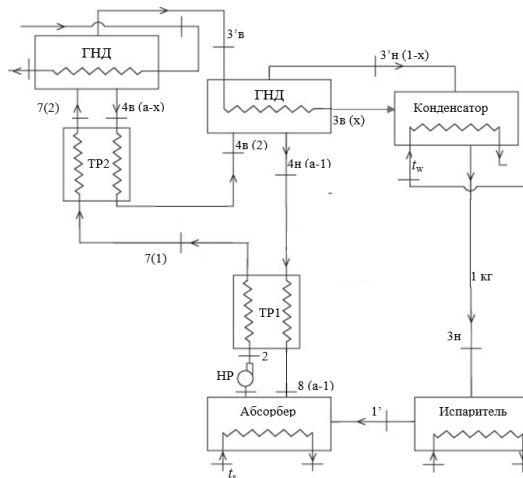


Рис. 1 – Принципиальная схема двухступенчатого АТТ с последовательным распределением рабочего раствора

Термодинамические и теплофизические параметры водного раствора LiCl определяются по диаграммам состояния зависимостям приведенным в [6]. Для определения основных параметров цикла АТТ использовалась методика, предложенная в работе [7].

Расчеты производительности абсорбционных термотрансформаторов выполнены с помощью компьютерного моделирования для сравнения двух рабочих растворов АТТ. Также рассмотрены зависимости COP от температуры в генераторе и от температуры охлаждающей воды. Диапазоны работы АТТ были выбраны таким образом, чтобы концентрация раствора LiCl не превышала 50%, а для LiBr – 75% для исключения возможности кристаллизации рабочего раствора.

На рисунке 2 представлено влияние температуры ГВД с одновременным изменением температуры ГНД на COP при температуре охлаждающей воды 33, 35 и 37 °С. Разность температур между ГВД и ГНД составила 34, 36 и 40 °С для 3 рассмотренных вариантов.

На графике (Рисунок 2) видно, что COP увеличивается с ростом $t_{ГВД}$, и его максимальное значение составило 1,4 при $t_{ГВД}=105\text{ °C}$ и $t_{ГНД}=70\text{ °C}$ в случае $t_w=33\text{ °C}$. Также на графике для сравнения представлена зависимость COP от температуры в испарителе $t_{и}$, и в ходе исследований было выявлено, что хлористо-литиевые АТТ с двухступенчатой системой генерации крепкого раствора при температуре в испарителе $t_{и}=8\text{ °C}$ имеет показатели COP выше, чем при 5 °C .

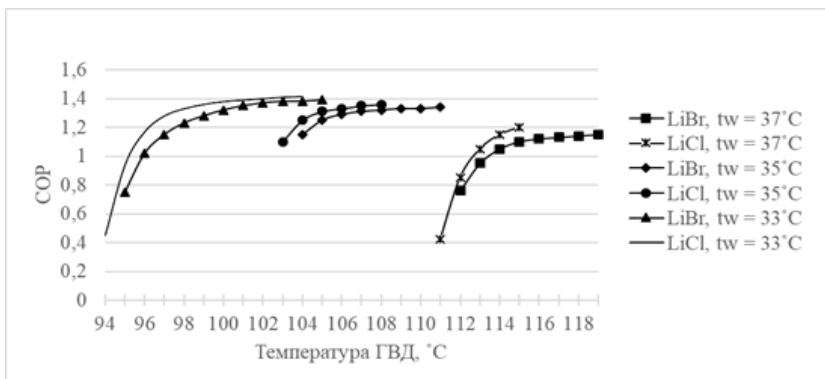


Рис.2 – Зависимость COP АТТ с двухступенчатой десорбцией от температуры ГВД при различной температуре охлаждающей воды

Кроме того, было отмечено, что температура в ГВД, а соответственно и в ГНД, имеет, относительно бромисто-литиевых машин, невысокие значения. То есть АТТ могут работать при низких значениях $t_{ГВД}$ при снижении t_w либо при повышении $t_{и}$, и наоборот, $t_{ГВД}$ повышается с ростом t_w и снижается с понижением $t_{и}$.

Из представленных исследований можно видеть, что при всех исследуемых случаях эффективность хлористо-литиевых АТТ выше

бромисто-литиевых. Однако, опасность кристаллизации при работе с LiCl выше, что приводит к ограничению температурного уровня в генераторах АТТ. Для термотрансформаторов, работающих на водном растворе LiBr такие ограничения начинаются при концентрации раствора свыше 75%, в то время как для хлористо-литиевых с 50%. В связи с этим важно отметить, что бромисто-литиевые АТТ могут работать в более широком температурном диапазоне, и при высоких температурах в генераторе иметь COP выше, чем хлористо-литиевые.

Литература:

1. *M.R. Conde*, Properties of aqueous solutions of Lithium and Calcium chlorides: formulations for use in air conditioning equipment design, *Int. J. Therm. Sci.* 43 (2004) 367–382.
2. *J. Patek, J. Klomfar*, Solid–liquid phase equilibrium in the systems of LiBr–H₂O and LiCl–H₂O, *Fluid Phase Equilib.* 250 (2006) 138–149.
3. *J. Patek, J. Klomfar*, Thermodynamic properties of the LiCl–H₂O system at vapour–liquid equilibrium from 273K to 400K, *Int. J. Refrig.* 31 (2008) 287–303.
4. *X. She, Y. Yin, M. Xu, X. Zhang*, A novel low-grade heat-driven absorption refrigeration system with LiCl–H₂O and LiBr–H₂O working pairs, *Int. J. Refrig.* 58 (2015) 219–234.
5. *K. Gomme, G. Grossman, F. Ziegler*, Experimental investigation of a LiCl-water open absorption system for cooling and dehumidification, *J. Solar Energy Eng.* 126 (2004) 710–715.
6. **Бараненко А.В.** Водные растворы абсорбционных термотрансформаторов: моногр. А.В. Бараненко, С.В. Караван, О.А. Пинчук, Д.В. Караван. – М.: Изд-во «Перо», 2014. - 393 с.
7. Абсорбционные преобразователи теплоты: монография / А.В. Бараненко, Л.С. Тимофеевский, А.Г. Долотов, А.В. Попов. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2005. – 338 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИНАРНЫХ УСТАНОВОК ГЕОТЭС

А.С. Мошкирева, О.К. Григорьева

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, mns96@mail.ru

Предложена схема комбинированной геотермальной электростанции с фреоном R-134a в качестве органического рабочего тела. Произведен расчет мощности бинарной установки ГеоТЭС в зависимости от температуры воздуха.

A scheme of a combined geothermal power plant with R-134a freon as an organic working fluid is proposed. The calculation of the power of the binary installation of GeoTTP was made depending on the air temperature.

Актуальным направлением развития энергетики на сегодняшний день является использование невозобновляемых источников энергии. Один из таких источников – геотермальная энергия.

В наиболее простой схеме работы ГеоТЭС сухой или перегретый пар отбирается из скважины, сепарируется от механических примесей и подаётся на турбину, где реализуется цикл Ренкина.

Другой способ использования теплоты геотермального источника – передача этой теплоты другому теплоносителю, который будет являться рабочим телом для второго контура. Такие циклы называют бинарными, а в качестве рабочего тела для таких установок используют низкокипящие фреоны.

Перспективной отраслью развития геотермальной энергетики на данный момент является утилизация тепла низкотемпературного теплоносителя с помощью комбинированных бинарных установок [2].

Данные установки отличаются тем, что геотермальные воды не только являются источником тепла для второго контура, но и непосредственно используются в паровой турбине для преобразования теплоты в механическую энергию.

Примером электростанции, работающей по комбинированному бинарному циклу, может служить Паратунская ГеоТЭС, построенная на Камчатке.

В качестве органического рабочего тела на Паратунской электростанции использовался фреон R-22, однако с 1985 года его применение ограничено Монреальским протоколом [1].

В настоящее время одним из лидеров на рынке низкокипящих рабочих тел является фреон R-134a. Данный фреон широко используется как заменитель ранее распространенных фреонов в том числе R-22[3].

Комбинированный бинарный цикла геотермальной электростанции, работающий на фреоне R-134a. В качестве работающей паровой турбины использована существующая турбина со следующими параметрами:

- давление на входе $p_0 = 0,5$ МПа;
- температура пара на входе $t_0 = 151$ °С;
- давление на выходе $p_K = 105$ кПа.

Фреоновый контур разрабатывается с учетом перехода на другой теплоноситель.

Мощность паровой части цикла постоянна и не изменяется в зависимости от температуры окружающей среды. Мощность фреоновой турбины была рассчитана при самой холодной температуре региона - 25°C и при средней температуре воздуха +15°C и равны 16,71 МВт и 7,27 МВт соответственно.

Собственные нужды питательного насоса парового цикла, равны 9,21 МВт, а питательного насоса фреонового цикла при холодной и средней температурах, соответственно равны 7,05 кВт и 5,73 кВт с учетом изменения расхода низкокипящего рабочего тела.

Таким образом при средней температуре воздуха мощность бинарной установки ГеоТЭС равна 18 МВт, а в холодное время года может достигать 27.5 МВт.

Литература:

1. Геотермальная энергетика [Текст]: справочно-методическое издание / Г. В. Томаров, А. И. Никольский, В. Н. Семенов, А. А. Шипков; под ред. П. П. Безруких. - Москва: Теплоэнергетик, 2015. - 301 с.

2. *Томаров Г.В., Шипков А.А.* Современная геотермальная энергетика: геотермальные электростанции с бинарным циклом // Теплоэнергетика. 2017. №4. С.3-12.

3. *Гафуров Н.М., Гафуров А.М.* Отечественный опыт создания геотермальной электростанции с бинарным циклом//Форум молодых ученых – 2017. №5(9). С. 519-522.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ

С.А. Павлычев, Е.Ю. Григорьев

**Ивановский государственный энергетический университет,
г. Иваново, sap465@mail.ru**

Проблема выбросов в настоящее время стоит очень остро. С этим связано изменение климата, что приводит к негативным процессам на планете. Энергетический сектор является лидером по выбросам, это конкретно указывает на поиск решений именно в нем.

The problem of emissions is currently very acute. This is associated with climate change, which leads to negative processes on the planet. The energy sector is the leader in terms of emissions, which specifically points to the search for solutions in it.

В современном мире происходит стремительное развитие науки и техники, и в связи с этим идет значительный рост потребления

электрической энергии. Следовательно, требуется и увеличение мощностей в энергетическом секторе.

Никому не секрет, что в энергетике большая часть мощностей реализуется на углеводородном сжигании топлива. Это ведет к высоким показателям выбросов в атмосферу. Как известно, выбросы пагубно влияют на нашу планету. От них страдает как природа, так и человек.

Страны пытаются снизить количество выбросов различными способами, но все равно они находятся выше предельно допустимых значений. Статистика показывает, что наибольшие выбросы находятся именно в энергетике, поэтому наиболее перспективное направление для снижения выбросов является именно она.

Разработкой установок в энергетической секторе, позволяющих снижать выбросы, занимаются в настоящее время достаточно активно. В некоторых странах имеются в эксплуатации установки малой мощности, способные снизить выбросы, которые были введены для получения опыта и дальнейшей разработки агрегатов большой мощности.

В настоящее время существует перспективная разработка Родни Аллама. Его разработка представляет собой замкнутый термодинамический цикл с рабочим телом диоксид углерода на достаточно высокие параметры на входе в турбину: давление и температура на входе около 300 бар и 1150 0С соответственно. В данном цикле выбросы будут представлять собой воду, диоксид углерода и малое количество других окислов. Избытки диоксида углерода могут быть либо захоронены для переработки природой, либо для использования в промышленности.

Особенность турбины, использующей в качестве рабочей среды – диоксид углерода заключается в том, что высокие давления рабочей среды свойственны паровым турбинам, а высокие температуры в газотурбинных установках. Следовательно, при проектировании принципиально новой, малоизученной турбины с высокими показателями работы необходимо объединить технологии проектирования традиционных паровых и газовых турбомашин.

Литература:

1. Allam R. J. et al. High efficiency and low cost of electricity generation from fossil fuels while eliminating atmospheric emissions, including carbon dioxide //Energy Procedia. – 2013. – t. 37. – p. 1135-1149.

АНАЛИЗ ШЛАКУЮЩИХ СВОЙСТВ И ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА В ТОПОЧНОЙ КАМЕРЕ КОТЛА

В.В. Просветлюк, Н.В. Шарков

Алтайский государственный технический университет им.

И.И. Ползунова, г. Барнаул, deuseundead@mail.ru,

nick210202@yandex.ru

В статье представлен анализ топочно-горелочного устройства котла и разработка решений по обеспечению его бесшлаковочной работы и процесса выброса окислов азота в допустимых пределах. Показаны результаты расчетно-аналитических исследований с помощью математического моделирования.

The article presents the analysis of the boiler furnace and the development of solutions to ensure its slag-free operation and to provide nitrogen oxides emission in acceptable limits. The results of computational and analytical research using mathematical modeling are presented.

Шлакование топок ведёт к аварийному останову котлоагрегата, происходящей из-за уменьшения сечения для выхода газов вверх топки, либо накопления шлаковых масс внизу топки, препятствующих удалению шлаков. Оксид азота – одно из наиболее опасных веществ по токсичному воздействию и количественному образованию. Поэтому проблема уменьшения эмиссии оксидов азота при сжигании различных видов топлив чрезвычайно актуальна.

В работе ставилась цель проанализировать топочно-горелочное устройство котла Е-500-13,8-560КТ применительно к сжиганию каменного угля марки Д разреза «Изыхский» и бурого угля разреза «Ирша-Бородинский» с обеспечением бесшлаковочной работы котла и выбросов оксидов азота ниже 350 мг/нм³.

Для данного котла Е-500-13,8-560КТ принята тангенциальная схема расположения прямоточных горелок в четыре яруса (рисунок 1). Оси горелок направлены по касательной к окружности диаметром 1000 мм. Конструкция топочно-горелочного устройства предусматривает организацию верхнего и нижнего дутья (рисунок 2). В данном методе исследования объем топочной камеры разбивается на ряд элементов и рассчитывается теплообмен между всеми элементами. Такой подход позволяет, в частности, рассчитывать распределение температур в топочной камере в трехмерном измерении.

По результатам расчетной оценки показано, что Ирша-Бородинский уголь со средней зольностью $A^d = 9,2 - 10,5$ % характеризуется: средней склонностью к образованию железистых отложений; высокой склонностью к образованию сульфатно-кальциевых отложений; низкой

вероятностью образования загрязнений на базе щелочей; высоким и очень высоким потенциалом к шлакованию топки и очень высоким потенциалом шлакования поверхностей нагрева на выходе из топки. Изыхский уголь при $A_d = 19,2 - 26,0\%$ характеризуется: средней склонностью к образованию железистых отложений; низкой склонностью к образованию сульфатно-кальциевых отложений; низкой вероятностью образования загрязнений на базе щелочей; средним и высоким потенциалом к шлакованию топки и средним потенциалом шлакования поверхностей нагрева на выходе из топки (Таблица 1).

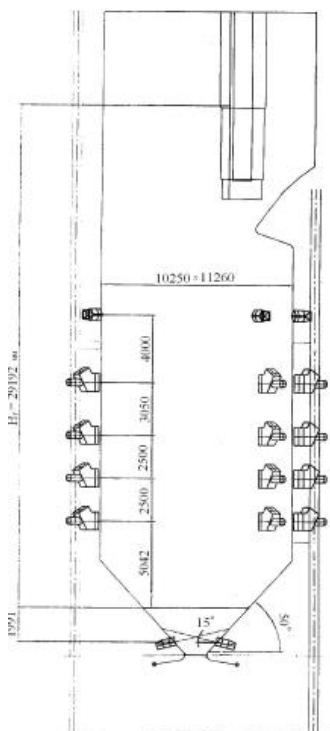


Рис. 1 – Схема поперечного сечения топки

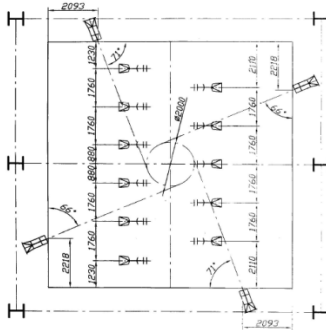


Рис. 2 – Схема расположения сопел нижнего и верхнего дутья (тангенциально)

Таблица 1 – Элементарный состав и теплота сгорания рассматриваемых углей

Элемент	Уголь разреза «Изыхский»			Уголь разреза «Ирша-Бородинский»	
	23,9	26,0	19,2/19,2	10,5	9,2/9,2
A^d , %	23,9	26,0	19,2/19,2	10,5	9,2/9,2
C^{daf} , %	78,0	74,5	78,2/78,2	71,5	71,3/72,5
H^{daf} , %	5,1	4,9	4,2/5,2	4,9	4,9/5,1
S_c^{daf} , %	0,7	1,0	0,6/0,9	0,3	0,3/0,3
N^{daf} , %	1,8	2,0	1,9/1,9	0,9	0,9/1,0
O^{daf} , %	15,4	17,6	15,1/13,8	22,4	22,5/21,1
Q_i^r , ккал/кг	4420	4230	4910/5010	3610	3710/3840

Приведен диапазон изменения компонентов химического состава Изыхского и Ирша-Бородинского углей (Таблица 2).

Таблица 2 - Диапазоны изменения показателей химического состава в зависимости от зольности

Элемент	Уголь разреза «Изыхский» при $A^d = 13,9—29,4$ % [1]	Уголь разреза «Ирша-Бородинский» при $A^d = 4,4—15,0$ % [2]
SiO_2	49,5—65,8 %	8,9—71,5 %;
Al_2O_3	26,6—29,8 %	3,8—25,2 %
TiO_2	0,6—0,7 %	0,6—0,62 %
Fe_2O_3	2,7—11,5 %	4,6—19,6 %
CaO	3,9—6,0 %	12,5—58,8 %
MgO	0,8—2,2 %	2,3—11,0 %
K_2O	0,5—1,2 %	0,1—1,0 %
Na_2O	0,5 — 1,9 %	0,2—0,8 %

Для традиционной конструкции топки возможность ее бесшлаковочной работы оценивается путем соответствующего выбора тепловых напряжений, расстояний между горелками и стенами, горелками и скатом холодной воронки, температурного уровня на выходе из зоны активного горения по методическим указаниям по проектированию топочных устройств [3].

Результаты исследований однозначно показывают на отсутствие ограничений по шлакованию котла, связанных с конструкцией топки и показателями шлакующих свойств рассматриваемых углей. Вместе с тем шлакованию могут подвергаться локальные участки топки из-за неблагоприятной газодинамики, неравномерного распределения тепловых потоков, концентраций частиц и температур газов вблизи экранов. Для выявления отмеченных недостатков проведены расчеты по математической модели топочного процесса (Рисунок 3).

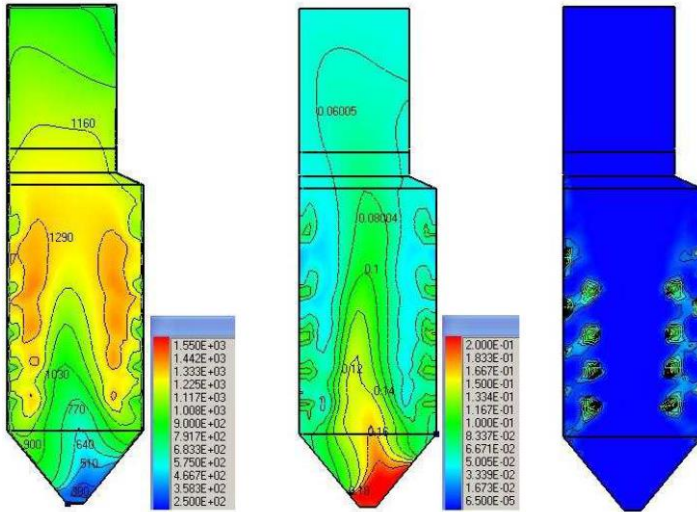


Рис. 3 - Температурное поле (слева), распределение кислорода (в центре) и концентрация частиц (справа) по центру топки

Расчеты по математической модели показали наличие очагов потенциального локального шлакования при сжигании иршабородинского угля. Повышение концентрации твердой фазы, температур газов и тепловых потоков при низком содержании кислорода наблюдается в верхней части топки выше 4-го яруса горелок. Для обеспечения требуемой чистоты экранов этой зоны топки рекомендуется рассмотреть возможность применения водяной очистки.

Литература:

1. Результаты исследований физико-химических свойств хакасских углей ОАО СУЭК: отчет / УралВТИ; рук. работы В. В. Богомолов. - Челябинск, 2007. - Том 2. - Арх. № 12193.

2. Богомолов В. В., Энергетические угли восточной части России и Казахстана: справ. / В. В. Богомолов, Н. В. Артемьева, А. Н. Алехнович и др. - Челябинск: УралВТИ, 2004. - 304 с.

3. Методические указания по проектированию топочных устройств энергетических котлов / под ред. Э. Х. Вербовецкого, Н. Г. Жмерика. - СПб.: ВТИ-ЦКТИ, 1996. - 270 с.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ТРУБОПРОВОДОВ

Соболев И.С., Бранфилева А.Н.

**Самарский Государственный Технический Университет, г. Самара,
ilya97sobolev88@gmail.com**

Теплоизоляция трубопроводов является одним из высокоэффективных способов достижения экономичного энергосбережения. При выборе теплоизоляции ключевой проблемой является правильный выбор материала и оптимального диаметра изоляции, поскольку при этом необходимо сбалансировать эффекты энергосбережения и экономические выгоды. Для решения представленных проблем была разработана CFD-модель течения жидкости по трубопроводу, покрытому изоляцией. С помощью модели был найден критический диаметр изоляции – важная величина для определения энергоэффективности изоляции.

Thermal insulation of pipelines is one of the highly effective ways to achieve energy savings. When choosing thermal insulation, the key issue is the correct choice of material and the optimal insulation diameter, since it is necessary to balance the effects of energy savings and economic benefits. To solve the presented problems, a CFD model of fluid flow through a pipeline covered with insulation was developed. With the help of the model, the critical diameter of the insulation was found - an important value for determining the energy efficiency of the insulation.

По разным причинам трубы и воздухопроводы, передающие тепло в механических установках, в значительной степени подвержены потерям тепла и изменениям температуры. Такими причинами зачастую являются: отсутствие изоляции трубы, низкая температура окружающей среды и конструкцию трубы. В зданиях и промышленных системах лучший способ обеспечить экономии за счет снижения потерь энергии - это использовать изоляцию. В результате изоляция труб и воздухопроводов в зданиях, механических установках и в промышленности обеспечивает

большую экономию тепла, а также финансовую выгоду. По мере увеличения толщины изоляции увеличивается её эффективность, однако инвестиционные затраты также растут [1]. Хотя эта ситуация определяется типом и толщиной теплоизоляционного материала, оптимальная толщина изоляции может быть рассчитана. Первым шагом для определения данной величины является определение критического диаметра изоляции. Критический диаметр изоляции представляет собой крайнее значение диаметра изоляции, после которого дальнейшее увеличение диаметра не принесет экономической выгоды.

Существует несколько различных методов определения критического диаметра изоляции, среди которых выделяют аналитический и численный. Плюс аналитического метода заключается в его относительной простоте, однако для комплексного расчета требуется большое количество первичных данных. Математическое моделирование является современным и дешевым методом. С его помощью можно рассчитать множество характеристик системы – в том числе температуру теплоносителей, потери энергии, потери давления на линейных и местных сопротивлениях одним единым расчетом. С помощью однажды созданной математической модели можно просчитать большое количество разнообразных решений и определить их эффективность. Кроме того, с помощью специальных функций UDF можно задать неоднородную теплопроводность изоляции, с помощью которой можно рассчитывать свойства новейших изоляционных материалов, таких как аэрогель.

Целью данного исследования было определение критического диаметра изоляции при помощи численного моделирования в Ansys Fluent. При постановке задачи были сделаны следующие допущения: температура воды задана постоянной, коэффициент теплопроводности изоляции не зависит от температуры, задача являлась стационарной.

В качестве расчетной геометрии был выбран цилиндр с внутренним диаметром 40мм, а внешним диаметром 45 мм. Внутренний цилиндр представляет собой воду с постоянной температурой. Внешняя часть цилиндра – изоляция трубопровода. Длина цилиндра составляет 300мм. Начальная толщина изоляции составляет 5 мм. На расчетную геометрию была нанесена сетка в модуле Ansys Meshing. Расчетная сетка состоит в основном из элементов в форме параллелепипеда и тетраэдров в некоторых местах центральной части. Полученную сетку можно видеть на рисунке 1. Конечное количество элементов составляет 323 482. Изоляция была покрыта одним слоем элементов для корректного расчета теплопроводности.

Для расчета теплообменных процессов было включено уравнение энергии [2]. Коэффициент теплопроводности изоляционного материала был равен $0,1 \text{ Вт/м}^*\text{К}$. В качестве граничного условия на внутренней стенке была задана постоянная температура 340 К . Температура воздуха за пределами трубопровода была равна 300К , а коэффициент теплоотдачи $2 \text{ Вт/м}^2*\text{К}$. Сходимость решения была получена к 576 итерации. Результаты моделирования представлены на рисунке 2 и 3. На рисунке 2 изображен контур температуры в поперечном сечении трубопровода. Как видно, температура постепенно убывает от жидкости

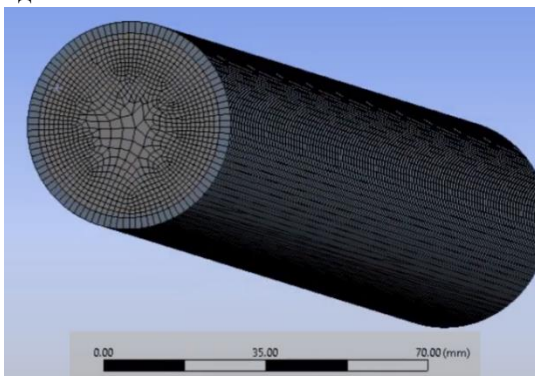


Рис.1 Расчетная геометрия и сетка

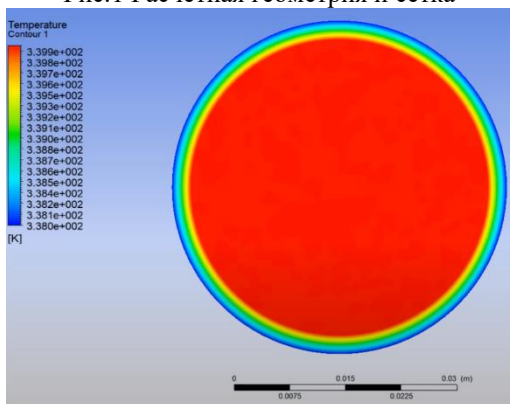


Рис.2 Контур температур

к стенке, что свидетельствует об адекватности модели. Было произведено 12 расчетов с различным диаметром изоляции (внешним диаметром) – от 45 до 150 мм. Полученные данные нанесены на график

на рис.3. Было определено, что при внешнем диаметре, равном 100мм, тепловой поток через изоляцию максимален. 100мм – величина критического диаметра изоляции.

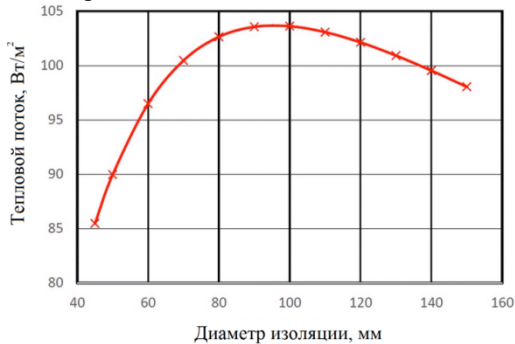


Рис.3 График зависимости теплового потока от диаметра изоляции

С помощью разработанной модели можно получать достоверные сведения о характеристиках теплоизолированных трубопроводов различных конструкций с различной тепловой изоляцией. Полученные с помощью модели данные имеют хорошую сходимость с результатами эксперимента.

Литература:

1. Daşdemir A. et al. Optimal economic thickness of pipe insulation considering different pipe materials for HVAC pipe applications //Applied Thermal Engineering. – 2017. – Т. 121. – С. 242-254.
2. ANSYS Fluent 2019 R2 User's Guide

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ГАЗИФИКАЦИИ

А.Ю. Степанов, О.В. Боруш

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, radiosound8923@mail.ru**

В работе рассмотрены некоторые технологии газификации угольного топлива, описан состав оборудования, представлен вариант классификации таких установок. Выполнен анализ различных типов газификаторов, выделены их преимущества и недостатки. Приведены основные технико-экономические показатели.

The paper considers few technologies for gasification of coal fuel, the plant unit is described, one more variant of the classification of the like installations is presented

The analysis of various types of gasifiers is carried out, the advantages and disadvantages of the gasifier systems are highlighted, the principal performance indicators are given.

Технология газификации угля стратегически необходима для России, так как при нынешнем потреблении запасов нефти хватит на 35 лет и газа более чем на 50 лет [1]. Наша страна располагает около 15 % мировых запасов угля [2]. Методом газификации можно перерабатывать низкосортные твёрдые топлива (нефтекокс, асфальтены, каменные и бурые угли), обеспечив высокие экологические показатели и эффективность энергоустановок. Процесс газификации топлива близок процессу горения. В основе этих процессов лежит химическое соединение восстановителя (углерода и водорода) с окислителем (кислородом). Отличие в том, что при сгорании происходит полное окисление топлива в условиях избытка кислорода, а газификация идет в условиях дефицита кислорода, при этом полного окисления топлива не происходит. При газификации в качестве окислителей, которые иногда называют газифицирующими агентами, используют кислород (или обогащенный им воздух), водяной пар, диоксид углерода либо смеси указанных веществ [3].

В России существуют различные технологии газификации: в потоке с мокрой топливоподачей занимается ЗАО «Компомаш-ТЭК» [4]; в потоке с сухой топливоподачей занимается ОАО НПО ЦКТИ, где создана стендовая установка одноступенчатой поточной газификации мощностью 160 кВт, работающая при $p = 0,1 \dots 1,6$ МПа, $t = 1100 \dots 1500$ °С, в качестве газифицирующего агента могут использоваться комбинации воздуха, пара и кислорода, нагретые до 300...600 °С [4]; Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе совместно с ОАО «Сибирский завод электротермического оборудования», ООО «Электроплазменные технологии» и НГТУ разработали электроплазменную установку для переработки отходов. В основе технологии лежит плазменная газификация переработки/утилизации отходов древесины, сельскохозяйственных, бытовых, растительных, полиэтилена, текстиля и др. с получением высококалорийного 10-13 МДж/нм³ синтез-газа, который предназначен для производства электроэнергии. Неорганическая составляющая отходов (зола) под действием высокой температуры (4000...5000 °С) переходит в расплав и с последующей грануляцией приобретает нейтральные свойства к окружающей среде и может быть использована в строительной индустрии [5]. Классификация технологии газификации представлена на рисунке 1.

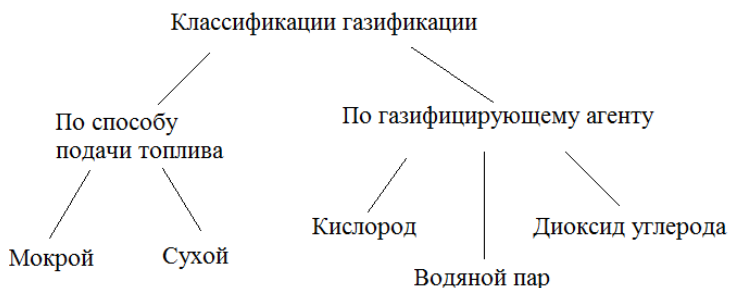


Рис. 1 – Классификация газификации

На кафедре ТЭС НГТУ разработаны схемы ПГУ ТЭЦ с газификаторами разного типа: поточный аллотермический трубчатый с газификацией угольной пыли и Тексако с газификацией водоугольного топлива, а также газификатор кипящего слоя Винклера. При паровой газификации на собственные нужды аллотермического газификатора используется пар от отбора паровой турбины, при кислородной газификации в газификаторах Тексако или Винклера на собственные нужды подается кислород. У схем с трубчатым газификатором полностью вытесняется система регенерации паровой турбины, у других схем система регенерации вытесняется не в полном объеме, так как сохраняется предварительный подогрев основного конденсата до температур 40...44 °С для схемы с газификатором Тексако и 29...32 °С для схемы с газификатором Винклера [6]. У поточных газификаторов трубчатого и Тексако кольцевая конструкция, а у Винклера – цилиндрическая. Высота газификаторов определяется временем протекания реакции газификации и составляет для трубчатого газификатора – 20 м, газификатора Тексако – 6,64 м, для газификатора кипящего слоя Винклера – 13 м [6]. Особенностью работы трубчатого аллотермического газификатора является необходимость подвода пара постоянного давления (2,0 бар) от регулируемого отбора паровой турбины. Газификация в газификаторах Тексако и Винклера осуществляется с использованием в качестве окислителя кислорода, что требует дополнительных капитальных затрат в установку разделения воздуха и увеличивает расход электроэнергии на собственные нужды ТЭС. Газификатор водоугольного топлива (Тексако) позволяет производить наиболее калорийный синтез-газ с высоким объемным содержанием водорода. Близкий по составу и теплотворной способности синтез-газ производится трубчатым аллотермическим

газификатором. Производимый в газификаторе кипящего слоя (Винклера) синтез-газ имеет в 2 раза ниже объемное содержание водорода и меньшую теплоту сгорания. Это объясняется различием в применяемом окислителе: пар – для трубчатого газификатора, кислород и пар – для газификатора Тексако и кислород – для газификатора Винклера. Анализ приведенной информации в литературе [6] показал при работе на Кузнецком каменном угле, что диаметры реакторной зоны не превышают 5-и метров для газификаторов Тексако и Винклера, а для газификатора кольцевого типа – не выше 20-и метров, при диаметре внутренней вставки не выше 15-и метров. Сравнительная характеристика технологии газификации угля на базе теплофикационной турбины Т-250/300-240 (УТЗ) представлена в таблице 1 [6].

Таблица 1 – Технологии газификации угля

	Показатель	Газификация угольной пыли (газификатор Трубчатый)	Газификация водоугольного топлива (газификатор Тексако)	Газификация в кипящем слое (газификатор Винклера)
1	Удельные капиталовложения на единицу производительности, тыс. долл./кг/с	354,2	66,1	24,5
2	Эксергетический КПД по выработке электроэнергии	0,376	0,346	0,288
3	Эксергетический КПД по выработке эксергии теплоты	0,344	0,338	0,281

Анализируя приведенные в таблице 1 показатели можно сделать вывод, что наиболее эффективной с точки зрения эксергетических показателей является схема с трубчатым аллотермическим газификатором, наименее эффективной – с газификатором кипящего слоя. Наибольшие удельные капиталовложений требует вариант с газификатором типа трубчатый, далее идет газификатор Тексако и

наименьшие капиталовложения соответствуют схеме с газификатором кипящего слоя.

Литература:

1. Статистический сборник. ТЭК России – 2019 [Электронный ресурс]. URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/ТЕК_annual/ТЕК.2019.pdf (Дата обращения: 11.10.2020).
2. Стало известно, на сколько лет в России хватит нефти и газа [Электронный ресурс]. URL: <https://expert.ru/2020/05/28/podschitanyi-zarasyi-nefti-i-gaza-v-rossii/> (Дата обращения: 14.10.2020).
3. *Алешина А.С., Сергеев В.В.* Газификация твердого топлива: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 202 с.
4. Парогазовые технологии на твердом топливе: учебное пособие / А.Ф. Рыжков, Т.Ф. Богатова, Е.И. Левин. – Екатеринбург: Из-во УрФУ, 2018. – 160 с.
5. Электроплазменная установка для переработки отходов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itp.nsc.ru/applied-exploit/elektroplazmennaya-ustanovka-dlya-pererabotki-otchodov> (Дата обращения: 18.10.2020).
6. *Кузьмин А.Г.* Комплексные технико-экономические исследования ПГУ с поточными газификаторами: дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2009. – 152 с.

ДВУХКОНТУРНЫЙ ЦИКЛ РЕНКИНА ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНУЮ ЭНЕРГИЮ СПГ В ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Е.В. Благин¹, И.А. Усков², Е.П. Кузнецова³, Р.Р. Бадыков⁴
Самарский научно-исследовательский университет имени
академика С. П. Королева
г. Самара evgenyblagin@gmail.com

В данной работе предложена энергетическая установка, использующая геотермальное тепло в качестве источника подвода тепла, а сжиженный природный газ – в качестве источника отвода тепла. Эффективность такой установки может достигать 14%, что выше, чем у обычных геотермальных электростанций.

Сжиженный природный газ, геотермальная энергия, цикл Ренкина, холодная энергия.

This article deals with energy plant, utilizing geothermal heat as a heat source and liquid natural gas as a heat sink. Efficiency of such plant can reach up to 14% which is higher than standard geothermal plant.

Введение

На сегодняшний день геотермальная энергетика является самым экономически эффективным возобновляемым источником энергии [1]. Такой вид выработки электроэнергии популярен в странах с термоаномальными зонами, например, Новая Зеландия, Япония или Исландия. Тепловой КПД геотермальных электростанций невелик — около 7–10%, поскольку геотермальные жидкости имеют более низкую температуру, чем пар из котлов ТЭЦ или ТЭС, работающих на углеводородном топливе. [2]. Сжиженный природный газ (СПГ) — завоевал популярность как экологический чистый и легкотранспортируемый вид топлива, но у него есть один недостаток — на сжижение природного газа затрачена энергия холодильных машин. Поэтому в одной установке выгодно совместить низкопотенциальную энергию СПГ с энергией пара из геотермальной скважины. [3] Использование низкопотенциальной энергии СПГ позволит понизить температуру отвода тепла геотермальной электростанции, тем самым увеличив разницу температур и за счет этого повысить эффективность цикла.

Описание установки

Пар из геотермального источника поступает в котел, где отдает свое тепло воде, испаряя её. Вода после котла поступает на паровую турбину, где расширяется, приводя в действие вал электрогенератора. После паровой турбины часть пара отводится в водяной конденсатор, где происходит охлаждение и конденсация пара морской водой, а часть отводится в углеводородный конденсатор, где охлаждение и конденсация водяного пара производится за счет кипения углеводородов (этилена или этана). После конденсаторов вода поступает в насос, который нагнетает воду обратно в котел.

Пары углеводорода поступают в паровую турбину, где они расширяются, вращая вал электрогенератора, после чего поступают в конденсатор, где происходит фазовый переход из пара в жидкость за счет отвода тепла в сжиженный природный газ. После конденсатора углеводород поступает в насос, которым нагнетается обратно в испаритель, где за счет отвода тепла из воды происходит его испарение.

Для повышения эффективности электростанции необходимо выбрать оптимальное соотношение расхода пара и СПГ, весь пар из турбины будет поступать в теплообменник связанный со вторым контуром. В таком случае вся тепловая энергия пара из скважины будет потрачена на теплообмен с этиленом, превращая его в пар под высоким

давлением. Уменьшив значение расхода геотермального источника можно добиться повышения эффективности на 2-3%.

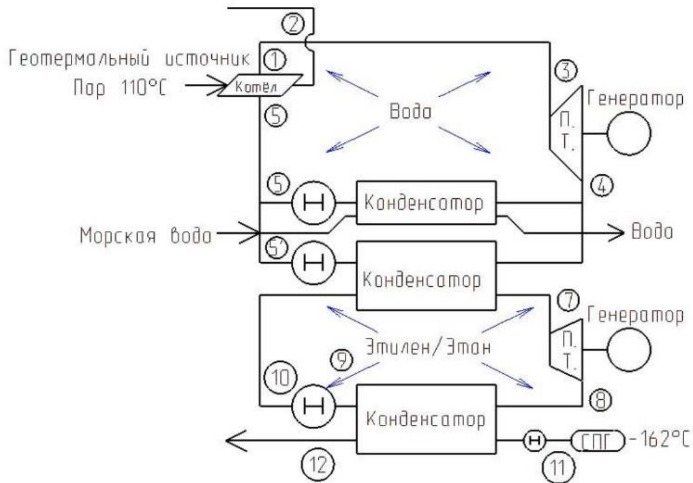


Рис.1 - Принципиальная схема геотермальной электростанции с двухконтурным циклом Ренкина.

Математическая модель расчета.

Расчет параметров данной установки производится путем совместного решения следующих уравнений:

$$\text{Уравнение теплового баланса котла: } G_{\text{ГТ}} \cdot (i - i_1) = G_{\text{H}_2\text{O}}(i_1 - i_5);$$

$$\text{Уравнение теплового баланса углеводородного конденсатора: } G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (i_4 - i_5) = G_{\text{ЭТ}} \cdot (i_7 - i_{10});$$

$$\text{Уравнение теплового баланса испарителя СПГ: } G_{\text{ЭТ}} \cdot (i_8 - i_9) = G_{\text{СПГ}}(i_{11} - i_{12});$$

$$\text{Работа турбин и насосов: } L_{\text{TН}_2\text{O}} = (i_3 - i_4) \cdot G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \eta_{\text{T}};$$

$$L_{\text{TЭТ}} = (i_7 - i_8) \cdot G_{\text{ЭТ}} \cdot \eta_{\text{T}};$$

$$L_{\text{НЭТ}} = (i_{10} - i_9) \cdot G_{\text{ЭТ}};$$

$$L_{\text{Нвод}} = (i_1 - i_5) \cdot G_{\text{H}_2\text{O}}.$$

Результаты и выводы

В результате расчёта параметры цикла следующие: работа в первом контуре (горячем) 250,461 кВт, работа во втором контуре (холодном) 16,356 кВт. Подведенная теплота в 1 контуре 2574,34 кВт. Максимальный КПД установки 14,04% при оптимальном отношении расхода пара из скважины к расходу СПГ. Таким образом мы примерно в 2 раза увеличили эффективность электростанции и получили

регазифицированный природный газ при нормальном давлении готовый к использованию

Результаты работы получены с использованием оборудования центра коллективного пользования «Межкафедральный учебно-производственный научный центр САМ-технологий» при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № FSSS-2020-0019).

Литература:

1. «Geothermal Energy. Japan: Resources and Technologies», The Geothermal Research Society of Japan (2012) С. 14-17.
2. Огуречников Л. А., «Геотермальные ресурсы в энергетике» (2007). «Альтернативная энергетика и экология» (2005) С.24-26.
3. «Evaluation of LNG Technologies», University of Oklahoma (2008) С.2-3.

ПАРАМЕТРЫ ОРЕБРЕНИЯ ПАРЫ «ПОРШЕНЬ-ЦИЛИНДР» ТЕРМОКОМПРЕССОРА

**Е.В. Благин¹, А.И. Довгялло², И.А. Усков³,
Е.П. Кузнецова⁴, Р.Р.Бадыков⁵**

**Самарский научно-исследовательский университет имени
академика С. П. Королева, г. Самара, evgenyblagin@gmail.com**

В данной работе рассматривается вопрос повышения площади поверхности теплоотдачи в полости термокомпрессора за счет установки внутренних продольных ребер. Разработан алгоритм определения оптимальных параметров оребрения.

Термокомпрессор, цилиндр, поршень, поверхность теплообмена, теплопроводность.

In this article, we are looking at the issue of increasing heat exchange surface of the thermocompressor cavity due to the installation of internal extensional ribs. An algorithm for determining the optimal parameters of the ribbing has been developed.

Thermocompressor, cylinder, piston, heat exchange surface, thermal conductivity.

Введение

Термомеханический компрессор или компрессор Стирлинга - это устройство, предназначенное для повышения давления путем добавления тепла к объему рабочей жидкости. Принцип работы заключается в том, что чередование нагрева и охлаждения газа в ограниченном объеме будет увеличивать общее давление, так как средняя температура рабочих жидкости увеличивается.

Ребристые поверхности применяют для увеличения теплообменной поверхности, которые характеризуется наибольшими термическими

сопротивлениями. Важным условием эффективного использования ребер поршня является их плотное соприкосновение с цилиндром (отсутствие воздушной прослойки), а также рациональное размещение ребер. [1]

Применение оребренной поверхности в полостях термокомпрессора позволяет обеспечить стабильный высокий тепловой поток в полостях термокомпрессора, особенно в случае использования низкопотенциального тепла.

Расчетные соотношения

Исходными данными для последующего расчета параметров оребрения следующие: площадь поперечного сечения обусловленная требованиями конструкции, минимальный шаг и толщина ребра обусловлены пределами прочности ребер, а технологические ограничения обусловлены возможностями оборудования используемого для оребрения.

Геометрические параметры полости термокомпрессора определяются несколькими факторами: величина вытесняемого объема определяется рабочими параметрами термокомпрессора, такими как степень повышения давления, отношение температур полостей и частота привода.

Кроме того, как правило, величина хода поршня является зависимой от внешних факторов и также задается. Таким образом, величина площади поперечного сечения полости термокомпрессора является величиной, задаваемой извне и независимой от геометрических параметров самой полости.

В то же время интенсивность подвода тепла зависит от того, насколько развита поверхность теплообмена в полости термокомпрессора. Для увеличения площади поверхности предлагается использовать продольные ребра, как на цилиндре, так и на ответной части поршня-вытеснителя.

Схема оребрения представлена на рисунке 1.

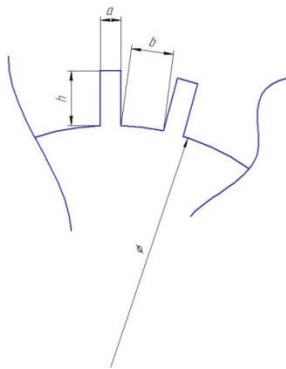


Рисунок 1 – Схема оребрения

Площадь поверхности теплообмена является произведением хода поршня на периметр поверхности оребрения, а так как ранее выяснено что ход поршня является внешним параметром, то на выходе получаем задачу максимизации периметра при постоянной площади поперечного сечения.

Периметр можно представить через параметры сечения: $P = n(2h + a + b)$;

Параметры шага и толщины ребра связаны с диаметром основания через соотношение: $n(a + b) = \pi d$.

Площадь поперечного сечения приближенно можно оценить как: $F = \pi d^2 + nah$.

После подстановки уравнений получаем, что максимум функции периметра зависит от одной заданной величины (площади поперечного сечения) и трех варьируемых (диаметр окружности, расстояние между ребрами и число ребер). Целесообразно провести оптимизацию численным методом, для чего был написан алгоритм на программном языке Python 2.7.

В расчете задавались технологические требования путем задания минимального шага и толщины ребра (не менее 1 мм) и требования по жесткости путем задания максимального соотношения высоты ребра к его толщины и шагу.

Результаты

Был произведен расчет параметров оребрения для полости термокомпрессора со степенью повышения давления 1,5, отношением температур 3, частотой 3 Гц и ходом поршня 120 мм. Оптимальными параметрами оребрения оказались: диаметр основной окружности 115

мм, ширина ребра 2 мм, расстояние между ребрами 2 мм, высота ребра 19,5 мм, число ребер – 90.

Результаты работы получены с использованием оборудования центра коллективного пользования «Межкафедральный учебно-производственный научный центр САМ-технологий» при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № FSSS-2020-0019).

Литература:

1. https://studopedia.ru/2_103100_rebristie-teploobmenniki.html

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРЕЧНЕВОЙ ЛУЗГИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Р.И. Хазиев, П.В. Стрельникова, О.К. Григорьева
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Rustam_97@bk.ru, 961607@mail.ru

В работе рассмотрены преимущества и свойства гречневой лузги при сжигании на энергетической установке.

The article considers the advantages and properties of burning buckwheat husk at power plant.

В качестве альтернативного топлива всё чаще используют органические вещества растительного происхождения, которые помимо возобновляемости топливного ресурса обладают экологической чистотой – растительные отходы поглощают оксидов углерода больше, чем выделяется при их сжигании [1].

В сельском хозяйстве широкое распространение получают небольшие цеха по переработке зерновых культур таких как пшеница, гречка, горох, подсолнечник. После переработки в этих цехах скапливается лузга, которую для снижения материальных затрат вывозят на свалку или сжигают. Таким образом, ухудшая экологическую обстановку.

Для получения тепловой энергии особый интерес представляет гречневая лузга, 4,5 кг гречневой лузги эквивалентно 1 кг жидкого топлива, а выход лузги при переработке гречихи составляет до 25 % [2]. Излишки энергии могут быть использованы на отопление производственных помещений и нагрев воды.

Лузга гречихи обладает высокой парусностью и низкой насыпной плотностью, поэтому в обычных условиях горит плохо с выделением большого количества дыма, и для ее эффективного сжигания

необходимо специальное топочное устройство, обеспечивающее оптимальные режимы горения, либо сжигание в виде брикетов. Брикет из гречневой лузги при плотности 1030 кг/м³ имеет калорийность 21-23 МДж/кг и содержанием золы около 1%, которую можно использовать в виде минерального удобрения [3].

Сжигание гречневой лузги планируется на котле Е-1,0-0,9Р с паропроизводительностью 0,7 т/ч, КПД 80% и расходом лузги 137 кг/ч. В таком случае, давление пара будет равно 0,8 МПа, а температура пара 170 °С. На данный момент пар уходит на производственные нужды и для получения электрической энергии планируется дополнительно установить влажнопаровую турбину либо контур с низкокипящим рабочим телом. При работе цикла с влажнопаровой турбиной можно использовать стандартную турбину с давлением 0,6 МПа и с температурой 160 °С.

Установка с низкокипящим рабочим телом работает по органическому циклу Ренкина. Анализ, выполненный авторами [4] показывает, что для значений температур греющих теплоносителей в диапазоне 140-190 °С целесообразно применять в утилизационном контуре пентан.

Литература:

1. *Зысин Л.В., Кошкин Н.Л.* Некоторые итоги применения растительной биомассы в энергетике развитых стран // Теплоэнергетика. – 1997. № 4. – С. 28-32.

2. *Шувалов А.М., Самодуров А.В.* Исследование режимов работы топочного устройства для эффективного сжигания растительных отходов // Вестник ТГТУ. 2003. Том 9. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-rezhimov-raboty-topochnogo-ustroystva-dlya-effektivnogo-szhiganiya-rastitelnyh-othodov/viewer> (дата обращения: 15.10.2020).

3. Топливные брикеты – сырье и стандарты. URL: <https://bio.ukr.bio/ru/articles/1550/> (дата обращения: 17.10.2020).

4. *Гринман М.И., Фомин В.А.* Перспективы применения энергетических установок с низкокипящими рабочими телами // Новости теплоснабжения. – 2010. №7 - <http://www.ntsnn.ru>

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ, ПРИХОДЯЩЕЙ НА КОЛЛЕКТОР

В.А. Хорева, С.Л. Елистратов

**Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, khorevavalentina@yandex.ru**

В статье представлен принципиально новый расчет значения потока солнечной радиации, приходящей на солнечный коллектор. Результатом проделанной работы является расчетная программа, которая может использоваться для расчета солнечного коллектора на любой широте и высоте над уровнем моря.

The article presents a fundamentally new calculation of the magnitude of the solar radiation flux entering the solar collector. The result of the work done is a calculation program that can be used to calculate the solar collector at any latitude and altitude above sea level.

Для определения потенциала выработки солнечной энергии часто используют карты ресурсов солнечной энергии. Эти карты создаются на основе спутниковых снимков и интерполяции данных наземных метеорологических станций, которые часто сильно удалены друг от друга, а их данные не всегда точны. Данные на картах не всегда имеют высокое качество и достаточный масштаб, чтобы быть надежной опорой для принятия решения по установке солнечного коллектора. Ошибка в выборе места расположения или угла наклона солнечного коллектора может привести к существенному уменьшению энергии солнечного излучения, падающей на коллектор. Точные и надежные данные о приходящей на коллектор энергии позволяют создать базу данных производительности солнечных станций в разных условиях.

Целью работы является создать расчетную программу, расчеты в которой являются не сводкой эмпирических данных, а системой функциональных связей, обоснованных физически.

Поглощение солнечного света в атмосфере зависит от её плотности и длины пути солнечных лучей в атмосфере. Плотность атмосферы рассчитывается по уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$\rho = \frac{M \cdot P}{R \cdot T}. \quad (1)$$

Вводим понятие коэффициента плотности. Для экватора при высоте установки коллектора над уровнем моря $h=0$ м, коэффициент плотности $\rho_{\text{коэф}}=1$. При $h=40000$ м, коэффициент плотности $\rho_{\text{коэф}}=0$.

$$\rho_{\text{коэф}} = \frac{M \cdot P_0 \left(1 + \frac{L \cdot h}{T_0}\right)^{\frac{-g \cdot M}{R \cdot L}}}{1,225 \cdot R \cdot (T_0 + L \cdot h)}, \quad (2)$$

где $P_0=101325$ Па – стандартное атмосферное давление на уровне моря; $T_0=288,15$ К – стандартная температура на уровне моря; $g=9,80665$ м/с² – ускорение свободного падения; $L=-0,0065$ К/м – среднее значение вертикальной компоненты градиента температуры в тропосфере; $R=8,31447$ Дж/мольК – универсальная газовая постоянная; $M=0,0289644$ кг/моль – молярная масса сухого воздуха; h , м – высота установки коллектора над уровнем моря.

Подставляя значения в (1) получаем, что на высотах 40 км и выше, плотностью атмосферы можно пренебречь ($h_{\text{max}}=40000$ м.).

Длина пути солнечных лучей через атмосферу:

$$L_{\text{лучей}} = \sqrt{h_{\text{max}}^2 + 2R_{\text{земли}} h_{\text{max}} + R_{\text{земли}}^2 \sin^2 a} - R_{\text{земли}} \cdot \sin a, \quad (3)$$

где a – угол подъема Солнца над горизонтом; $h_{\text{max}}=40000$ м – значащая высота атмосферы; $R_{\text{земли}}=6371000$ м – радиус Земли.

Прямая солнечная радиация равна:

$$I = I_0 \cdot e^{-\rho_{\text{коэф}} \cdot k_e \cdot \frac{L_{\text{лучей}}}{h_{\text{max}}}}, \quad (4)$$

где $k_e=0,26017$ – поправочный коэффициент экспоненты, введенный для того, чтобы график изменения мощности солнечного излучения в зависимости от высоты установки солнечного коллектора для географической широты $\varphi=0^\circ$ и угла подъема Солнца над горизонтом $h=90^\circ$ начинался из точки $I=1050$ Вт/м² (максимальный поток солнечного излучения на уровне моря на экваторе); $I_0=1362$ Вт/м² – солнечная постоянная [1].

С помощью написанной программы можно рассчитать количество прямой солнечной радиации, приходящей на солнечный коллектор, оценить эффективность его установки в любом регионе и рассчитать мощность солнечного коллектора в любой день или за определенный период времени на любой высоте над уровнем моря (Рисунок 1-3).

Дальнейшая работа над программой заключается в том, чтобы программа рассчитывала оптимальный угол установки солнечного коллектора для данного региона; рассчитывала наиболее оптимальный период использования коллектора, используя метеорологические

данные; выбирала, опираясь на цену установки 1 м² коллектора, наиболее оптимального производителя.

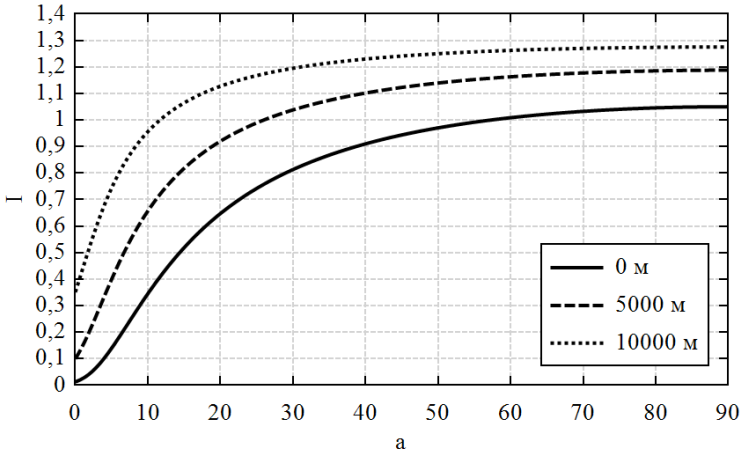


Рис. 1—Зависимость удельной мощности солнечного излучения (кВт/м²) от угла подъема Солнца над горизонтом

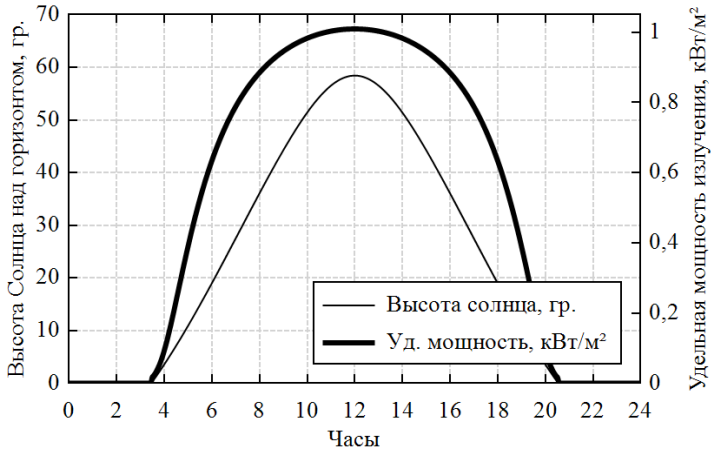


Рис. 2—Зависимость высоты Солнца над горизонтом и мощности от времени. Дата – 21 июня, $h=150$ м, $\varphi=55^\circ$

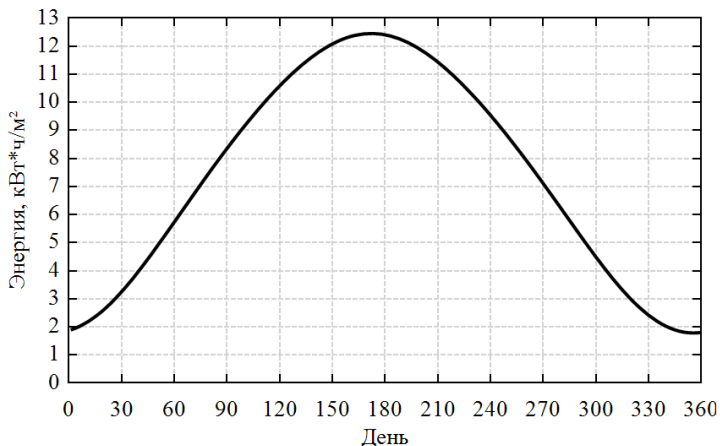


Рис. 3—Зависимость энергии солнечного излучения, приходящей на перпендикулярную потоку площадку, в зависимости от дня года для $h=150$ м, $\varphi=55^\circ$ с.ш.

Суммарная мощность солнечного излучения на площадку, перпендикулярную потоку солнечного излучения ($h=150$ м, $\varphi=55^\circ$ с.ш.):
 $Q_{\text{Год}} = 2685,2177$ кВт*ч/год*м².

Литература:

1. *Greg Kopp, Judith Lean*. A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. [Electronic resource] // *Geophysical Research Letters*. – 2011, January. – URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2010GL045777>.
2. *Loan Sarbu, CalinSebarchievici*. Solar heating and cooling systems/ TNQ Books and Journals. – London, 2017. – 441 p.
3. *Сивков С.И.* Методы расчета характеристик солнечной радиации/ Гидрометеорологическое издательство. – Ленинград, 1968. – 234с.
4. *Stephenson D.G.* Tables of solar altitude and azimuth. Intensity and solar heat gain tables. Technical Paper /National Research Council of Canada. –Ottawa, 1967. – 31 p.
5. *Laue, E. G.* The measurement of solar spectral irradiance at different terrestrial elevations // *Solar Energy*. – 1970. – Vol. 13, N. 1. –P. 43-50.
6. *Meinel, A.B. Meinel, M.P.* Applied solar energy / Wesley Pub. Co–Michigan, 1976. – 651 p.

Секция МЕНЕДЖМЕНТ В ЭНЕРГЕТИКЕ
И В ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЕТРОГЕНЕРАЦИИ В РОССИИ

А.Д. Быстров, Е.А. Гришина
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nstuenergy@mail.ru

В России долгое время считалось, что ветряные электростанции (ВЭС) являются неконкурентоспособными в сравнении с традиционной энергетикой. В тезисах анализируются основные экономические показатели ВЭС: энергетическая рентабельность (EROEI), капитальные затраты (CAPEX) и нормированная стоимость электроэнергии (LCOE). На основе анализа этих показателей делается вывод о перспективах ветрогенерации в России.

In Russia, it has long been considered that wind farms are uncompetitive in comparison with traditional energy. The theses analyze the main economic indicators of wind farms (WPPs): energy profitability (EROI), capital expenditure (CAPEX) and levelized cost of energy (LCOE). Based on the analysis of these indicators, a conclusion is made about the prospects of wind generation in Russia.

В соответствии с проектом Энергетической стратегии России одной из основных стратегий является эксплуатация нетрадиционных источников энергии, среди которых присутствует ветроэнергетика.

Ветроэнергетика – это отрасль энергетики, которая ориентируется на преобразовании кинетической энергии воздушных потоков в атмосфере в электрическую, механическую, тепловую или в любую возможную форму энергии, необходимую для использования в хозяйстве для преобразования энергии ветра в другие виды энергии используют ветроэнергетические установки (ВЭУ).

Россия имеет значительные ветровые ресурсы, но они рассредоточены неравномерно.

Совокупный экономический потенциал ветровой энергии составляет примерно 70 ТВт·ч в год, что сопоставимо с 30% генерации электроэнергии всеми электростанциями России.

Статистика показывает, что для эффективного применения ВЭС необходима среднегодовая скорость ветра 6,95 м/с, а для самокупаемости нужна среднегодовая скорость ветра не менее 5 м/с.

В России ежегодно проводится конкурсный отбор инвестиционных проектов по строительству генерирующих объектов,

функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии [1].

ВЭС уже возводятся в республике Адыгея, Краснодарском крае, Калининградской области, планируются в Ростовской области, Ставропольском крае. В ближайшее время в Ростовской области построится завод по производству частей ветроэнергетических установок.

Основными экономическими показателями являются энергетическая рентабельность (EROEI), капитальные затраты (CAPEX) и нормированная стоимость электроэнергии (LCOE), производимой ветроэнергетическими установками.

Энергетическая мощность ветряной энергетики упирается в физический предел энергии и в КПД её использования. Всё это сводится к показателю энергетической рентабельности (EROEI).

Этот коэффициент определяется как отношение количества энергии, полученной из определенного ресурса, к энергии, затраченной на создание этого ресурса. Показатель должен быть как минимум больше единицы.

Согласно исследованию европейских учёных, EROEI современных ВЭС - 16 единиц. Это означает, что ветряная электростанция за весь срок службы вырабатывает в 16 раз больше энергии, чем было затрачено на ее строительство, пусконаладочные работы и обслуживание на всем сроке эксплуатации.

Для сравнения EROEI углеводородной - от 28 и выше, EROI атомной энергетики - от 75 и выше

Поэтому лишь в редких случаях, при отсутствии других энергоресурсов, ВЭУ может являться основным источником. Совместное использование ВЭС возможно лишь с дизельными электростанциями, гидроаккумулирующими электростанциями, газотурбинными установками и др. и невозможно с ТЭС, АЭС, так как они не могут оперативно изменять свою мощность при колебаниях выработки ВЭС.

Ввиду стохастического характера ветра и сравнительно малой мощности на единицу площади, ВЭС не могут обеспечить полноценную замену ТЭС, ГЭС, АЭС.

Использование ветроэнергетики в России особо эффективно в зонах децентрализованного энергоснабжения, на приморских территориях с большим ветроэнергетическим потенциалом.

Проект ВЭС не должен превышать максимального значения капитальных затрат, или CAPEX (CAPital EXpenditure) [3].

Необходимо отметить, что капитальные затраты на ВЭУ за последние 25 лет существенно снизились. В результате, удельная стоимость строительства ВЭС уменьшилась с 120000 до 60000 руб./кВт установленной мощности.

Капитальные затраты на строительство ветряных электростанций в России уже сравнялись с ценой возведения газотурбинных ТЭЦ при пересчете на расходы станции на производство 1 кВт ч.

Сравнить экономическую выгодность различных вариантов энергообеспечения можно по показателю «нормированная стоимость электроэнергии» (LCOE).

Расчет этого показателя позволяет увидеть среднюю себестоимость производства электроэнергии в течение всего жизненного цикла системы. При этом подход учитывает стоимость денег во времени и позволяет сравнить выгодность различных технологий получения электроэнергии для конечного потребителя. В общем виде формула выглядит следующим образом [2]:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}},$$

где $LCOE$ – нормированная стоимость электроэнергии;

I_t – капитальные затраты в год t ;

M_t – эксплуатационные затраты в год t ;

F_t – затраты на топливо в год t ;

E_t – производство электроэнергии в год t ;

r – ставка дисконтирования;

n – срок службы системы.

Нормированная стоимость электроэнергии на ВЭС больше, чем на других видах электростанций. Сейчас можно отметить тенденцию к снижению цены за электроэнергию на ВЭС. Стоимость электроэнергии, производимой ВЭУ, зависит от объема вырабатываемой электроэнергии. Объем вырабатываемой энергии, в свою очередь, определяется величиной среднегодовой скорости ветра, сроком эксплуатации ВЭУ, затратами на ее эксплуатацию и обслуживание.

Вывод. По экономическим показателям ветряные электростанции на территории России пока уступают традиционной энергетике. Развитие ветроэнергетики осуществляется по проекту Энергетической стратегии России. Для повышения экономических показателей необходимо на этапе проекта ввода ВЭС правильно решить следующие задачи:

1. Выбор места установки ВЭС;
2. Выбор типа, количества и мощности ВЭУ;
3. Выбор площадки для ВЭС;
4. Проектирование электрической схемы проекта;
5. Выбор комплекта оборудования.

От результата решения этих задач будут зависеть вложения и сроки строительства, объемы эксплуатационных затрат, капитальные затраты. Кроме экономических показателей, очень важно учитывать социальные факторы, показатели окружающей среды, ограничения по землепользованию, по охране труда и пожарной безопасности.

Литература:

1. Акционерное общество «Администратор торговой системы оптового рынка электроэнергии» – АО "АТС": [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atsergo.ru/vie/> (дата обращения: 04.10.2020).
2. Безруких Павел Павлович Эффективность возобновляемой энергетики. Мифы и факты // Вестник аграрной науки Дона. 2015. №29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-vozbobovlyaemoy-energetiki-mify-i-fakty> (дата обращения: 05.10.2020).
3. Законодательная поддержка ВИЭ в РФ. РАВИ, 2018.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ГИДРОРЕСУРСА С УЧЕТОМ РЕЖИМНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ГЭС НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ КРИТЕРИЕВ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Васильев А.А., Мятеж Т.В., Секретарев Ю.А.

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, cornflower1997@mail.ru**

В данной статье предлагается универсальный метод анализа эффективности технических систем, представляющий собой сочетание оптимизационного метода и способа оценки стоимости гидроресурса для ГЭС с учетом ее режимных особенностей на основе теории предельной полезности. На основе сопоставления объема воды, используемой на ГЭС, и количества топлива на ТЭЦ, затрачиваемых для выработки 1 кВт мощности, появляется возможность определить цену воды для ГЭС. На примере Новосибирских ГЭС и ТЭЦ ожидается получение оценки экономического эффекта от внедрения разработанных критериев.

This article proposes a universal method for analyzing the efficiency of technical systems, which is a combination of an optimization method and a method for assessing the cost of a hydro resource for a hydroelectric power station, taking into

account its operating characteristics, based on the theory of marginal utility. By comparing the volume of water used at HPP and the amount of fuel at the CHPP used to generate 1 kW of power, it becomes possible to determine the price of water for hydroelectric power plants. Using the example of Novosibirsk HPP and CHPP, it is expected to obtain an assessment of the economic effect from the implementation of the developed criteria.

Целью данной работы является определение стоимости гидроресурса для ГЭС с учетом ее режимных особенностей на основе комплексного эколого-экономического критерия с использованием теории предельной полезности.

В настоящее время задача оптимального распределения нагрузки энергосистемы между ГЭС и ТЭС решается на основе метода неопределенных множителей Лагранжа.

В такой постановке b и q имеют различную размерность. Поэтому приходится опытным путем подбирать значение коэффициента λ с учетом ограниченности гидроресурса на ГЭС. Эти обстоятельства приводят к серьезному усложнению расчетов, связанных, прежде всего, с увеличением количества итерационных процедур и сходимостью данного процесса. Соображения относительно предельной полезности можно представить в очень простой графической форме (Рисунок 1).

Очевидно, что это предельная норма замены является не чем иным, как тем, что обычно мы называем меновым отношением полезности X к предельной полезности Y . Это и называется относительной предельной полезностью. Если количества X и Y представить на диаграмме безразличия (количества всех других товаров полагая заданными), предельная норма замены между X и Y будет измеряться наклоном кривой безразличия, которая пройдет через точку, на которой находится индивидуум. Она попросту зависит от системы кривых безразличия; на данной карте безразличия мы можем непосредственно определить наклон в любой точке; а если даны наклоны во всех точках внутри области, мы можем воссоздать карту безразличия для данной области.

Если индивидуум намерен находиться в равновесии относительно системы рыночных цен, его предельная норма замены между некими двумя товарами должна быть равна отношению их цен, иначе он смог бы несомненно извлечь выгоду, заменяя некоторое количество одного товара на равную ценность (по рыночной норме) другого. Это те рамки, в которые вписывается закон пропорциональности между предельными полезностями и ценами.

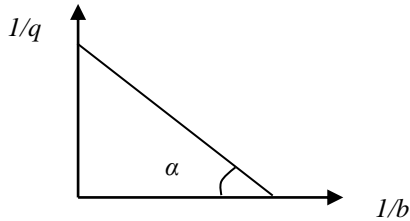


Рис.1 – Кривая безразличия

Причем необходимо отметить, что от физических величин $1/q$, [$\text{с} \cdot \text{кВт} / \text{м}^3$] и $1/b$, [$\text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{т.у.т.}$] необходимо перейти к относительным единицам, поскольку это позволит построить кривую безразличия, построенную в относительных единицах в зависимости от разноразмерных величин b и q .

Для определения значений b и q , которые необходимо использовать при построении кривой безразличия, воспользуемся результатами выполнения водно-энергетического расчета. Целью водно-энергетического расчета является нахождение такого режима сработки и заполнения водохранилища при заданном гидрографе реки, который бы обеспечил системе выработку средних мощностей, равных гарантированным. Всякий водноэнергетический расчет (ВЭР) производится на основе уравнения регулирования стока или расхода.

При построении кривых относительных приростов расхода воды на ГЭС и топлива на ТЭС текущие значения относительных приростов делились на средние значения относительного прироста расхода воды и топлива соответственно. Тогда, переходя к кривой безразличия по предельным издержкам на расход воды и топлива, необходимо отметить, что угол наклона кривой безразличия (α) остается точно таким же. Отсюда можно определить цену воды для ГЭС:

$$U_q = \psi \cdot q, \quad (1)$$

где ψ – цена воды для ГЭС, U_q – предельные издержки на ГЭС, q – относительный прирост расхода воды на ГЭС.

Рассмотрим порядок их построения. Для нагрузки $N=157 \text{ МВт}$ были найдены соответствующие значения относительного прироста расхода воды на НГЭС и топлива на эквивалентной ТЭЦ. Они составили $q=7,76 \text{ м}^3 / \text{с} \cdot \text{МВт}$ и $b=0,4083 \text{ т.у.т./МВт} \cdot \text{ч}$. Путем деления единицы на эти значения были получены соответствующие значения $1/q=1/7,76=0,129$ и $1/b=1/0,4083=2,5$.

Кривая безразличия для периода паводка в относительных единицах была получена соотношением относительного прироста расхода топлива или воды к среднему их значению за сезон следующим образом: $1/q=1/7,76/7,842=1,01$ и $1/b=1/0,4083/0,585=1,43$.

При этом цена на воду определялась следующим образом:

1. Определяли тангенс угла $tg\alpha = b/q=0,128/2,45=0,053$;
2. Далее строили кривую безразличия по предельным издержкам.

При этом определяли цену топлива для выработки одинакового объема воды на эквивалентной ТЭЦ и НГЭС. В качестве такого объема выработки принимали 157 МВт. Цену топлива на ТЭЦ определяли как $C=U(157 \text{ MВm})/b(157 \text{ MВm})=167,441/0,408=410,39 \text{ руб.}$

3. После чего умножали $tg\alpha * C=410,39 * 0,053=21,59 \text{ руб.}$ и получали цену гидроресурса с учетом технологических особенностей работы ГЭС для паводка.

Поскольку для любой ГЭС суточный расход гидроресурса определяется однозначно, то задача выбора оптимального режима работы ГЭС решается таким же образом, как и на ТЭС при заданном расходе топлива [2-3]. Согласно разработанной методике для заданного состава работающего оборудования на ГЭС необходимо построить характеристики относительных приростов расхода воды на гидростанции для каждого интервала оптимизации (Рисунок 2). Для проверки работоспособности предлагаемой модели использовались упрощенные режимы работы ГЭС, в частности, сезонные периоды года.

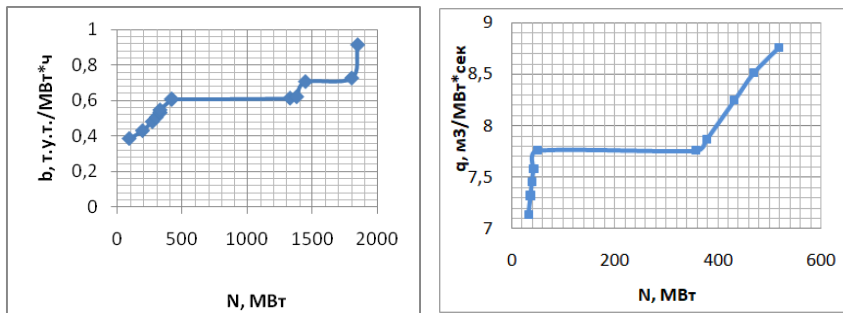


Рис.2 – Характеристика относительного прироста расхода топлива эквивалентной ТЭЦ (а) расхода воды НГЭС (б) для периода паводка

Далее с использованием критерия максимизации прибыли была проведена оптимизация режимов работы НГЭС для каждого из характерных сезонов года (паводок, межень и работа на бытовом стоке).

Диапазон изменения выработки электроэнергии ГЭС для периода паводка составляет 100800-114480 МВт·ч. При этом заявленная цена электроэнергии составит от 257 до 270 руб/МВт·ч; для периода межени 90000-100800 МВт·ч при заявленной цене от 600 до 689 руб/МВт·ч соответственно. Для работы на бытовом стоке эти значения равны 9300-97200 МВт·ч и 290-300 руб/МВт·ч. Цена воды для НГЭС в период паводка составляет 21,59 руб/м³, для межени – 30,50 руб/м³, для работы на бытовом стоке – 33,66 руб/м³.

По результатам исследования можно отметить следующее:

- Проведен критический анализ существующих критериев управления станциями.
- Предложен новый подход управления режимами работы энергетического объекта.
- Разработана математическая модель управления функционированием гидро- и тепловых электростанций для краткосрочной оптимизации режимов покрытия графиков нагрузки в условиях рынка.
- Осуществлена расчетная и экспериментальная проверка разработанных подходов и методов, а также проведена реализация основных положений исследования на конкретных объектах.
- Использование предложенной модели позволяет оценивать стоимость гидроресурсов на ГЭС и существенно упрощает использование алгоритмов для решения задач краткосрочной оптимизации.

Литература:

1. Макконнелл К.Р., Брю С.Л. Экономикс: принципы, проблемы и политика. В 2 т.: Пер. сангл. – Москва, 1997.
2. Christos A. Cogeneration: Technologies, Optimization and Implementation. 2017.pp. 360.
3. Marc A. Rosen and DrSeamaKoohi-Fayegh. Cogeneration and District Energy Systems: Modelling, Analysis and Optimization. 2016. pp.344.
4. Синьков В. М., Богословский А. В. Оптимизация режимов энергетических систем. – Киев: Издательство “Вища школа”, 1973. – 274с.
5. Гальперин В.М. Теория потребительского поведения и спроса. – Санкт-Петербург: Издательство «экономическая школа», 1993. – 380.
6. Мошкин Б. Н., Секретарев Ю. А., Чекалина Т. В. Определение оптимальной электрической мощности станции на основе

максимизации ее доходов/ /Сборник научных трудов под ред. д-ра техн. наук, проф. А. И. Шалина, часть II, Изд-во: НГТУ, Новосибирск, 2002.

7. Chekalina T.V. Ensuring of the generating company competitiveness at the energy market due to the assignment of the optimum states of thermal stations. // Proceedings of the 7th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology (KORUS-2003) June 28 – July 6, 2003, Ulsan, Korea, pp. 62-64.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

А.В. Квиташ, Е. В. Крылова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, andreikvitash@mail.ru**

Существующее состояние электроэнергетики Казахстана характеризуется высокой концентрацией энергопроизводящих мощностей — до 4000 МВт на одной электростанции, расположением крупных электростанций преимущественно вблизи топливных месторождений, высокой долей комбинированного способа производства электроэнергии и теплоты для производственных и коммунальных нужд, системой релейной защиты и противоаварийной автоматики, обеспечивающей устойчивость Единой энергетической системы в аварийных и послеаварийных ситуациях. При этом изношенность основных фондов региональных электросетевых компаний (РЭК) и электростанций достигла критического предела, что уже в ближайшие годы может привести к самым серьезным негативным последствиям. Для предотвращения невосполнимого износа и выбытия основного оборудования электростанций, электрических сетей необходимо создать реальный механизм их восстановления.

The current state of the electric power industry in Kazakhstan is characterized by a high concentration of energy generating capacities - up to 4000 MW at one power plant, the location of large power plants mainly near fuel deposits, a high share of the combined method of electricity and heat production for industrial and municipal needs, a relay protection system and emergency control systems that ensure the stability of the Unified Energy systems in emergency and post-emergency situations. At the same time, the depreciation of the fixed assets of regional power grid companies (REC) and power plants has reached a critical limit, which in the coming years may lead to the most serious negative consequences. To prevent irreparable wear and tear and retirement of the main equipment of power plants, electric networks, it is necessary to create a real mechanism for their restoration.

Республика Казахстан – это государство, обладающее большими разведанными запасами нефти, природного газа, угля, урана, а значит

имеет большой потенциал развития традиционной энергетики. Еще в 80-х годах 20 века при последовательном переходе энергетических сетей к более высоким ступеням напряжения для усиления межгосударственных связей здесь сконструирована ВЛ 1150 кВ «Экибастуз-Урал», также начат проект ВЛ 1500кВ постоянного тока «Экибастуз-Центр», но был не закончен. [1]

После распада СССР в 1991 году в странах СНГ в той или иной мере произошли структурные изменения в экономике, которые в свою очередь предопределили функционирование и развитие всей энергетики. В 90-е годы были введены дополнительные мощности, и к началу нового тысячелетия государственный энергетический потенциал оценивался в 95 млрд кВт/ч. [2]

К 2018 году бизнес оправился после прошедшего экономического кризиса, и основные потребители в лице промышленных предприятий начали набирать обороты, в итоге, потребление составило 103,2 млрд кВт/ч. В связи с вводом дополнительных мощностей в период с 2000 по 2016 годы, общее производство составило 106, 8 млрд кВт/ч. [3] Можно было бы сделать вывод, что электроэнергии в настоящий момент хватает с запасом, но есть факты, образующие серьезные проблемы, которые ожидают население государства в ближайшем будущем, игнорирование которых может привести к непоправимому ущербу экономики государства.

Проблема 1: по экономико-географическим признакам территорию Казахстана делят на пять экономических регионов, индустриализация которых происходила в советский период. В централизованной экономике бывшего СССР развитие производства и инфраструктуры осуществлялось в рамках территориально-промышленных комплексов, которые формировались с учетом союзных потребностей. В результате Казахстан получил три достаточно автономных экономических пространства: Западный регион, Северный и Центральный регион, Южный регион. [2]

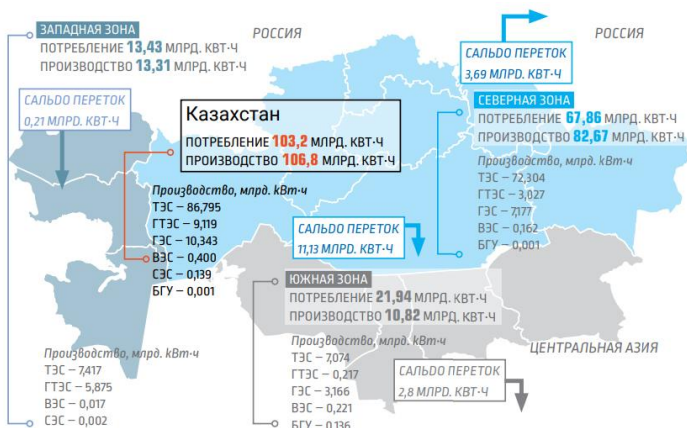


Рисунок 1 – Расположение экономических зон Казахстана, данные по их выработке электроэнергии, направление сальдо перетоков мощности на 2018 год. [3]

Если в Северном регионе электроэнергия производится с избытком и экспортируется в Россию, то в Западном Казахстане её генерируется недостаточно, и областям приходится импортировать из России. Третий Южный регион, также, как и Западный не получает необходимую мощность и импортирует её, но уже из Кыргызстана и Узбекистана. И в итоге выходит, что с одной стороны страна экспортирует электроэнергию, а с другой импортирует. Полное объединение регионов в единую энергосистему, займет время, да и цены на электроэнергию в результате этой операции могут возрасти.

Проблема 2: дешевая электроэнергия заканчивается, и вопрос об альтернативных способах получения электроэнергии стоит перед правительством уже сейчас. Главным источником энергии в Северном Казахстане, производящим экспортную электроэнергию, является Экибастузское угольное месторождение, обеспечивающее регионы дешевым углем. Но уголь и газ исчерпаемы, а, следовательно, когда-нибудь закончатся.

Проблемы электроэнергетики обсуждались на разных уровнях и не раз. Меры, предпринятые правительством (строительство Балхашская ТЭС, Мойнакская ГЭС, новый блок Экибастузской ГРЭС-2 и т.д.) позволяют ненадолго отложить решение данных проблем.

Проблема 3: одна из самых главных проблем электроэнергетики в Казахстане – это износ оборудования. Электрогенерация с момента обретения независимости и по сегодняшний день не претерпела

кардинальных изменения, несмотря на стабильный прирост спроса промышленного сектора экономики. Основу отрасли получения электроэнергии по-прежнему составляет оборудование, введенной в эксплуатацию в 60-80е годы прошлого века.

Около 60% составляет средний износ электрических сетей в Казахстане. Об этом сообщили в министерстве энергетики. В нескольких регионах уровень износа электросетей превышает 70%.

По данным ведомства, самая тяжелая ситуация наблюдается в Восточно-Казахстанской области – 81% изношенности, в Западно-Казахстанской – 80%, а также в Костанайской области – 74%. [4]

Естественно, решением проблемы износа оборудования является привлечение значительных инвестиций в развитие генерирующих мощностей.

На рисунке 2 можно увидеть тенденцию к снижению государственных инвестиций, основным фактором которой является нехватка ресурсов государственного бюджета из-за растрат на различные нужды в других сферах деятельности, в том числе в значительной степени повлияла эпидемиологическая ситуация в стране в связи с распространением коронавирусной инфекции.

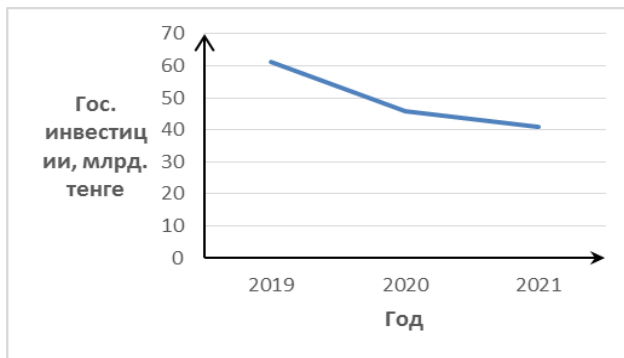


Рис.2 – Государственные инвестиции средств в развитие генерации электроэнергии.

Выходит, что государственный бюджет не может удовлетворить затраты на модернизацию, ремонт и обновление оборудования энергосистемы страны, причем параллельно с этим активно субсидирует физических и отдельных юридических лиц за счет прибыли самих компаний. Несмотря на то, что 30% всей вырабатываемой мощности составляют государственные компании правительство не торопится вкладываться в них, а значит стоит

привлекать частных инвесторов, в том числе иностранных. Как известно, инвесторам необходима прозрачность финансирования, но вот государственные компании этим не отличались. [5]

По итогу, логичным решением будет перенять опыт многих стран, принявших решение о реформе электроэнергетической отрасли еще в последней четверти 20 века, основной целью которой был переход от регулируемой модели к рыночной. Как показывает опыт этих стран, данная модель оказалась более эффективной, так как формирование цены на электроэнергию формировалась только за счет баланса спроса и предложения на рынке. Также неотъемлемой частью данной реформы будет являться приватизация основных государственных компаний. Такая модель привлечет большой поток инвестиций, что в конечном итоге поможет вывести энергетическую отрасль страны из ситуации, ведущей к неминуемой гибели отрасли.

Литература:

1. Баринов В.А., доктор техн. наук, ЭНИН им. Г. М. Кржижановского «Из истории развития энергетики СССР» // [Электронный ресурс] //Режим доступа: <https://leg.co.ua>.

2. Марияж Жакупова, директор коммерческого департамента ЗАО "Казахстанский оператор рынка электрической энергии и мощности" «Опыт реформирования электроэнергетики Казахстана»

3. <http://ar2018.samruk-energy.kz/ru/015.html> «Модель рынка электроэнергии и мощности Казахстана»

4. Отраслевой ресурс Eenergy.Media// [Электронный ресурс] //Режим доступа: <https://eenergy.media/>

5. Мурат Темирханов FCCA, Как остановить надвигающуюся катастрофу в электроэнергетике// [Электронный ресурс] //Режим доступа: <https://forbes.kz/>

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ТЕПЛОВЫХ СТАНЦИЙ

А.С. Ключагина, Г.Н. Дюбанов

**Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, klyuchagina9998@gmail.com**

Актуальность данной темы обусловлена тем, что утилизация золошлаковых отходов (ЗШО) ТЭС актуальна и занимает одно из главных мест среди перспективных проблем во многих странах мира. В данной статье приведены способы утилизации золошлаковых отходов в г. Новосибирске. Тема очень актуальна на данный момент, так как в результате деятельности ТЭС

в Новосибирске образуется большое количество ЗШО, которые занимают огромные площади, а их содержание требует больших затрат. Изучение данной темы позволит рассмотреть основные способы переработки отходов тепловых станций и покажет почему все-таки нужно утилизировать золошлаковые отходы.

The relevance of this topic is due to the fact that the disposal of ash and slag waste (ASW) from thermal power plants is relevant and occupies one of the main places among promising problems in many countries of the world. This article shows how to dispose of ash and slag waste in Novosibirsk. The topic is very relevant at the moment, since as a result of the activities of TPP in Novosibirsk, a large number of ASW are formed, which occupy huge areas, and their maintenance is expensive. The study of this topic will allow to consider the main ways of processing waste of thermal stations and will show why it is still necessary to dispose of ash and slag waste.

В процессе сжигания угля в котле образуются газообразные и твердые остатки – зола и шлаки (минеральная, несгорающая часть). Зола уноса улавливают с помощью различных устройств золоочистки дымовых газов, а золошлаковые отходы, которые составляют до 90% всех отходов, с помощью насосов и трубопроводов перекачивают на золошлакоотвалы.

Но опасны не зола и шлаки сами по себе, а их скопление в огромных количествах в одном месте - золошлакоотвалах. Золоотвалы – источник опасности для здоровья населения, растительного и животного мира.

Существует несколько основных направлений переработки ЗШО:

- строительные материалы (цемент, кирпич, блоки);
- дорожное строительство (наполнители для дорожного полотна);
- производство различных наполнителей и др.

Проблемой промышленных отходов от сжигания угля основательно занялись в развитых и странах только в 90-х годах.

В России под ЗШО ТЭС отчуждено около 20 тыс. км² земельных участков, на которых хранится 1,3 - 1,5 млрд. тонн отходов сжигания угля. Вместе с этим ежегодно электростанции производят до 30 млн. тонн отходов.

Для Сибири тема переработки золошлаковых материалов, металлургических отходов, особенно актуальна, так как практически вся энергетика здесь держится на угле. Также в Сибири расположен крупнейший угольный бассейн страны - Кузбасс. Попытки запуска проектов утилизации и переработки ЗШО появляются регулярно, но пока ни один проект нельзя назвать экономически успешным.

За сутки работы ТЭЦ мощностью 1 млн. киловатт сжигает 10 000 тонн угля или примерно 140 вагонов (усредненные цифры), на выходе получается 1 000 тонн шлака и золы (зольность 10%). Для захоронения

такого количества отходов необходимо порядка 1 га площадей, если высота отвала не более 8 метров.

В Новосибирске имеются полигоны ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3. По генеральному плану под золоотвал ТЭЦ-2 выделено 95 га или почти 1 км². Сегодня он переполнен, а расширяться практически некуда.

В начале 2014 года СМИ объявили о запуске завода по переработке золошлаковых отходов в Новосибирске. Сегодня данный завод пропал из поля зрения общественности, можно списать заморозку проекта на кризис.

В производстве каких материалов всё-таки можно использовать золошлаковые отходы в г. Новосибирске? Во-первых, ЗШО наиболее целесообразно использовать в изготовлении цементобетонных покрытий.

Технология укрепления грунтов позволяет отказаться от большей части традиционных земляных работ и применения огромного количества привозных материалов для устройства слоя основания. Любые местные грунты или отходы промышленного производства могут быть использованы в качестве строительного материала.

Сокращается общая толщина конструкции дороги. Слой основания, в зависимости от категории дороги уменьшается до 15 – 40 см. Снижается расход используемого асфальтобетона для устройства покрытия. Сокращаются расходы на строительство новых и восстановление старых дорог от 20% до 70%. Сравнительная характеристика асфальтобетона и цементобетонного покрытия представлена в Таблице 1.

Таблица 1 – Преимущество цементобетонного покрытия перед асфальтобетоном

	Асфальтобетон	Цементобетонные покрытия
Текущий ремонт, год	Через 3 - 4	Через 10 - 12
Себестоимость, руб	~ 2 000 000	~ 1 200 000
Срок эксплуатации без капитального ремонта, год	Не более 8	Более 40
Трещины, выбоины, ямы	В бетонном покрытии их значительно меньше, что идет к снижению аварийности, расходу топлива автотранспорта	
Светоотражение	-	Видимость в ночное время намного лучше

Где же еще можно применить ЗШО? Ведь нельзя отправлять все отходы непосредственно только на дорожное покрытие. Из золы можно

делать зольный кирпич. По сравнению с керамическим и силикатным кирпичом, у него ниже теплопроводность и себестоимость. Сравнительная характеристика зольного кирпича и силикатного и керамического кирпича представлена в Таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика зольного кирпича с силикатными и керамическими кирпичами

	Кирпич зольный полнотелый	Кирпич зольный с пустотами, 25%	Кирпич силикатный с пустотами, 25%	Кирпич керамический с пустотами, 25%
Средняя плотность, кг/м ³	1 240	1 100	1 600	1 400
Вес 1 м ³ , кг	1 231	1 026	1 642	1 385
Теплопроводность, Вт/м*°С	0,24	0,15	0,6	0,46
Количество золы, %, не менее	85	80	-	-

Есть еще одно направление использования отходов – изготовление аглопорита. Аглопорит — искусственный пористый наполнитель, получаемый спеканием при обжиге подготовленных гранул песчано-глинистых пород, а также отходов от добычи, переработки и сжигания ископаемого твердого топлива (зола ТЭС).

Аглопорит можно применять как наполнитель в конструкционных легких бетонах, в дорожном строительстве. В сравнении с широко используемым керамзитом, он прочнее и дешевле, его можно делать в виде гранул разных форм и размеров.

Все, что нужно для организации производства аглопорита, — наличие ЗШО ТЭС и глины, которой в Новосибирске имеется в достаточном количестве.

Где же можно использовать аглопорит? Тяжелый бетон в строительстве зданий и других сооружений можно заменить на легкий. Тяжелые бетоны заменяют на легкие с применением пористых искусственных наполнителей, то есть аглопорита. Снижается теплоотдача зданий, повышается их уровень теплозащиты, паропроницаемости, а эти факторы очень полезны для Новосибирска.

Для запуска проекта по утилизации отходов, очевидно, нужны средства. Затраты достаточно высоки: нужно построить завод, выстроить логистику, запустить переработку в больших объемах.

Также, для реализации проекта нужна государственная поддержка, а именно организация или предоставление субсидий, грантов и др.

Дорожное покрытие в Новосибирске оставляет желать лучшего. Поэтому гораздо выгоднее начать как можно быстрее менять традиционное асфальтовое покрытие на цементобетонное, ведь это не только экономически выгодно, но и позволит еще очень долго не проводить капитальный ремонт дорог.

Зольный кирпич – ещё одно прекрасное решение для строительства в Новосибирске. Такой кирпич требует минимум затрат из бюджета и имеет прочность намного больше обычного кирпича.

И наконец, золоотвалы ТЭЦ-2 И ТЭЦ-3 в Новосибирске могут быть полностью опустошены, если мы направим все золы и шлаки сразу же в переработку. Не нужно будет думать о загрязнении воздуха и окружающей среды, ведь отходы будут идти только во благо городу.

Литература:

1. Путилин Е.И., Цветков В.С.. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог [Электронный курс] // ТехЛит.ру: электрон. науч.-техн. журн. – 2003. – URL: http://www.tehlit.ru/1lib_norma_doc/45/45754/index.htm. (дата обращения - 01.11.2020).
2. Золошлаковые отходы. Часть 1: На пороге экологического коллапса [Электронный курс] // ИХТЦ: электрон. науч.-техн. журн. – URL: <https://ect-center.com/blog/zoloshlakovie-othody> (дата обращения - 5.11.2020).
3. Золошлаковые отходы. Часть 2: Экономическая выгода переработки [Электронный курс] // ИХТЦ: электрон. науч.-техн. журн. – URL: <https://ect-center.com/blog/zoloshlakovie-othody-2> (дата обращения - 5.11.2020).

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭНЕРГЕТИКЕ

В.А. Кузмин, Е.Н.Троянова

**Новосибирский государственный педагогический университет,
г. Новосибирск, coolherringbone@gmail.com, elena9671@mail.ru**

В статье проведен обзор современных направлений применения искусственного интеллекта в энергетике, определены основные задачи применения. Рассмотрены практики зарубежных и российских компаний в этой сфере. Проведен анализ эффективности внедрения технологий искусственного интеллекта. Определены основные перспективные векторы развития разработок применения искусственного интеллекта в энергетической отрасли.

The article provides an overview of modern trends in the use of artificial intelligence in the energy sector, identifies the main objectives of the application. The practices of foreign and Russian companies in this area are considered. The analysis of the effectiveness of the introduction of artificial intelligence technologies is carried out. The main promising vectors for the development of developments in the use of artificial intelligence in the energy industry are determined

В современных экономических условиях искусственный интеллект (artificialintelligence, AI) все чаще упоминается в контексте технологической трансформации, происходящей в настоящее время. По мнению специалистов в области IT-технологий, использование алгоритмов искусственного интеллекта затронет все основополагающие сферы экономики.

В связи с этим интересным представляется его влияние на сектор энергетики и сопряженные с ним отрасли. Анализ имеющейся в открытом доступе информации показывает, что основные направления применения искусственного интеллекта в энергетике в настоящее время можно объединить в три основные группы: анализ и прогнозирования, повышения энергоэффективности, интеллектуализации [2].

Задачами искусственного интеллекта в области анализа и прогнозирования, направлены на прогнозирование выработки и потребление энергии, оптимизацию работы оборудования.

Примеров использования алгоритмов искусственного интеллекта в задачах прогнозирования достаточно уже сегодня. Зависимость выработки возобновляемых источников энергии от погодных условий существенно повысила необходимость точного прогнозирования.

В американском штате Колорадо энергетический провайдер Xcel применяет алгоритмы искусственного интеллекта для обработки

информации, получаемой от Национального центра атмосферных исследований (включая данные спутниковых наблюдений в зонах расположения ветропарков). Это позволяет компании формировать детальные отчеты и оптимизировать работу ветростанций.

Компания IBM совместно с Министерством энергетики США (US Department of Energy) реализовывает инициативу SunShot, в рамках которой самообучаемая программа позволяет достоверно прогнозировать выработку возобновляемых источников (солнечных, ветряных и гидроэлектростанций). Алгоритм использует большое количество ретроспективных данных наряду с информацией о погодном мониторинге в режиме реального времени.

По оценкам аналитиков, масштабное использование алгоритмов искусственного интеллекта для улучшения режимов работы ветропарков США теоретически позволило бы увеличить их выработку в 2019 г. на 12 млрд кВт·ч и повысить долю ветроэнергетики в общем балансе (6,3 % по итогам прошлого года).

Испанская компания Nenergix формирует кратко- и среднесрочные прогнозы (от 6 часов до 10 суток) выработки возобновляемых источников с использованием алгоритмов машинного обучения.

Применение искусственного интеллекта для решения задач повышения энергоэффективности направленно на мониторинг данных о фактическом энергопотреблении [1].

Практическим примером применения искусственного интеллекта для повышения энергоэффективности является разработка программного обеспечения для оптимизации энергопотребления коммерческих зданий, помещения которых оснащены сенсорами американской компании Verdigris Technologies. Применение данной программы для оптимизации работы кухни отеля W Hotel San Francisco в течение трех месяцев позволило выявить причины и исключить неэффективный расход энергии в размере 13 тыс. долл. (в годовом выражении).

Другим, аналогичным примером, является применение искусственного интеллекта компанией Deep Mind Technologies Ltd. Она была основана в Лондоне в 2010 г., в 2014 г произошло слияние с интернет-гигантом Google. Опыт применения искусственного интеллекта компанией Deep Mind Technologies Ltd был использован Google, что позволило сократить энергопотребление центра обработки данных на 40 %. Параметры работы центра, оснащенного тысячами сенсоров, были оптимизированы обучаемой нейронной сетью.

Широкое применение технологии искусственного интеллекта получают и в решении задач интеллектуализации бизнес процессов

энергетической отрасли. Основным направлением применения является обработка результатов мониторинга состояния энергетических объектов.

Приведем несколько примеров в части решения практических задач в сфере интеллектуализации. Предприятие PowerScout получило два гранта от Министерства энергетики США (US Department of Energy) на развитие программ снижения затрат сетевых компаний и потребителей (smarthome) с учетом интеграции возобновляемых источников. Программы также используют алгоритмы искусственного интеллекта.

Лондонская компания Green Running Ltd. развивает основанное на машинном обучении приложение Verv, предназначенное для оптимизации энергопотребления домов. Приложение работает на компьютерах, планшетах и смартфонах.

Об интересном применении методов искусственного интеллекта сообщила немецкая компания Schleswig-HolsteinNetz AG, эксплуатирующая электрические сети в федеральной земле Шлезвиг-Гольштейн. Здесь самообучаемая сеть используется для определения мест предполагаемых повреждений. В качестве исходных данных используются сведения о сроке эксплуатации компонентов электрических сетей и проведенных ремонтах, а также информация о нагрузках и погодных условиях.

Американская компания AirFusion, использующая беспилотные летательные аппараты для обследования состояния высоковольтных линий электропередачи и ветроэнергетических установок, применяет программное обеспечение с алгоритмами искусственного интеллекта для обработки результатов мониторинга. Нейронная сеть помогает качественнее решать задачу распознавания образов, для чего в процессе обучения в программу загружаются тысячи изображений поврежденных ветроустановок (в том числе последствия от ударов молний, расслаивание, эрозия покрытия и пр.).

В России технологии искусственного интеллекта получили широкое применение на электростанциях или каскад ГЭС, где работают. Основная задача, которая решается с их применением, это оптимальное распределение нагрузки между агрегатами с различными сроками выпуска и техническими характеристиками так, чтобы добиться максимального значения одного из значимых критериев – выработки электрической энергии, выручки, использования ресурса агрегата и других. Зная характеристики каждого агрегата и ряд внешних и внутренних параметров, влияющих на работу станции, можно заставить интеллектуальную систему найти оптимальный баланс

работы всех агрегатов, будь то огромная ГЭС, такая, как, например, Братская, где установлены 22 агрегата, или каскады электростанций, разнесенные на десятки километров.

В настоящее время внедрена инновационная система мониторинга основного оборудования на Красноярской ГЭС, являющаяся второй по мощности гидроэлектростанция в стране. Эта система включает в себя в первую очередь, информационную безопасность, оптимизация рабочих характеристик электростанций и эксплуатации парка установок, а так же автоматическую диагностику турбины.

По результатам внедрения технологий искусственного интеллекта срок эксплуатации электростанций был повышен на 30 %, затраты на обслуживание снижены на 13 %. Снижение негативного влияния на окружающую среду составило около 34 %, снижение аварийной ситуации – 80 %, снижение вмешательства оператора в работу системы – около 80 %.

Одно из самых перспективных масштабных решений – организация центра управления парком установленного оборудования. Это многоуровневая модель. На первом уровне – электростанции, которые могут использовать разноплановые источники, начиная от газотурбинных установок и заканчивая возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Несмотря на разноплановость источников, в процессе используются одинаковые инструменты для генерации, трансформации электроэнергии. В связи с этим появляется возможность использовать эффекты синергии между ними, собирать параметры и обрабатывать самые обширные массивы данных. Из статистики известно, что чем больше данных, тем точнее работает модель. В настоящее время разрабатываются системы, которые позволяют на следующем уровне диагностировать работу оборудования, а значит, избегать аварийных выходов систем из строя. Системы выполняют диагностику процессных показателей, и предлагает варианты для оптимизации режимов работы с учетом приоритетов конечного потребителя. На этом уровне прорабатываются особенности потребления в зависимости от времени суток, погодных условий, что немаловажно для ВИЭ, и нагрузок в сети. Эти решения позволяют не только сэкономить реальные деньги, но и понять и тем самым дать возможность усовершенствовать комплексные энергетические системы.

Не приходится сомневаться, что в ближайшие годы количество подобных примеров существенно возрастет и технологии искусственного интеллекта станут доступны всем.

Литература:

1. Гришина Е.А. Методический подход к управлению затратами промышленного предприятия в условиях неопределенности // Экономика и предпринимательство, 2016. - № 3 /2. - С. 685-689
2. Троянова Е.Н. Проблемы управления энергопотреблением на промышленных предприятиях / О. Д. Евдокимова, Е. Н. Троянова // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр.: в 9 ч., Новосибирск, 3–7 дек. 2018 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – Ч. 4. – С. 344–347. - 100 экз. - ISBN 978-5-7782-3737-7.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УПРАВЛЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИМИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

**Е.Н. Троянова, Л. Д. Кутафин
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, elena9671@mail.ru, lenik01@mail.ru**

В статье рассмотрены основные современные проблемы применения искусственного интеллекта в управление логистическими бизнес-процессами предприятия. Сформулированы его ключевые задачи и определены перспективные направления использования для повышения эффективности функционирования процессов системы логистики в производстве в условиях цифровизации экономики.

The article deals with the main modern problems of using artificial intelligence in the management of logistics business processes of an enterprise. Its key tasks are formulated and promising areas of use are identified for improving the efficiency of the logistics system processes in production in the conditions of digitalization of the economy.

В современных экономических условиях применение искусственного интеллекта в управлении логистикой в целом, цепочками поставок в частности значительно возросло во всем мировом экономическом пространстве. Это прежде всего связано с высоким спросом на прозрачность и отслеживаемость данных, а также необходимости повышения качества обслуживания о клиентов. Статистика показала, что ведущие отрасли с точки зрения принятия искусственного интеллекта (по данным на начало 2020 года) составляют - телекоммуникации(26%), высокие технологии (23%), здравоохранение (21%), профессиональные услуги (19%), а также путешествия, транспорт и логистика (18%).

Эксперты по закупкам полагают, что недавние сбои в цепочке поставок, вызванные пандемией COVID-19, как никогда определяют высокую значимость интеграции искусственного интеллекта в цепочку поставок для оптимизации работы. Чтобы избежать критического сбоя в цепочке поставок, организации необходимо:

- иметь полную картину всей экосистемы; точно прогнозировать спрос и предложение;
- оптимально планировать логистические процессы, среди прочих бизнес-процессов.

Основными ключевыми задачами искусственного интеллекта для оптимизации логистических процессов в настоящий момент времени являются:

1. Улучшение сквозной видимости и времени отклика.

С помощью решений искусственного интеллекта можно собирать и анализировать в реальном времени и исторические данные от нескольких подключенных устройств и систем, чтобы получить более широкую и глубокую информацию о работе, которая специалистам для принятия управленческих решений. Эти решения, способствуют получению оперативной информации о состоянии цепочки поставок, выявить проблемы как внутри организации, например, из-за сбоев, или за ее пределами, например, задержка поставок, так и во внешней среде, и принимать меры для минимизации воздействия их на цепочку поставок. Снижение оперативности реагирования отрицательно сказывается на эффективности организации и осуществления логистического процесса и, как результат, на финансовом результате.

2. Точность прогнозирования.

Решения искусственного интеллекта позволяют организациям собирать информацию от нескольких разных подрядчиков, клиентов и собственных функций (включая поставщиков, клиентов, товарные запасы и продукцию) в режиме реального времени и использовать ее для точных прогнозов. Традиционно прогнозирование не включает детали в режиме реального времени и основывается исключительно на исторических данных. Однако с использованием искусственного интеллекта точность прогнозирования значительно повысилась, что позволяет руководителям за счет оптимальности планирования, повышать эффективность логистических процессов. Кроме того, использование искусственного интеллекта для автоматизации принятия решений на более низком уровне менеджмента позволяет высвободить пропускную способность для специалистов-логистов, чтобы сосредоточиться на разработке стратегий и принятии решений на высоком уровне.

3. Эффективное планирование цепочки поставок и производства.

Автоматизация бизнес-процессов логистики на пример На платформе Atlassian, помогают анализировать огромные наборы данных в режиме реального времени, уравнивать разрывы спроса и предложения, эффективно планировать производство, эффективно планировать производственную деятельность и разрабатывать безошибочные планы и стратегии логистических процессов. Использование алгоритмов искусственного интеллекта способствует правильной оценке потребностей рынка и соответственно эффективному управлению производством, чтобы избежать перепроизводства или дефицита готовой продукции [3].

4. Формирование системы поставщиков.

Решения искусственного интеллекта могут применяться для анализа различных наборов данных (таких как эффективность доставки, аудиты, оценки и кредитные баллы) и получения индивидуальных рекомендаций по управлению взаимоотношениями с поставщиками. Актуальная и регулярная информация о потенциальных или существующих поставщиках может быть использована для построения взаимовыгодных отношений.

5. Оптимизация логистического маршрута.

Решения искусственного интеллекта позволяют менеджерам-логистам анализировать существующие маршруты, выявлять узкие места и сосредотачиваться на наилучшем маршруте; это уменьшает трудоемкость, так и общую стоимость складирования и доставки. Инструменты обработки данных на основе искусственного интеллекта помогают фиксировать детали, связанные с перемещением товаров в реальном времени, и правильно оценивать время доставки [2].

6. Управление складом

При использовании решений искусственного интеллекта количество объемов запасов, можно регулировать. Также На платформе Atlassian выполняется анализ больших баз данных с огромной скоростью и параллельно устраняются ошибки, которые могут появиться, при анализе вручную. Автоматизация повседневных задач, таких как управление автопогрузчиками, сортировка и управление запасами, с использованием беспилотных летательных аппаратов или автономных наземных транспортных средств, оптимизирует повышает эффективность управления складом.

Несмотря на преимущества интеграции искусственного интеллекта, некоторые организации не могут реализовать его из-за следующих проблем:

- Ограниченная доступность высококачественных, согласованных и обновляемых (в режиме реального времени) данных
- Наличие данных о цепочке поставок в разных отделах (например, отдел маркетинга, отдел инвентаризации, менеджер по закупкам и другие имеют собственные базы данных)
- Ограниченная интеграция между системами и базами данных для доступа, очистки и анализа данных.
- Ограниченные политики управления данными, связанные с расширенной цепочкой поставок [1].

Одним из перспективных направлений применения искусственного интеллекта это проникновение глубже в производство. Концептуально сильные алгоритмы, а также инновации в области больших баз данных не только увеличат вычислительную мощность, но и помогут преодолеть проблемы, связанные с интеграцией данных, способствуя расширению применения искусственного интеллекта в логистических бизнес-процессах предприятий.

Литература:

1. Бродецкий, Г. Л. Управление рисками в логистике / Г.Л. Бродецкий, Д.А. Гусев, Е.А. Елин. - М.: Академия, 2020. - 192 с.
2. Троянова Е.Н. Глобальные цепочки поставок как фактор повышения конкурентоспособности / А. А. Каторгин, Е. Н. Троянова // Инновационные технологии в современных научных исследованиях: экономические, социальные, философские, политические, правовые, общенаучные тенденции: материалы междунар. науч.-практ. конф., Новосибирск, 28 марта 2017 г. В 2 ч. - Саратов: Акад. упр., 2017. – С. 165 - 169.
3. Щербаков, В. В. Автоматизация бизнес-процессов в логистике / В.В. Щербаков, А.В. Мерзляк, Е.О. Коскур-Оглы. - М.: Питер, 2019. - 464 с.

ПЕРЕХОД ТЭЦ НА СЖИГАНИЕ НЕПРОЕКТНЫХ УГЛЕЙ

Я.А. Мянд, Е.А. Гришина

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nstuenergy@mail.ru**

Ранее все ТЭЦ проектировались на сжигание углей конкретных месторождений. В конкурентных условиях угольного рынка технологические и экономические критерии взаимозаменяемости углей весьма актуальны. В

данной статье рассматриваются альтернативные решения по переходу на непроектное топливо и анализируется опыт ТЭЦ города Новосибирска.

Previously, all thermal power plants were designed to burn coal from specific deposits. In the competitive conditions of the coal supply market, technological and economic criteria for coal interchangeability are very relevant. This article discusses alternative decisions for switching to non-project fuel and analyzes the experience of thermal power plant in Novosibirsk.

Оборудование ТЭЦ проектировалось на сжигание марок угля с конкретными качественными характеристиками (теплота сгорания, влажность, зольность, химический состав золы, содержание серы и азота и т.д.).

По показателям теплоты сгорания, зольности и влажности все угли разделены на каменные, бурые и антрациты.

Каменный уголь отличается от бурого более высоким содержанием углерода и большей плотностью. Самая низкая теплота сгорания у бурых углей. Наиболее выгодное соотношение цены и удельной теплоты сгорания имеют каменные угли.

Реальная ситуация с топливообеспечением электростанций зачастую заставляет использовать в технологических процессах непроектные марки углей (или их смеси) [1, с. 9].

Непроектным для ТЭЦ является только то топливо, характеристики которого не учтены в технологии сжигания и конструкции оборудования, реализующего эту технологию.

Под таким топливом подразумеваются угли, марки и месторождения которых отличаются от проектных, или низкосортные угли той же марки и того же месторождения с качественными характеристиками, не соответствующими проектным показателям.

Использовать на ТЭЦ топливо, которое не было предусмотрено проектом, можно только при обязательном опытном сжигании нового топлива. Ведь работа на непроектном угле может привести к поломке оборудования.

По результатам такого сжигания делается вывод о принципиальной возможности использования данного топлива. В случае перехода на непроектное топливо возможны несколько альтернативных решений.

1. Переход на рассматриваемую марку угля невозможен на установленном оборудовании без значительной потери мощности или без реконструкции или замены оборудования.

2. Переход на новое топливо возможен после реконструкции котельного и вспомогательного оборудования.

3. При переходе на новое топливо с меньшей теплотой сгорания или большей влажностью может снизиться располагаемая мощность из-за

недостаточной производительности топливоподачи, пылеприготовления. В этом случае возможен переход на углесмесительные комплексы, то есть смеси нового топлива с проектным.

4. Если характеристики проектного и заменяющего топлива достаточно близки, то переход на непроектное топливо возможен без дополнительной реконструкции.

В случае принятия решения о переходе на непроектное топливо, необходимо оценить экономическую эффективность. Ее можно определить по минимуму суммы затрат (3):

$$Z = B_p \cdot C_m + Y \rightarrow \min$$

где B_p – годовой расход топлива;

C_m - средняя цена топлива;

Y - ущерб от загрязнений атмосферы и складирования золошлаковых отходов [2].

В 2018 году в Новосибирске ТЭЦ-5 перешла с каменного угля на новый вид топлива — бурый уголь, который является более дешевым.

Поставщиком бурого угля на ТЭЦ Новосибирска является Канско-Ачинский разрез «Бородинский» компании СУЭК.

В отличие от кузнецких углей, бурый бородинский уголь имеет небольшую зольность (в среднем 7%). Однако, он обладает повышенной влажностью, что приводит к ухудшению сыпучих свойств угля, а в зимнее время может привести к смерзаемости угля.

Наличие CaO способствуют меньшей концентрации выбросов золы и окислов серы (SO₂). Меньшее содержание в топливе азота обеспечивает более низкие выбросы окислов азота (NO_x).

В результате, за 2018–2019 годы ТЭЦ сократила выбросы в полтора раза [3].

Поскольку ТЭЦ-5 имеет современное и практически универсальное техническое оснащение, ее удалось перевести на бурый уголь [4].

Также в дальнейшем планируется отказаться от использования мазута при розжиге котлов. Для этого можно внедрить электрохимическую технологию розжига. При электрохимической технологии физико-химический процесс горения запускает не мазут, а высокочастотный электрический ток. По предварительным расчётам, это также сократит годовой объём выбросов ТЭЦ из-за отказа от мазута.

Вывод. При принятии решения о переходе на непроектное топливо необходимо проанализировать его качественные характеристики, провести обязательное опытное сжигание, чтобы

исключить поломку оборудования, ухудшение экологии и снижение эффективности производства энергии.

Литература:

1. Гришина Е.А., Путилова Н.Н. Управление затратами на энергетическом предприятии. Ч. 3: Учебное пособие/ Е.А. Гришина, Н.Н. Путилова. - Изд-во НГТУ, 2009. – 48 с.

2. Семенов С.А., Куриганов Д.Ю. Исследование влияния состава углей на эффективность работы паровых котлов с применением математических моделей // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. №1-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-sostava-ugley-na-effektivnost-raboty-parovyh-kotlov-s-primeneniem-matematicheskikh-modeley> (дата обращения: 06.11.2020).

3. За 10 лет новосибирские ТЭЦ снизили выбросы на 25%// [Электронный ресурс] Официальный сайт СГК //Режим доступа:<https://sibgenco.online/news/element/za-10-let-novosibirskie-tets-snizili-vybrosy-na-25/>

4. Уголь и газ: на ТЭЦ-5 ответили на вопросы жителей%// [Электронный ресурс] Официальный сайт СГК //Режим доступа: <https://sibgenco.online/news/element/the-eternal-contradiction-gas-and-chp-coal-and-the-environment/>

ПРОБЛЕМЫ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ФИНАНСИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА

С.С. Надь, Е.Н. Троянова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nad.lana178@mail.ru, elena9671@mail.ru**

В статье рассмотрены дополнительные источники финансирования развития Малого и среднего производственного предпринимательства в рамках Национального проекта «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы». Проведен обзор и выявлены проблемы практической реализации разработанных государственных мер по реализации целей и задач национального проекта.

The article considers additional sources of financing for the development of Small and medium-sized industrial enterprises in the framework of the National project "Small and medium-sized enterprises and support for individual entrepreneurship".

В целях развития производственного предпринимательства, как приоритетного сектора экономики Правительством РФ был разработан и утвержден Национальный проект «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы»

Мероприятия национального проекта включают в себя:

- Совершенствование законодательства Российской Федерации (в том числе новый налоговый режим для самозанятых), трансформация делового климата, которая снимет существующие барьеры нормативного характера при ведении бизнеса.

- Развитие в субъектах Российской Федерации микрофинансовых организаций, обеспечивающих доступ к заемным средствам на льготных условиях.

- Развитие в субъектах Российской Федерации региональных гарантийных организаций, позволяющих привлечь кредитные ресурсы, обеспеченные поручительствами и гарантиями.

- Консультационную, образовательную, имущественную поддержку предпринимателей через единые точки входа, такие как центры «Мой бизнес», развитие системы поддержки экспортно ориентированных субъектов МСП, развитие системы франчайзинга.

- Развитие субъектов МСП в целях их ускоренного развития в моногородах.

- Содействие развитию малых инновационных предприятий путем предоставления грантов субъектам МСП на разработку и создание производства инновационной продукции, а также на осуществление НИОКР, в том числе в сфере спорта, городской среды, экологии, социального предпринимательства.

- Организацию цифрового экопространства путем объединения наиболее развитых сбытовых площадок, образовательных и информационных платформ посредством ЕСИА.

- Популяризацию предпринимательства, в том числе проведение федеральной информационной кампании, включающей продвижение образа предпринимателя в сети «Интернет» и социальных сетях, а также соответствующих региональных и муниципальных кампаний. [1]

Нацпроект предлагает необходимые меры по поддержке предпринимательства на всех этапах развития бизнеса – от появления идеи до выхода на экспорт: финансовые, имущественные,

образовательные и другие. Основными формами предлагаемой финансовой поддержки являются:

- Гранты на заработную плату (только для МСП)
- Отсрочка по всем налогам 6 месяцев
- Отсрочка по страховым взносам 6 месяцев
- Беспроцентный кредит на зарплату сотрудникам 6 месяцев
- Отсрочка арендных платежей
- Мораторий на взыскание долгов и штрафов
- Мораторий на банкротство (только для МСП)
- Снижение требований к обеспечению при участии в госконтрактах
- Программа льготного кредитования. [1]

Особое место в финансировании в мерах поддержки развития производственных предприятий занимает программа льготного кредитования. В частности, в рамках данной программы разработана система предоставления кредита о льготной ставке, а также возможности получения микрозайм или кредит под государственную гарантию.

Для этого создана Специальная Национальная гарантийная система (НГС). В неё входят «Корпорация МСП», «МСП Банк» и региональные гарантийные организации (РГО).

Так «Корпорация МСП» выдаёт гарантии под крупные проекты (от 100 млн рублей), а также по кредитам на сумму от 5 до 25 млн.

«МСП Банк» предоставляет гарантии по кредитам на сумму от 25 до 100 млн рублей.

Региональные гарантийные организации выдают гарантии по кредитам на сумму до 25 млн рублей (в некоторых регионах – до 100 млн рублей). По кредитам под гарантию банки предлагают пониженную процентную ставку. За гарантию придётся заплатить, но это небольшая сумма (0,5–3%).

Другой формой поддержки развития является льготный лизинг оборудования, также под государственную гарантию под специальные программы развития моногородов, технопарков, фермеров, экспортёров и ремесленников.

Преимуществами лизинга по этой программе являются:

- Льготные процентные ставки: 6% для российского оборудования, 8% для иностранного оборудования;
- Авансовый платёж составляет от 0%;
- Обеспечением является сам предмет лизинга – не придётся предоставлять залог по сделке;

- Получатель не ограничен в выборе оборудования и поставщика оборудования;
- Можно выбрать удобный график платежей, исходя из сезонности бизнеса;
- Лизинговая компания готова профинансировать расходы на транспортировку, монтаж, ввод в эксплуатацию и прочие расходы, связанные с предметом лизинга;
- Первый лизинговый платёж вносится через 30 дней после подписания акта приёма-передачи;
- Существует возможность привлечения региональных гарантийных организаций в качестве поручителя.

Право приобрести промышленное оборудование и оборудование для переработки сельскохозяйственной продукции стоимостью от 1 до 200 млн рублей со сроком лизинга до 7 лет. При этом вы можете выбрать как само оборудование, так и его поставщика.

Однако, реализация вышеуказанных мер отстает от запланированных темпов. На это оказывают влияние следующие факторы:

1. Недостаточно информации о существующих государственных программах и возможностях получения помощи и позитивных примеров предпринимательства.
2. Недоверие к государству и в положительном результате обращения за поддержкой.
3. наличие несовершенств существующих программ. [2]

И основным негативным фактором, который повлиял на реализацию программ в рамках национального проекта является Пандемия коронавируса. Она осложнила в значительной мере выполнение задач нацпроекта "Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы", однако это не повод отказываться от ее реализации.

Литература:

1. Паспорт национального проекта "Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы" (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. N 16))

2. Троянова Е.Н. Проблемы развития производственного предпринимательства в современных экономических условиях = Problems of development of industrial enterprise development in modern

economic conditions / К. А. Кембель, Е. Н. Троянова // Инновационные технологии в экономике и бизнесе: материалы 2 междунар. науч. конф., г. Кемерово, 28 – 29 окт. 2017 г. В 2 ч. – Кемерово: Кемеров. ин-т (фил.) РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2017. – Ч. 1. – С. 97-100. - 500 экз.

БИЗНЕС-АНАЛИТИКА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

А.С. Нарцызова, Л.Н. Юдина

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, yudina@corp.nstu.ru**

Рассмотрены возможности использования систем бизнес-аналитики для повышения эффективности управления предприятиями энергетики. Выделены два доминирующих в настоящее время направления в развитии бизнес-аналитики в энергетике: использование технологий Big Data и выполнение гибких аналитических запросов, позволяющих формировать необходимые отчетные документы.

The possibilities of using business intelligence systems to improve the efficiency of management of energy enterprises are considered. The two dominant directions in the development of business intelligence in the energy sector are highlighted: the use of Big Data technologies and the implementation of flexible analytical queries that allow the formation of the necessary reporting documents.

В настоящее время важнейшим направлением повышения эффективности управления предприятиями энергетики выступает более широкое внедрение цифровых технологий. Традиционно информационные технологии в энергетике в основном использовались для оптимизации функционирования энергетических систем и сетей. Этому аспекту информатизации энергетики уделялось первостепенное внимание, тогда как решения, направленные на автоматизацию непосредственно управленческой деятельности (экономика, финансы, управление персоналом), находились на периферии разработчиков информационных систем управления. Однако, необходимость повышения конкурентоспособности предприятий энергетики требует внедрения современных цифровых технологий для автоматизации решения задач управления бизнесом. В последние годы бурное развитие технологий искусственного интеллекта (artificial intelligence, AI), больших данных (Big Data) открывает перспективы резкого повышения эффективности управления бизнесом за счет разработки и внедрения

соответствующих решений в области бизнес-аналитики (Business Intelligence, BI).

Хотя в перспективе системы бизнес-аналитики, по-видимому, будут охватывать практически все значимые аспекты деятельности предприятий энергетики, однако, в настоящее время наиболее успешно внедряются системы, ориентированные на работу с Big Data, а также подготовку разнообразной аналитической информации, консолидирующей и агрегирующей огромные массивы разнородных данных, связанных с функционированием энергетических предприятий.

В качестве примера успешного внедрения подобного рода систем можно отметить внедрение корпоративного портала ОАО «ОГК-2», разработанного совместно с компанией OXS на основе технологий SAP NetWeaver Portal, предоставленных корпорацией SAP AG. Данный портал предоставляет единую точку доступа к хранилищам данных, программным решениям SAP BI. Отмечается [1, 2], что внедрение данного корпоративного портала позволило повысить конкурентоспособность ОАО «ОГК-2», обеспечило платформу для создания сервис-ориентированной структуры (service-oriented architecture, SOA) компании.

Другим примером успешного внедрения систем класса BI является разработка, выполненная «Астерос Консалтинг» для ПАО «Т Плюс» (ранее «КЭС-Холдинг. Комплексные энергетические системы»). Были использованы решения Oracle Utilities Customer Care & Billing от корпорации Oracle. В частности, при внедрении биллинговой системы была реализована возможность построения гибких аналитических запросов. При этом учитывалась специфика деятельности ПАО «Т Плюс», связанная с необходимостью использования форматов Министерства энергетики и Федеральной службы по тарифам.

Внедрение систем класса BI позволяет существенно повысить аналитические возможности систем автоматизации управления предприятием, что в конечном итоге обеспечивает большую конкурентоспособность.

Литература:

1. Аналитические системы в энергетике [Электронный ресурс] // TADVISER. – URL: <https://www.tadviser.ru/a/218749> (дата обращения: 26.10.2020)
2. Главные тенденции рынка BI в России [Электронный ресурс] // TADVISER. – URL: <https://www.tadviser.ru/a/82276> (дата обращения: 26.10.2020)

3. ОАО "ОГК-2" и OXS первыми в российской энергетике внедрили SAP NetWeaver Portal [Электронный ресурс] // Агентство экономической информации ПРАЙМ. – URL: <https://1prime.ru/INDUSTRY/20080227/759480936.html> (дата обращения: 26.10.2020)

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РОССИИ. СОЗДАНИЕ «МУСОРНОЙ» ИНФРАСТРУКТУРЫ

А.С. Нарцызова, Г.Н. Дюбанов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nartsyzovaalexandra@gmail.com

В данной статье рассматривается проблема наличия и исполнения мусорной реформы в России, аналогичные способы её претворения в жизнь через создание отдельной инфраструктуры. Рассмотрены аспекты, которые имеют непосредственное влияние на появление этой программы в нашей стране. Рассчитываются возможность создания инфраструктуры и примерный срок, за который её можно будет реализовать. Обосновывается актуальность и необходимость этой структуры через экологическую оценку регионов РФ.

This article discusses the problem of the availability and implementation of waste reform in Russia, similar ways of its implementation through the creation of a separate infrastructure. The aspects that have a direct impact on the appearance of this program in our country are considered. The possibility of creating an infrastructure and the approximate period for which it can be implemented are calculated. The urgency and necessity of this structure is substantiated through the environmental assessment of the regions of the Russian Federation.

На данный момент в Российских промышленных городах норма отходов достигает отметки до 250 килограмм на душу населения. С 1 января 2019 года в России в силу вступила мусорная реформа, основными целями которой являлась борьба с ТБО и ТКО. Согласно ей, захоронение мусора на территории субъектов запрещено, а проблему утилизации мусора должен решать региональный оператор, выбранный на конкурсной основе. Так как Государство старается охватить слишком много отраслей, то серьёзного сосредоточения на новоиспечённый законопроект не наблюдается. Учитывая развитие экологического культа за рубежом и развитие технологий на нынешний момент, я бы хотела представить вам программу, которая обеспечивала бы централизованные сбор и утилизацию мусора, а также его переработку.

Данная система мер и техники имеет универсальный и мобильный характер, что позволяет ей адаптироваться к любому региону РФ.

Какие факторы влияют на благоприятное развитие такого направления, как переработка и утилизация твёрдых бытовых отходов? Прежде всего, это человеческий менталитет. В качестве примера, можно взять экологическую ситуацию в Швейцарии. Жителям этой страны потребовалось около трёх лет, чтобы поменять своё отношение к переработке мусора. Ведь переработка мусора начинается с, прежде всего, его сортировки. Однако, возвращаясь к нашим реалиям и желанию как можно быстрее претворить в жизнь инфраструктуру по переработке мусора, можно было бы возложить ответственность за сортировку отходов жилищно-коммунальные компании и дом.управление. Подобный выход мог бы дать людям возможность самостоятельно регулировать этот процесс через санкции – как положительные, так и отрицательные. Если говорить точнее, то речь идёт о штрафах за загрязнение территории вокруг дома мусором, которые не противоречат законодательству РФ и деньги с которых идут в эти же ЖКХ и дом.управление для улучшения сортировки мусора.

Таким образом, мы можем сделать вывод, что необходимая организация, которая потенциально могла бы заниматься вопросами сортировки и которая находится абсолютно в каждом районе, есть. Дальше хотелось бы рассмотреть такой фактор «внутренней среды», как законодательные акты. Прежде всего, самые важные вещи в нашей, да и не только, стране защищаются и обеспечиваются силой закона. На этот счёт ещё в 2014 году появилось дополнение в законодательстве РФ относительно «Расширенной ответственности производителей» (РОП), которое подразумевало, что с 2015 года производитель либо сам утилизирует или перерабатывает мусор и с него не берут экологический сбор, либо он нанимает для этого специальную организацию, либо этим занимается государство. Стоит подчеркнуть, что хоть какие-то существенные шаги в этом деле государство сделало лишь в 2017 году и это были поступления экологического сбора в гос.бюджет. В 2017 году – 1.3 млрд. руб, а в 2018 – 2.5 млрд. руб. И заключительным, на данный момент, шагом стал № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». Что же мы имеем? Деньги на реализацию в гос.бюджете – есть, ответственные компании – выбраны, средства – разделены, результата – нет. Основной проблемой является негласная государственная монополия на переработку мусора, а также сбор и распределения средств на неё через государственный бюджет. В таком случае было бы правильно привлечь к этому делу частные компании, интерес которых в этом деле подкреплялся бы оплатой по факту

выполнения работы. Также следовало бы убрать ещё имеющиеся в законодательстве допущения, которые при определённых условиях дают возможность отсрочить исполнение закона на целый год, так как именно они являются зияющей дырой в создании всей этой инфраструктуры. Зачем тратить деньги на переработку мусора, когда можно просто сослаться на определённые условия и скинуть его на ближайшем полигоне? Что касаясь населения, то тут интересно посмотреть на результаты, которые собрал Всероссийский Центр Изучения Общественного Мнения. Как уже описано выше, реализацию сортировки мусора предполагается осуществить через ЖКХ, однако по данным ВЦИОМ до 43% россиян не довольны работой жилищно-коммунальных компаний. Из этого вытекает ещё одна работа – ненадлежащее исполнение своих рабочих обязанностей этими компаниями. Единственно верным способом решения этой проблемы я вижу прохождение проверок всех этих компаний и их реконструирования или же перестроение их деятельности. Пожалуй, последним пунктом в этом вопросе является оборудование. Технология изготовления этого оборудования не является слишком сложной, мало отличается от производства обычных станков и машин, патенты на изобретение – русские ещё времён СССР, их эксплуатация достаточно трудоёмкий процесс. Отсюда вытекает проблема в создании заготовок и в денежном обеспечении. Эти проблемы также можно было решить за счёт денежных средств, которые собирают в государственный бюджет посредством экологического сбора.

В статье были рассмотрены социальные, экономические, законодательные, технические и географические аспекты, которые влияют на создание инфраструктуры переработки и утилизации мусора. Это позволяет нам оценить потенциал нашей страны в этом деле. На повышение у населения экологической грамотности, на изменение менталитета, настроение работы инфраструктуры в целом, а также принятии соответствующего закона или внесение в имеющихся уйдёт несколько лет. По скромным подсчётам России могут потребоваться десятки лет на то, чтобы этот комплекс по переработке полноценно настроил свою бесперебойную работу и стал непрерывным экономическим механизмом. Это позволило бы решить сразу две проблемы: экономическую и экологическую. Не смотря на столь пугающий срок реализации программы, не стоит забывать, что мы делаем это не только для себя сегодня, но и для наших потомков завтра. Таким образом, мы можем сделать вывод, что мы располагаем хорошей возможностью начать менять нашу страну в лучшую сторону, элементарно сохранить её достоиние, но для этого потребуются не мало

усилий, денег, времени. Нужно будет набраться терпения, чтобы изменить себя, изменить общество, изменить законодательство.

Литература:

1. Гусеева А.А., Мубарашкина Ф.Д. Современные проблемы и технологии переработки мусора в России и за рубежом // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 4 (18). С. 91-99.

2. Бондарович П.А., Газизова О.В. Мусорная реформа в России – первые шаги к цивилизованному обращению с твердыми коммунальными отходами// Экономическое развитие в XXI веке: тенденции, вызовы, перспективы 2019. С. 17-20.

3. Дергачёв В. Россияне назвали главные экологические проблемы страны // гбс. - 2019.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Т.А. Попова, О.А. Стародубцева

**Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск tatyana.alex555@mail.ru, olgastarodubzeva@mail.ru**

В данной статье проведен сравнительный анализ методов бережливого производства применяемых на энергетических и машиностроительных предприятиях

This article provides a comparative analysis of the methods of lean production used at power and machine-building enterprises.

В любой отрасли совершенствовать производство можно по-разному. Например, с помощью принятия единовременных мероприятий – ТОП-менеджеры устанавливают цели и принципы организации ключевых бизнес-процессов, а подразделения их выполняют. Другой вариант – разработка программ постоянного совершенствования (концепция Бережливого производства), который предоставляет возможность сотрудникам организации отлаживать технические процессы, сокращать потери на всех уровнях и повышать не только производительность труда, но и прибыль предприятию. Эта концепция завоевывает популярность во всех сферах деятельности и во многих отраслях.

Поэтому была поставлена цель, проанализировать внедрение методов бережливого производства в энергетике и машиностроении.

Отличительные особенности применения методов бережливого производства в сфере электроэнергетики.

Методики и инструменты бережливого производства в электроэнергетике в основном направлены на улучшение технического обслуживания и ремонта оборудования.

Если адаптировать инструменты бережливого производства и сохранить исходный замысел философии данного направления, то применять такую философию можно и в электроэнергетике.

Выделяют пять основных принципов бережливого производства [2]:

- Продукт и его ценность;
- Поток создания ценности каждого продукта;
- Непрерывность потока создания ценности;
- «Вытягивание» продукта потребителем;
- Постоянно совершенствование.

В энергетике под понятием «продукт» используется электро- и теплоэнергия, а в качестве услуги – выработка энергии и дальнейшая её реализация [2]. Поэтому применение принципов «Бережливого производства» в энергетике будут существенно отличаться от их применения в других отраслях.

Другое отличие связано с принципом «вытягивание». Вытягивание предполагает, что производственный процесс (или какая-либо его часть) не начинается без требования заказчика, которым является следующая операция в технологической цепи или конечный покупатель продукта. Однако потребители энергии не могут участвовать в «вытягивании» продукта, т.к. не могут адекватно оценить ценность энергии. [4].

«Особенная» мотивация энергокомпаний в стремлении к совершенству – это третья серьезная проблема.

Рост конкурентоспособности между электроэнергетическими компаниями не работает из-за конечности потенциального потребления электроэнергии физическими лицами, и плюс из-за отсутствия большого числа компаний с высокой электро-нагрузкой. В связи с этим можно сделать вывод, что необходима поддержка государства, которая произведёт настройку модели энергетического рынка и системы регулирования производственных процессов.

Исходя из этих проблем, основными результатами внедрения концепции Бережливого производства для энергокомпаний являются [2]:

- Решения по компенсации потерь электрической энергии;
- Оптимизация бизнес - процесса документооборота;
- Оптимизация процесса ремонтных работ;
- Устранение непроизводительных затрат;
- Снижение затрат в передаче и транспортировке электрической энергии;
- Снижение дебиторской задолженности;
- Внедрение системы 5S на рабочих местах и пространствах.

Внедрение бережливого производства в организациях электроэнергетической отрасли является малозатратным и эффективным механизмом оптимизации всех бизнес-процессов. Но на текущий момент отсутствует универсальный способ развития и внедрения БП в электроэнергетике [3].

Основная методология развития и внедрения БП представляет собой «дорожную карту», включающую комплекс мероприятий по оптимизации бизнес-процессов в электроэнергетике: генерация, передача, сбыт электрической и тепловой энергии, оперативно-диспетчерское управление. Основные этапы «дорожной карты» выделены на основе анализа опыта внедрения БП и приведены на рисунке 1.



Рис.1 – Основные этапы «дорожной карты» по внедрению БП в электроэнергетической организации [4]

Отличительные особенности применения методов бережливого производства в сфере машиностроения

Все концепции современного менеджмента ориентированы на одном и том же, а отличаются своими акцентами, терминологией и степенью ориентации на те или иные аспекты менеджмента. В этом плане, очевидно, что концепция бережливого производства в сфере машиностроения так же ориентирована на борьбу с потерями всех видов и во всех этапах бизнес-процесса [5].

Можно выделить следующие основные распространенные типы потерь у машиностроительных компаний, которые показаны в таблице 1, а так же решения этих проблем [1].

Таблица 1 – Причины и последствия 7 видов потерь на производстве

Потери	Причины	Последствия	Инструмент устранения
Переизводство	Большой объем партии; Отсутствие быстрой переналадки; Избыточное оборудование; нестабильное качество.	Преждевременный расход сырья; Избыточные запасы, потеря качества.	«Вытягивание» поставок; Выравнивание загрузки производственных линий.
Избыточные запасы	Выпуск продукции большими партиями; Некорректная работа системы планирования производства и поставки материалов.	Увеличение площадей; Дополнительная рабочая сила; Возможность повреждения.	«Вытягивание» производства; Выравнивание производства; Уменьшение партии.
Транспортировка	Нерациональное размещение оборудования; Производственный поток организован неэффективно.	Увеличение издержек на перемещение; Дополнительные затраты на поиск; Повреждение продукции при транспортировке.	Оптимизация производственных участков; Оптимизация расположения складов.
Перемещения	Нерациональная организация рабочего пространства; Несоответствие операций; Отсутствие стандартизованных процессов.	Снижение производительности труда; Рост травматизма и профзаболеваний.	Оптимизация производственного процесса; Повышение квалификации персонала; 5S на рабочих местах.
Ожидание	Несбалансированность производственных процессов; Производство продукции большими партиями.	Снижение производительности ; Демотивация персонала.	Выравнивание производственных процессов; Сокращение времени на переналадку.

Анализ показал, что бизнес– и производственные процессы в энергетике и машиностроении разные, но, несмотря на это применение концепции «Бережливое производство» возможно и необходимо, так как приводит к повышению конкурентоспособности предприятий в этих

отраслях. Внедрение Бережливого производства как философии может дать наиболее значительные и долговременные улучшения [3].

Однако, Бережливое производство требует изменения корпоративной культуры, которая ориентирована на развитие сотрудников. С этой точки зрения внедрение концепции «Бережливое производство» не связано с видом производимой продукции и потому применимо в любой отрасли.

Литература:

1. Абросимова А.А. Теоретический аспект методологии бережливого производства // Дискуссия. – Екатеринбург, 2012. – Вып. 9. – С. 32-35
2. Бережливая энергетика: обмен опытом и «мозговой штурм» ведущих компаний отрасли [Электронный ресурс]: URL: www.up-pro.ru (дата обращения 05.09.2020)
3. Вялов. А.В. Бережливое производство: учеб. Пособие / А.В. Вялов. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 100 с.
4. Методика внедрения бережливого производства в электроэнергетической организации [Электронный ресурс]: URL: www.cyberleninka.ru (дата обращения 20.09.2020)
5. Пономарева О.С. Современные методы организации производства: метод LEAN STARTUP // В сборнике: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35425464> Современный менеджмент: теория и практика. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией Н.В. Кузнецовой. 2018. - С. 40-45.

АНАЛИЗ ОТДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ: ПРОИЗВОДСТВО И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ

**Е.К. Работа, Д.К. Работа, Е.В. Сенченко
МБОУ «Лицей № 22 «Надежда Сибири»,
МБОУ «Инженерный лицей НГТУ»
г. Новосибирск, hunter120@mail.ru**

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск**

В рамках статьи рассматривают отдельные аспекты развития электроэнергетики в России. В частности на основании статистических данных анализируются показатели производства и обеспечения электроэнергией, как вида экономической отрасли.

The article examines certain aspects of the development of the electric power industry in Russia. In particular, on the basis of statistical data, indicators of production and supply of electricity are analyzed as a type of economic industry.

В рамках статьи в первую очередь стоит рассмотреть понятийный аппарат и дать определение энергии и электроэнергии в целом. Так, толковый словарь русского языка Ожегова С.И. дает определение энергии, как «1) относящийся к энергетике, направления энерговооруженность, энергобаза, энергогигант; 2) относящийся к энергии (в 1 знач.), напр. энергопитание, энергоснабжение» [2].

Малый академический словарь дает определение энергии, как «1) Область хозяйства, охватывающая энергетические ресурсы, выработку, преобразование и использование различных видов энергии». [4]

Большой энциклопедический словарь дает определение энергетике, как «1) энергетическая наука - наука о закономерностях процессов и явлений, прямо или косвенно связанных с получением, преобразованием, передачей, распределением и использованием различных видов энергии, о совершенствовании методов прогнозирования и эксплуатации энергетических систем, повышении кпд энергетических установок и уменьшении их экологического влияния на природу...2) Энергосистема - топливно-энергетический комплекс страны, область народного хозяйства, охватывающая энергетические ресурсы, выработку, преобразование, передачу и использование различных видов энергии. Ведущая область энергетики - электроэнергетика. В энергосистему входят системы электроэнергетические, снабжения различными видами топлива (продукцией нефтедобывающей, газовой, угольной, торфяной и сланцевой промышленности), ядерной энергетике, обычно объединяемые в масштабах страны в Единую энергетическую систему» [1].

Исходя из определений, можно сделать вывод что под термином энергия понимается хозяйственная область, включающая в себя различные объекты энергоресурсов. Под термином электроэнергетика в свою очередь понимается совокупность ресурсов объединяющихся в единую энергосистему, в которую входят различные электроэнергетические ресурсы.

Рассмотрев общетеоретические аспекты энергетики и энергии, переходим к анализу показателей развития электроэнергии в России.

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики РФ за последние 3 года (с 2016 по 2018гг) наблюдается стабильный рост производства первичных энергоресурсов по основным видам (исключая торф неагломерированный и древесина топливная) (таблица 1)

**Таблица 1. Производство первичных энергоресурсов по видам
(миллионов тонн условного топлива)**

	2016	2017	2018	Доля 2018/ 2016 (в %)
Всего	1937	2012	2089	7,84%
нефть сырая, включая газовый конденсат	783	781	794	1,4%
газ природный и попутный	739	798	838	13,39%
уголь	277	294	315	13,7%
торф неагломерированный	0,4	0,3	0,4	-
древесина топливная	4,0	4,1	4,0	-
электроэнергия, выработанная гидро-, атомными, геотермальными, ветровыми и солнечными электростанциями	133	135	137	0,3%

Согласно данным приведенным в таблице 1 стоит отметить, что показатели 2018 года по отношению к 2016 году по виду первичного энергоресурса «электроэнергия, выработанная гидро-, атомными, геотермальными, ветровыми и солнечными электростанциями» имеет четкую тенденцию роста. Не смотря на незначительный рост показателя, его динамика стабильная, о чем свидетельствует рисунок 1.

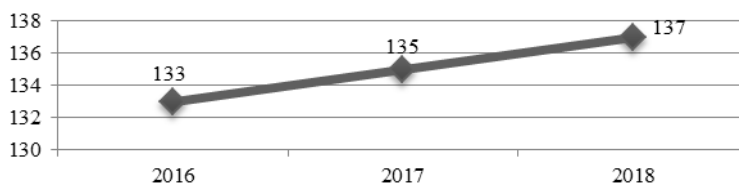


Рис. 1 - Динамика показателя производства «электроэнергия, выработанная гидро-, атомными, геотермальными, ветровыми и солнечными электростанциями» (в миллионах тонн условного топлива)

Если рассматривать доленое соотношение в производстве первичных энергоресурсов по видам, то стоит отметить, что доля показателя «электроэнергия, выработанная гидро-, атомными, геотермальными, ветровыми и солнечными электростанциями» по данным за 2018 год составляет

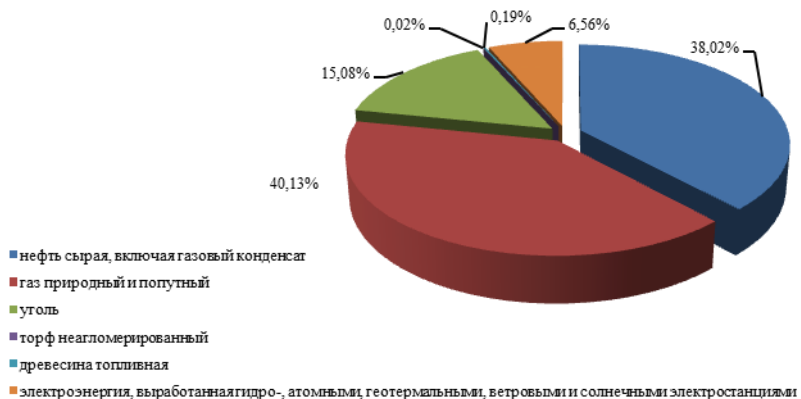


Рис. 2 - Динамика показателя производства «электроэнергия, выработанная гидро-, атомными, геотермальными, ветровыми и солнечными электростанциями» (в миллионов тонн условного топлива)

Говоря о доли показателя «электроэнергия, выработанная гидро-, атомными, геотермальными, ветровыми и солнечными электростанциями» в общем объеме производства энергоресурсов, то стоит отметить, что она является не столь высокой как нефть и газ и составляет 6,56% по данным 2018 года. Притом, что газ составляет в общем объеме производства первичных энергоресурсов 40,13%, а нефть 38,02%.

Еще один показатель вызывающий интерес это динамика производства, передачи и распределения электроэнергии.

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики РФ в 2018 году показатель производства, передачи и распределения электроэнергии вырос на 14,37% по отношению к 2016 году (таблица 2)

Таблица 2. Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по видам экономической деятельности – электрическая энергия [3]

1	2016	2017	2018
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	5052	5380	5642
производство, передача и распределение электроэнергии	3311	3599	3787

Согласно приведенным данным таблицы 2 следует, что обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха в 2018 году по отношению к 2016 году выросло на 11,67%, при этом показатель обеспечения по отношению к предыдущему 2017 году составил 4,86%

Показатель производства, передачи и распределения электроэнергии так же демонстрирует за анализируемый период стабильный рост, на 14,37 в 2018 году по отношению к 2016 году, и на 5,22% по отношению к 2017 году.

Таким образом можно с уверенностью сказать что представленные выше показатели развития электроэнергетики в России имеют четкую тенденцию роста, что в свою очередь говорить о стабильности развития отрасли.

Литература:

1. Большой энциклопедический словарь / гл. ред. А. М. Прохоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Большая Рос. энцикл.; СПб.: Норинт, 1997, 1999, 2001, 2004. – 1456 с.

2. Ожегов С.И. Толковый словарь русского языка [Текст]: 72500 слов и 7500 фразеологических выражений / С. И. Ожегов, Н. Ю. Шведова; Российская АН, Ин-т рус. яз., Российский фонд культуры. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Азъ, 1994. – 907 с.

3. Российский статистический ежегодник. 2019: Стат.сб./Росстат. - Р76 М., 2019 – 708 с.

4. Малый академический словарь. // [Электронный ресурс]//Режим доступа: <https://gufo.me>

РАСШИРЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ БАЗЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Сафронов Г.С., Кравченко А.В.

**Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, s89222877619@vandex.ru**

Возможность использования новых топливных источников на электростанциях наиболее актуальна в наше время, это связано и с экологической обстановкой на местах добычи нефти, газа и угля, и с неполной выработкой месторождений нефти и газа.

В статье предложено расширить топливную базу электрических станций, включив в нее, где это возможно, низконапорный газ, которым следует заменить угольную генерацию электроэнергии, следуя мировой практике. Рассмотрены недостатки использования угля в электроэнергетике. Дается

классификация низконапорного газа с краткой характеристикой каждого вида ННГ. Приводится сравнительная оценка стоимости электроэнергии в случае отказа от угля и закупки энергии на оптовом рынке и генерация энергии при использовании низконапорного газа.

The possibility of using new fuel sources at power plants is most relevant in our time, this is due to the environmental situation at the places of oil, gas and coal production, and to the incomplete production of oil and gas fields.

The article proposes to expand the fuel base of power plants by including, where possible, low-pressure gas, which should replace coal-based electricity generation, following international practice. The disadvantages of using coal in the electric power industry are considered. A classification of low-pressure gas with a brief description of each type of LPG is given. A comparative assessment of the cost of electricity in case of refusal of coal and the purchase of energy at a wholesale market and energy generation using low-pressure gas.

Уголь и газ - основные источники энергии на тепловых электрических станциях.

В угле привлекательны его относительно низкая стоимость, возможность создания рабочих мест в угледобывающих регионах и возможность повышения уровня энергобезопасности, однако, вредные выбросы от сжигания угля наносят непоправимый ущерб окружающей среде и здоровью человека. Тем самым, перед угольным топливом встают серьезные вызовы в виде экологических требований к чистоте воздуха.

До недавнего времени попутный газ в подавляющем большинстве случаев просто сжигался на факелах, что наносило значительный вред окружающей среде и приводило к значительным потерям ценного углеводородного сырья. Постановлением Правительства России от 8 января 2009 г. № 7 «О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках» был установлен целевой показатель сжигания попутного нефтяного газа в размере не более 5 процентов от объема добытого попутного нефтяного газа. В настоящий момент объемы добываемого, утилизируемого и сжигаемого Попутного Низконапорного Газа (далее ПНГ) невозможно оценить в связи с отсутствием на многих месторождениях узлов учета газа. Но по приблизительным оценкам это порядка 25 млрд м³. [2]

Одновременно с этим, большинство эксплуатируемых месторождений сеноманского (сухого) газа вступает или уже вступило в стадию падающей добычи, а новых крупных месторождений со значительными запасами такого газа в освоенных районах можно считать не осталось.

В этих условиях может оказаться выгодным увеличить добычу «низконапорного природного газа».

Таким образом, я предлагаю рассмотреть в качестве расширения топливной базы электростанций использование низконапорного газа.

Низконапорный газ - газ, давление которого на устье скважины таково, что его можно направить в магистральный газопровод только после компримирования не менее чем в три ступени.

Существует несколько подходов к формированию понятия «низконапорного газа».

Один из подходов формирует это понятие через классификацию запасов газа:

- Бескомпрессорный – категория А;
- С компримированием для дальнего транспорта (В, С, D);
- Утилизация газа в районе добычи – категория Е;
- Неизвлекаемый газ – категория F.

В рамках этого подхода «низконапорный газ» определяется как газ, давление которого на устье скважины таково, что его можно направить в магистральный газопровод только после компримирования не менее чем в три ступени.

На основании результатов исследований, проведенных специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ», запасы ННГ на территории Российской Федерации составляют величину 6,1 трлн.м³, причем большая их часть (5,4 трлн.м³) сосредоточена в Надым-Пур-Тазовском регионе Западной Сибири, который является районом с падающей добычей.

Анализ сеноманских залежей на примере месторождения Надым-Пур-Тазовского региона при существующих технологиях добычи показывает, что можно извлечь до 90% от начальных геологических запасов, что соответствует сумме всех категорий, за исключением категории F [1].

Основными факторами использования ННГ являются: ценность ННГ как ресурса и продление срока службы месторождений природного газа, и отложение рекультивации и ликвидации промыслов и скважин на далекое будущее с учетом того, что затраты на данные процессы крайне велики;

Необходимость использования компрессорных станций и дожимных компрессорных станций для уменьшения количества не извлекаемого газа до минимального уровня;

Расширение топливной базы электростанций, альтернатива угольной генерации и вклад в решение экологической проблемы.

Рассмотрим экономическую эффективность использования ННГ на децентрализованных электростанциях, а именно производство энергии для добывающего комплекса.

Сравним покупку электроэнергии у сбытовой компании и производство ее на станции с использованием ННГ.

Примем в качестве сбытовой компании –ООО «Нижевартовская энергосбытовая компания» (далее ООО «НЭСКО»), а покупатель – Газпром.

Уровень напряжения допускаем рассматривать на среднем втором напряжении: (СН-2).

Потребляемая мощность на месторождении 20 МВт.

Расчет производился исходя из данных на 1-ое полугодие 2019 года, в частности на апрель 2019 года.

Расширение топливной базы электростанций, альтернатива угольной генерации и вклад в решение экологической проблемы.

Цена покупки на оптовом рынке электрической энергии (далее ЭЭ) и мощности рассчитана исходя из средневзвешенных нерегулируемых цен на электроэнергию и мощность, опубликованных на сайте администратора торговой системы и сбытовой компании, и составила 2223,80 руб./МВт*ч.

Согласно распоряжения региональной энергетической комиссии оплата по передаче электрической энергии по сетям за 1-ое полугодие 2019 года составила 2228,40 руб./МВт*ч.

Плата за услуги ОАО «Администратор Торговой Системы» и СО устанавливается приказом федеральной антимонопольной службы и составляют 1,121 руб./МВт*ч и 1,363 руб./МВт*ч соответственно. Плата за услуги ЗАО «Центр Финансовых Расчетов» утверждается Наблюдательным советом Ассоциации "НП Совет рынка" и составляет 0,333 руб./МВт*ч. Итого оплата услуг составила 2,82 руб./МВт*ч.

Сбытовая надбавка для тарифной группы «прочие потребители» в первом полугодии 2019 года у поставщика составила для СН-2 не менее 10 МВт – 149,77 руб./МВт*ч.

Итого, конечная цена электроэнергии для потребителя 4604,79 руб./МВт*ч.

Сравним полученную стоимость электроэнергии, потребляемой месторождением с парогазовой установкой (далее ПГУ) аналогичной мощности, т.е. 20 МВт. Для примера подойдет ПГУ компании Pratt&Whitney Power Systems Inc.

Расчет произведен для базовых климатических условий.

КПД установки примем 37,9%.

Расход топлива с учетом мощности и КПД установки, а также низшей теплоты сгорания топлива составил 5756,78 м³/ч.

Для функционирования выбранной ПГУ год необходимо 50,57 млн. м³ ННГ в год.

Годовые затраты в случае покупки ЭЭ у сбытовой компании составили 726,08 млн. руб. в год, а при выработке этой же э/э на ПГУ с использованием низконапорного газа за пределами периода окупаемости – 292,5 млн. руб., то есть на 60% меньше.

Литература:

1. Омельченко Р.Ю., Грязнова И.В. Некоторые вопросы добычи и использования низконапорного газа. Газохимия, 2009, 53 с.

2. Иванов С.И., Стольпин В.И., Молчанов С.А., Морозов М.М., Зубанова Е.А. «Утилизация низконапорных газов на объектах добычи и переработки в ООО «Оренбурггазпром». Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2006, №7, 32 с

РАЗРАБОТКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

С.А. Уварова, Б.Н. Мошкин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, uvarovasargy.enme91@gmail.com**

В работе рассмотрены варианты устранения дефицита мощности в нефтедобывающей местности. Проведены расчеты режимов нагрузок и оценка экономической эффективности. В результате выявлено, что перспективным является установка газотурбинной электростанции (ГТЭС) на попутном газе.

The paper considers options for eliminating the power shortage in an oil-producing area. Calculations of load modes and an assessment of economic efficiency were carried out. As a result, it was revealed that the installation of a gas turbine power plant using associated gas is promising.

Требования научно-технического прогресса диктуют необходимость совершенствования промышленной электроэнергетики. При этом электрическая сеть обязана гарантировать требуемую пропускную способность, надежность, безопасность и экономичность выработки и передачи электроэнергии.

Целью работы является разработка вариантов по усовершенствованию существующей распределительной сети и расчет экономических показателей эффективности.

Объект изучения – участок распределительной сети, питающей объекты нефтедобычи, ООО «Ноябрьскэнергонепфть» (Рисунок 1).

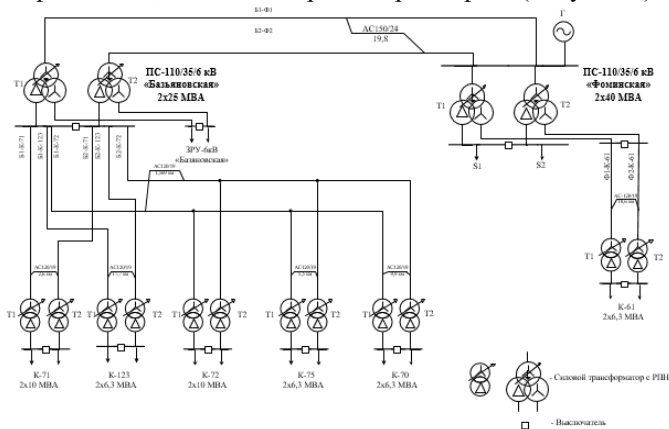


Рис. 1 – Принципиальная схема

В результате расчета нормального режима работы в программе «MUSTANG» существующей внешней сети выявлено, что имеются перегруженные трансформаторы на подстанциях и существующая схема энергоснабжения имеет большие потери.

Предлагается два альтернативных варианта. Первый направлен на ликвидацию дефицита электрической мощности за счет замены трансформаторов на большую мощность. Второй – внесение дополнительной электрической мощности вблизи подстанции (ПС) «Базьяновской».

Вариант №1 предполагает замену трансформаторов на ПС 110/35/6 кВ «Базьяновская» 2x25 МВА и на ПС 110/35/6 кВ «Фоминская» 2x40 МВА на трансформаторы с большей пропускной способностью мощности 63 МВА и 100 МВА соответственно. Связи перегруженностью проводится замена трансформаторов на ПС «К-72», «К-70», «К-61». Дополнительно устанавливаются компенсирующие устройства (КУ) и регулируется напряжение под нагрузкой (РПН) на трансформаторах с целью снижения потерь электроэнергии в сетях.

Вариант №2 предусматривает размещение четырех энергоблоков ГТЭС единичной мощностью 16 МВт вблизи РУ – 110 кВ ПС «Базьяновская» с подключением к шинам РУ попарно через два

трансформатора связи с расщепленной обмоткой низкого напряжения ТРДН–32000/110. Так же заменяются трансформаторы на ПС «К-72», «К-70», «К-61», устанавливаются КУ и регулируется РПН на трансформаторах. Особенность варианта заключается в возможности поэтапного ввода генерирующих мощностей электростанции, что позволит управлять затратами на его реализацию. Также важную роль играет топливо газотурбинной установки – попутный нефтяной газ.

Варианты отвечают критериям проверки:

- по балансу реактивной мощности;
- по коэффициенту загрузки K_z ;
- по длительно допустимому току $I_{дд}$;
- по напряжению.

Эффективность проекта характеризуется системой показателей: чистый дисконтированный доход (NPV), срок окупаемости (DPP), индекс рентабельности (PI), ставка дисконтирования (IRR) (Таблица 1).

Таблица 1 – Показатели эффективности

	Вариант №1	Вариант №2
NPV, млн. руб.	4033,92	4784,83
DPP, лет	2,075	1,89
IRR, %	62	111
PI	9,93	10,7

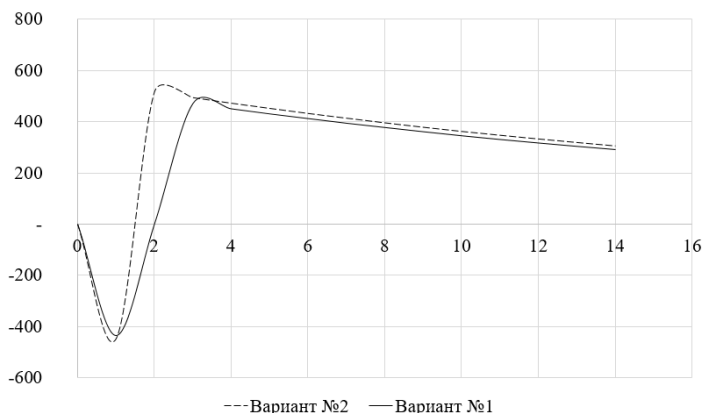


Рис. 1 – Распределение дисконтированных денежных потоков по годам реализации проектов

Согласно проведенным расчетам и технико-экономическому анализу, установка ГТЭС более привлекателен по норме приведенного

дохода, чем увеличение пропускной способности за счет замены трансформаторов. Уровень эффективности управления капиталом во втором варианте выше, нежели в первом. Вариант №2 имеет больший потенциал для вложения, чем Вариант №1. И второй проект имеет быстрее окупается. Индекс рентабельности инвестиций у обоих вариантов выше единицы, значит имеют право на существование. Следовательно, вариант №2 – установка блока ГТЭС на попутном гвзе является наиболее эффективным.

Литература:

1. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – М.: Энергоатомиздат 1989.– 608с.
2. Карамян И. Г., Файбисович Д. Л., Шапиро И. М., Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перерад и доп. – М.: ЭНАС, 2009. – 392 с.
3. Тупикина А.А. Методические рекомендации для выполнения курсовой работы по курсу «Инвестиционный менеджмент в энергетике» Техничко-экономическое обоснование инвестиционного проекта в энергетике – Новосибирск: НГТУ, 2019.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ПОВЫШЕНИЯ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ПАО «МРСК ЦЕНТРА»)

Д.В. Усин

**Ивановский государственный энергетический университет
им. В.И. Ленина г. Иваново, d-usin@yandex.ru**

Обеспечение финансовой устойчивости хозяйствующих субъектов является объективной необходимостью при переводе экономики на инновационный путь развития. Она является способностью компании сохранять непрерывность функционирования в условиях негативного воздействия общей экономической конъюнктуры - это важный критерий, свидетельствующий не только о высокой конкурентоспособности предприятия, но также о его значительном инвестиционном потенциале. Статья посвящена рассмотрению показателей финансовой устойчивости с точки зрения управления ею.

Ensuring the financial stability of business entities is an objective necessity in the transition of the economy to an innovative path of development. It is the ability of the company to maintain the continuity of its operation in the face of the negative impact of the general economic environment - this is an important criterion that indicates not

only the high competitiveness of the enterprise, but also its significant investment potential. The article is devoted to the consideration of indicators of financial stability from the point of view of its management.

Актуальной проблемой электросетевых компаний является высокий процент износа основных фондов, что приводит к большому объему потерь электроэнергии в линиях электропередачи и к снижению надежности электроснабжения. Эти проблемы решаются путем строительства, реконструкции и технического перевооружения электрических сетей. Однако величина вложений на реализацию таких проектов делает их невозможными для большинства компаний. Поэтому сетевым организациям необходимо участвовать в инвестиционных проектах по модернизации электрических сетей и привлечению инвесторов.

Для инвесторов устойчивое финансовое положение определяет выгодность и степень риска вложений в организацию. Чем устойчивей в финансовом отношении организация в постоянно изменяющихся условиях внутренней и внешней среды, тем привлекательней она для инвестиций. Проявление финансовой устойчивости состоит в долгосрочной платёжеспособности и правильном распределении финансовых ресурсов.

Таблица 1 - Показатели фин. устойчивости ПАО «МРСК Центра»

Показатели	2019	2018	Изменение	
			Абс.	%
Коэффициент финансовой устойчивости	0,82	0,78	0,04	1,05
Коэффициент автономии	0,48	0,54	-0,06	-0,8
Коэффициент текущей ликвидности	0,76	0,64	0,12	1,18
Соотношение дебиторской и кредиторской задолженностей	1,057	0,95	0,107	1,11

Если величина коэффициента финансовой устойчивости колеблется в пределах 0.8–0.9 и есть тенденция к росту, то финансовое положение ПАО «МРСК Центра» устойчиво.

Нормативное ограничение коэффициента автономии >0.5. Компания имела прирост активов, приобретенных в долг и если кредиторы одновременно потребуют погасить обязательства, то Компания не сможет расплатиться.

Рекомендуемое минимальное значение соотношения дебиторской и кредиторской задолженности - 1. Превышение дебиторской задолженности над кредиторской означает отвлечение средств из хозяйственного оборота и в дальнейшем приведет к необходимости привлечения дорогостоящих кредитов банка и займов для поддержки текущей производственно-хозяйственной деятельности. Но у Общества нет значительного превышения кредиторской задолженности над дебиторской и это не создает угрозу финансовой устойчивости предприятия. К тому же темпы роста дебиторской задолженности сопоставимы с темпами роста кредиторской задолженности и это благоприятная ситуация.

22 июля 2019 года Standard & Poor's повысило долгосрочный кредитный рейтинг МРСК Центра по международной шкале с «BB» до «BB+», прогноз «Стабильный», и подтвердило краткосрочный рейтинг Общества на уровне «B». При принятии решения о повышении кредитного рейтинга агентство учитывало устойчивые результаты операционной деятельности Компании, достаточную ликвидность на горизонте 12 месяцев и ожидание положительного денежного потока в среднесрочной перспективе.

В декабре 2019 года АО «Эксперт РА» подтвердило рейтинг кредитоспособности МРСК Центра на уровне ruAA со «Стабильным» прогнозом. Положительное влияние на рейтинговую оценку оказывают: стабильная структура собственности; монопольные рыночные позиции; высокое качество корпоративного управления; стабильная структура собственности; уровень информационной прозрачности компании; невысокий уровень долговой нагрузки и прогнозный уровень ликвидности.

В целом, ПАО «МРСК Центра» обладает высокой финансовой устойчивостью и независимостью. Конечно же, это во многом обусловлено тем, что предприятие обладает большой поддержкой государства, да и фактически является его имуществом. Компания является публичной и ее ценные бумаги пользуются спросом со стороны частных инвесторов, привлекая главным образом своей надежностью.

Литература:

1. Годовой отчет ПАО «МРСК Центра» за 2019 г. – 165 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mrsk-1.ru/information/annual-reports/> (дата обращения октябрь 2020 г.).

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРОНОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ.
СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ 3-Д МОДЕЛЕЙ И КАРТ**

**Д.И. Барков, А.А. Глуховченко, Е.В. Долгуев,
В.В. Ефремова, Д.И. Скраденов
Школы №№ 80, 112, 165, 179, г. Новосибирск,
dimkaromanov87@gmail.com**

Целью работы является использование дронов с искусственным интеллектом, для создания цифровых 3D-моделей инфраструктуры энергетического сектора, а также карт ЛЭП на территории Новосибирской области.

The aim of the work is to use drones with artificial intelligence to create digital 3D models of the infrastructure energy's sector, as well as maps of power lines on the territory of the Novosibirsk region.

Создание карт с применением лидаров и фотограмметрических систем, установленных на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), становится все более распространенным. Это неудивительно: беспилотники с поддержкой GPS для аэросъемки обходятся намного дешевле, чем аэрофотосъемка для фотограмметрии. Поскольку беспилотные летательные аппараты относительно недороги, многие организации имеют возможность держать собственный флот, что позволит им при необходимости быстро проводить съёмку местности на большой территории. С помощью дронов, оборудованных GPS, цифровыми камерами и мощными компьютерами, вполне возможна съемка с точностью до 1 - 2 см. Для того чтобы заниматься фотограмметрическим и лидарным картографированием с использованием БПЛА или аналогичным бизнесом, нужно купить самый лучший квадрокоптер и датчики. С таким фотограмметрическим и лидарным оборудованием для картографирования с БПЛА у вас будет гораздо больше возможностей.

Фотограмметрия – это наука определения размеров по фотоизображениям. Фотограмметрия служит, как правило, для получения карт, чертежей или трехмерного изображения какого-либо реального объекта или участка местности.

Для создания 3D-карт с использованием аэрофотограмметрии, камера устанавливается на беспилотный аппарат и обычно направляется

вертикально к земле. Когда БПЛА летит по автономно запрограммированной траектории, в определенных точках маршрута происходит съемка с многократным наложением снимков (частичное совпадение на 80-90%). Сделать точные снимки объекта или земли с перекрытием на 80-90% при пилотируемом полете было бы невозможно. Это может сделать только БПЛА, оснащенный навигационной технологией для задания точек маршрута.

На лидаре для БПЛА устанавливается лазерный дальномер для измерения высоты точек местности под БПЛА. В чем, собственно, и состоит суть лидара (активный дальномер оптического диапазона). Лидарные дальномеры могут покрывать сотни квадратных километров в день. При измерении 10-80 точек на квадратный метр, можно создать очень подробную цифровую модель местности. Датчики лидаров могут проникать сквозь лесной покров и растительность, что позволяет снимать скрытый рельеф местности, который не виден со спутников, а также достаточно подробно снимать напочвенный покров, обеспечивая категоризацию и контроль изменения растительности.

Применение фотограмметрического и лидарного картографирования с БПЛА позволило создать множество продуктов с использованием аэрофотоснимков. К таким продуктам относятся:

- технологии DEM / DTM / DSM (для моделирования поверхности);
- ортофотосъемка (аэроснимки с геопространственной коррекцией);
- 3D-модели зданий;
- контурные карты;
- съемка планиметрических особенностей (края дороги, возвышенности, объекты, застроенные участки и т. д.);
- пространственные исследования.

Ниже перечислены основные области применения фотограмметрического и лидарного картографирования. Для осуществления проектов в данных областях с успехом используются 3D-изображения. Экономия также достигается в результате повышения эффективности и снижения затрат по сравнению с использованием самолетов.

Области применения:

- управление и планирование в области лесного хозяйства;
- создание моделей наводнений;
- создание моделей загрязнений;
- топографическая съёмка и картография;
- градостроительное проектирование;

- съёмка побережья;
- транспортное планирование;
- нефте- и газоразведка;
- разработка карьеров и добыча полезных ископаемых (расчёт параметров и разведка);
- археология;
- проектирование сотовых сетей

С появлением лидаров на БПЛА, которые начинают использоваться все более широко, фотограмметрия постепенно отходит на второй план.

Бесплатное программное обеспечение для фотограмметрии Altizure Приложение Altizure позволяет полностью автоматизировать трехмерное картографирование участка местности. Вы отмечаете область на карте, а приложение рассчитает лучший маршрут для съемки. Полученные изображения затем можно загрузить на Altizure.com, где они будут проанализированы с помощью программного обеспечения для создания 3D-визуализации вашего местоположения (изображение также можно анимировать). Совместимые дроны – DJI Phantom 3, 4 и Inspire 1. У Altizure есть бесплатная и платная версии.

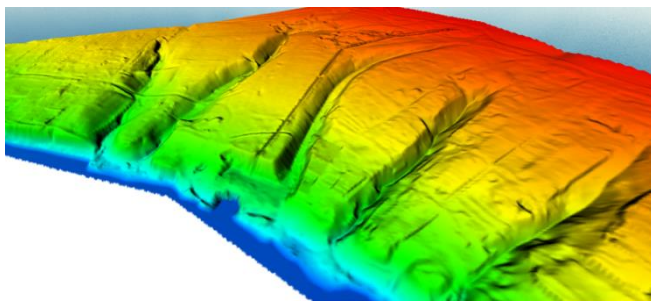


Рис. 1 – пример 3д карты местности выполненной с помощью дрона

Главные преимущества БПЛА включают: мобильность, легкость в использовании в сравнении с пилотируемыми аппаратами, возможность получения данных в короткие сроки, и сравнительно недорогая цена эксплуатации. Еще одним преимуществом дронов является возможность их использования на сложном рельефе (склоны, овраги, возвышенности и пр.), что сложно выполнить с помощью наземной техники и/или малой авиации. Отличительной особенностью использования БПЛА является возможность вариации высот от сверх низких (1-1,5 м) до 400-500 или более метров, с возможностью фото и видео фиксации с разных высот

для большей детализации, а также возможность эксплуатации в экстремальных климатических и географических условиях. Использование дронов является экономически целесообразным. Беспилотники предоставляют достоверную информацию о состоянии каждого участка. Результаты обработки данных аэрофотосъемки с БПЛА Геоскан включают снимки высокого разрешения, ортофотоплан и цифровую модель местности. По этим материалам можно определять плановые координаты и высоты опор ЛЭП над уровнем моря. Вы так же сможете составлять топографические и тематические карты. Такая основа пригодится при проектировании новых маршрутов ЛЭП и теплотрасс, реконструкции и строительстве объектов, определения наиболее пригодных подъездных путей.

Данные предоставлены с использованием сети интернет: ресурсов Google, Youtube, Wikipedia, тематических сайтов по энергетике и использовании беспилотников.

Литература:

1. http://www.irigs.irk.ru/download/BPLA_sbornik.pdf
2. <https://www.geoscan.aero/ru/application/energetics>

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭФФЕКТИВНОСТИ В ШКОЛЕ

А.Д. Кремзер, В.А. Николаев, А.А. Жданович
МБОУ Гимназия №14 «Университетская»,

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, alena.kremzer954@gmail.com, vasanik03@gmail.com**

В работе обоснована актуальность электросбережения и повышения электроэффективности в школе, представлен сравнительный анализ параметров различных искусственных источников света и результаты расчетов стоимости электроэнергии для здания школы с применением электроэффективных ламп и без них.

The paper substantiates the relevance of electrical energy saving and improving electrical efficiency in schools, presents a comparative analysis of the parameters of various artificial light sources and the results of calculations of the cost of electricity for the school building with and without the use of electro-efficient lamps.

По данным доклада Министерства экономического развития РФ [1], в 2021-2023 гг. тарифы на электроэнергию в среднем по стране ежегодно будут вырастать на 5%. Школы являются потребителями

большого количества электроэнергии, значительная часть которой приходится на освещение, и такой рост тарифов неизбежно скажется на их экономическом состоянии. Повышение электроэффективности в вопросе освещения экономит бюджетные средства, выделяемые образовательным учреждениям, путем снижения общих затрат на электроэнергию.

Задачей исследования является расчет экономии средств, затраченных на электроэнергию, требующуюся для освещения школы, при установке более электроэффективных источников света. Первоначальным этапом исследования было сравнение параметров различных ламп с целью определения наиболее подходящих для школы с точки зрения экономии.

Для повышения электроэффективности в школе были проанализированы три вида ламп, а именно:

- лампа накаливания – источник света с излучателем в виде проволоки (нити или спирали) из тугоплавкого металла, накаливаемой электрическим током до температуры 2500-3300 К;
- люминесцентная лампа – газоразрядный источник света, в котором видимый свет излучается в основном люминофором, который в свою очередь светится под воздействием ультрафиолетового излучения разряда;
- светодиодная лампа – источник света, основанный на светодиодах.

На рисунке 1 приведен сравнительный анализ трех источников света на основе их параметров, важных для исследования, с лучшими результатами, выделенными зеленым цветом.

№	Критерий	Лампа накаливания	Люминесцентная лампа	Светодиодная лампа
1	Срок службы, ч	1000	10000-15000	20000-50000
2	Светоотдача, лм/Вт	7-15	40-60	100-200
3	Цена	Низкая	Выше средней	Высокая
4	Расход электроэнергии	Большой	Маленький	Минимальный
5	Потребляемая мощность, Вт	40 Вт	15 Вт	5 Вт
6	КПД устройства	0.1	0.5-0.85	0.95

Рис. 1 – сравнительный анализ источников света

Для дальнейшего вычисления общей потребляемой источниками света мощностью был произведен подсчет ламп, установленных в здании Гимназии №14 “Университетская”, а также найдена их номинальная мощность. На диаграмме ниже (рис. 3) можно видеть результаты подсчета.

ИСТОЧНИКИ СВЕТА ГИМНАЗИИ №14 "УНИВЕРСИТЕТСКАЯ"

- Встраиваемая люминесцентная панель 36 Вт
- Люминесцентные софиты для подсветки доски 36 Вт
- Светодиодные лампы (не нуждаются в замене)

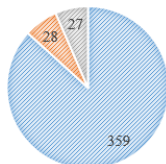


Рис. 2 – источники света Гимназии №14 «Университетская»

Далее, исходя из результатов анализа, была выбрана наиболее предпочтительная замена существующих в школе источников света:

- LED-светильник для школьных досок мощностью 20 Вт вместо люминесцентных софитов мощностью 36 Вт;
- Встраиваемая LED-панель мощностью 30 Вт вместо аналогичной люминесцентной панели мощностью 36 Вт.

Следующим шагом было вычисление общей потребляемой мощности, затраченной на освещение в течение рабочего дня, для обоих вариантов освещения (имеющегося и с заменой источников света на подобранные в результате анализа). На графике ниже (рис. 3) наглядно представлен уровень экономии средств при оплате электроэнергии (с учетом тарифа 2.68 рублей за кВт*час) после замены ламп на более энергоэффективные.



Рис. 3 – экономия при установке светодиодного освещения

Таким образом, благодаря замене существующих источников света на более электроэффективные, мы добьемся почти двухкратной экономии средств, затраченных на плату за электроэнергию. Применение подобной схемы в других учебных заведениях может, в зависимости от существующего в них уровня электросбережения, привести и к более высоким результатам. Повсеместная замена освещения на светодиодное приведет не только к экономии большой суммы бюджетных средств, но и внесет свой вклад в охрану окружающей среды (так как люминесцентные лампы требуют особой утилизации из-за содержания в них ртути)

В дальнейшем планируется произведение расчетов срока, за который окупится замена источников света, а также продолжение работы в данном направлении.

Литература:

1. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2021 год и на плановый период 2022 и 2023 годов [Доклад министерства экономического развития РФ]. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/956cde638e96c25da7d978fe3424ad87/Prognoz.pdf>. (Дата обращения: октябрь 2020).

2. Колесник Г.П. Электрическое освещение: основы проектирования. Учебное пособие / Владим. гос. ун-т – Владимир, 2006. – 128 с.

3. СП 251.1325800.2016 Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования.

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГЕНЕРАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ МЕТОДАМИ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

К.В. Кугаколова, И.И. Ковалев, Н.И. Вотинцев, П.В. Матренин
Школа № 2 "Спектр", г. Бердск
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, gewell91@gmail.com, ilkovalev240@gmail.com,
tetatet.nikvot@gmail.com

В работе представлен прототип разработанного программного обеспечения для построения и верификации регрессионных моделей, позволяющих на основании различных факторов построить прогноз генерации

солнечной панели или солнечной электростанции. Дано обоснование актуальности разработки и выбора используемых средств реализации.

The paper presents a prototype of the developed software for the building and verification of regression models that allow, based on multiple factors, to predict the generation of solar panels or solar power plants. The substantiation of the relevance of the development and selection of the used implementation tools is given.

Значимость альтернативных источников энергии растет с каждым годом, как в России, так и в мире. Для оценки потенциала установки солнечных панелей или строительства солнечных электростанций, а также для повышения уровня их генерации необходимо учитывать множество факторов, таких как: астрономическая солнечная инсоляция (зависит от географического положения); вероятная солнечная инсоляция (зависит от облачности); угол наклона и направление солнечных панелей; температура воздуха.

Например, для установки солнечных панелей можно привести следующие варианты [1]: установка солнечных батарей на неподвижную конструкцию под оптимальным углом; установка на двухосный трекер (поворотную платформу, которая может вращаться за солнцем в двух плоскостях); установка на одноосный трекер (платформа может изменять только одну ось, чаще всего – ту, что отвечает за наклон).

Из-за того, что для разных объектов факторы могут отличаться, а их влияние может быть нелинейным, возникает задача автоматизации построения моделей при работе над проектами в области солнечной энергетики как для экономической оценки проектов, так и для оптимизации выработки электроэнергии.

Целью работы является разработка программного обеспечения (ПО) для создания компьютерных моделей зависимости выработки солнечной энергии от различных факторов. Для этого необходимо:

- 1) изучить вопросы расположения солнечных панелей и регрессионные методы;
- 2) выбрать удобный способ реализации;
- 3) создать прототип программного обеспечения;
- 4) собрать данные для построения и верификации модели;
- 5) применить и отладить программное обеспечения на данных.

Для построения моделей требуемого класса необходимо использовать методы регрессионного анализа, который позволяет по данным парам значений зависимой переменной (y , в рассматриваемом случае уровень генерации) и независимых переменных (X , различные факторы) построить математическую зависимость между ними [2]. Регрессионным анализом называется поиск функции $f(X)$, которая

описывает эту зависимость в виде математических формул или компьютерной модели.

Для выполнения регрессионного анализа используются данные (вектор значений факторов, и вектор значений зависимой переменной из n элементов), полученные с объекта наблюдения. В общем виде задачу регрессионного анализа можно записать как построение $f(X)$ с целью

$$\sum_{i=1}^n (y_i - f(X_i))^2 \rightarrow \min$$

Существует множество моделей методов для решения этой задачи: линейная регрессия, полиномиальная регрессия, методы машинного обучения.

Выбран высокоуровневый язык программирования Python, позволяющий решать задачи простым и удобным способом в задачах Data Science [3]. Python интуитивно понятен, что позволяет быстро его освоить, ведь у него очень низкий порог для входа в изучение. Так, например, размер документации к языку C++ составляет 1376 страниц, в то время как для языка Python она составляет всего 506 страниц [3].

Командная работа требует получения быстрого ответа от каждого члена команды. И для этой цели отлично подходит Google Colab [4].

1. Google Colab – бесплатный ресурс.
2. Не требует скачивать и устанавливать сторонних программ, вся работа осуществляется непосредственно в браузере.
3. Позволяет работать всей команде одновременно над одним проектом, независимо от расстояния между ними.

В качестве средства сбора данных для работы использован установленный на факультете Энергетики НГТУ стенд-тренажер «Интеллектуальные энергетические системы СТИЭС-1 в расширенной комплектации» (рис. 1). На нем в рамках данной работы собираются данные для построения моделей и отладки разрабатываемого программного обеспечения, так как в нем есть возможность получать уровень генерации с солнечных панелей, меняя их положение относительно источников освещения, углы наклона по двум осям, а также сам уровень освещения панелей.



Рис. 1 – фото солнечных панелей стенда

Эксперименты по анализу, выбору и отладке регрессионных моделей на момент подачи тезисов не завершены, результаты будут представлены на самой конференции. На данный момент создан работающий прототип, который может быть использован для различных объектов, не только для используемого стенда. Он позволяет читать и визуализировать исходные данные, применять регрессионные модели Scikit-learn и оценивать их точность. Экранные формы показаны на рис. 2-3.

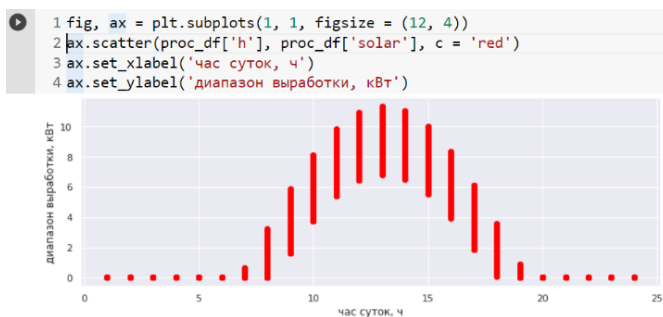


Рис. 2 – экранная форма разработанного ПО, визуализация зависимости выработки солнечной панели от часа суток

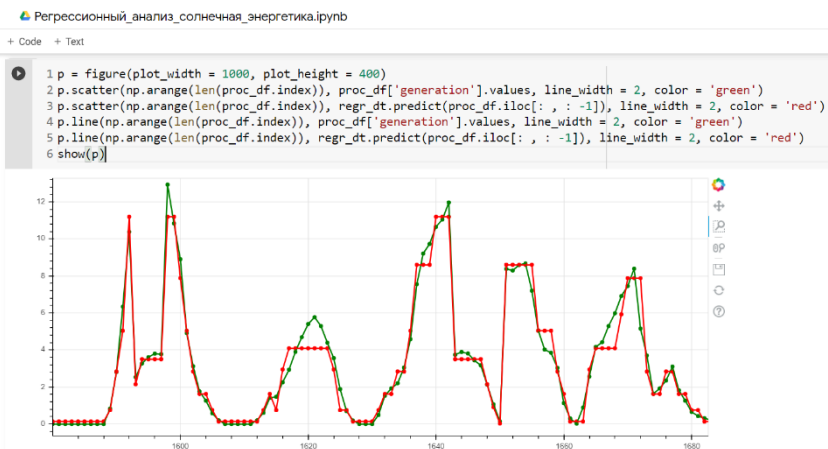


Рис. 3 – экранная форма разработанного ПО, сравнение построенной модели и собранных данных

До конца года планируется собрать дополнительные данные со стенда-тренажера, доработать и проанализировать регрессионную модель именно для него, описать программное обеспечение и выложить его в открытый доступ на GitHub.

Литература:

1. Угол наклона и ориентация солнечных батарей для максимальной производительности [Электронный ресурс] URL: <https://tcip.ru/blog/solar-panels/ugol-naklona-i-orientatsiya-solnechnyh-batarej-dlya-maksimalnoj-proizvoditelnosti.html>. (Дата обращения: сентябрь 2020).
2. Machine Learning. Регрессионный анализ [Электронный ресурс] URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Регрессионный_анализ. (Дата обращения: октябрь 2020).
3. Почему Python хорош для Data Science и разработки приложений [Электронный ресурс] URL: <https://tproger.ru/articles/python-for-software-development-and-data-science>. (Дата обращения: сентябрь 2020).
- 4) Google Colab – ваше рабочее пространство на Python в облаке [Электронный ресурс] URL: <https://www.machinelearningmastery.ru/google-colab-your-python-workspace-on-cloud-c3aed424de0d>. (Дата обращения: октябрь 2020).

ОЦЕНКА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИТАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ

К.М. Лямцев, Г.В. Баталова, В.А. Федосеева, Н.В. Зубова
Школа № 2 "Спектр", г. Бердск
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск vilet.sparkl@yandex.ru

В данной работе рассмотрена актуальность использования альтернативных источников электроэнергии, в данном случае источник - ветер, основанном на анализе ветропотенциала города Новосибирской области для питания отдельных объектов электроэнергией.

In this paper we consider the relevance of using alternative sources of electricity, in this case the source is the wind, based on an analysis of the wind potential of the city of Novosibirsk region to supply individual facilities with electricity.

В большинстве стран мира используется углеродное топливо, по типу угля, газа, нефти. При сжигании такого топлива выделяется большое количество вредных веществ, которые уходят в атмосферу, загрязняя ее и уничтожая привычные зоны обитания разных животных. Так же, такой источник энергии считается невозобновляемым, это говорит о том, что в ближайшем будущем, электроэнергию будет не от куда производить, что ведет за собой кучу других проблем.

С целью нивелирования данных проблем, было принята идея об использовании отдельных альтернативных источников энергии, которые не иссякнут в ближайшем будущем, такие как: солнце, вода, земля и ветер.

Если мы будем использовать альтернативные источники энергии, это позволит нам:

- 1) уменьшить загрязнение окружающей среды;
- 2) уменьшить себестоимость энергии, из-за чего уменьшится ее тариф;
- 3) позволит питать участки страны удалённые от источников энергии.

Первоначальным этапом оценки ветроэнергетического потенциала в Новосибирской области, стало изучение отдельных городов и объектов, нуждающихся в электроэнергии. Был выбран город, в котором мы проводили свои исследования, им оказался Бердск.

Для начала нужно было определиться с объектом, который можно и нужно будет обеспечить электроэнергией, производимой ВУЭ. Была выбрано учебное заведение МБОУ СОШ №2 "Спектр". Планировали

поставить на его крышу ветрогенераторы, для обеспечения меньших потерь при передаче.

Воспользовавшись данными сайта NASA, составили график скорости ветра на высоте в 10м от крыши школы (рис. 1).



Рис. 1 – график скорости ветра

Из графика видно, что чаще всего встречается ветер на скорости от 2 до 4 м/с. Такого ветра достаточно для стабильной генерации электроэнергии ветрогенераторами. Далее было изучено энергопотребление объекта изучения. По данным, предоставленным учебным заведением, потребление электроэнергии в месяц было в районе 10-11 МВт*час. Из этого был сделан вывод, что в среднем, в день ВЭУ должна будет производить 28,7 кВт*час.

Затем шёл выбор ветрогенераторов и анализ дополнительных условий их эксплуатации. Нами был выбран ветрогенератор горизонтально-осевого типа, а именно НУ-1000L (рис.2).



Рис. 2 – ветрогенератор НУ-1000L

Так как ветрогенератор горизонтально-осевой, нужно было определиться, в какую сторону света ставить его лицом. Для этого мы нашли розу ветров Бердска (рис.3), розу ветров Новосибирска (рис. 4), сравнили их, и пришли к мнению, что они идентичны.

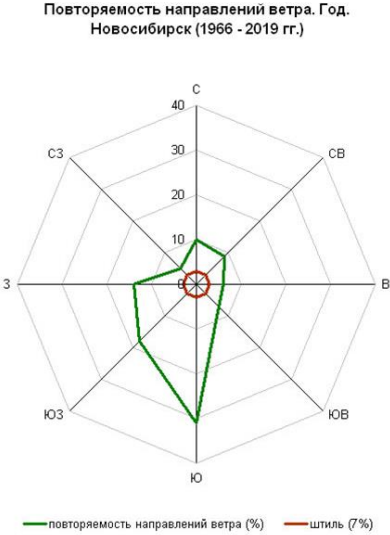


Рис. 3 – роза ветров г. Бердска

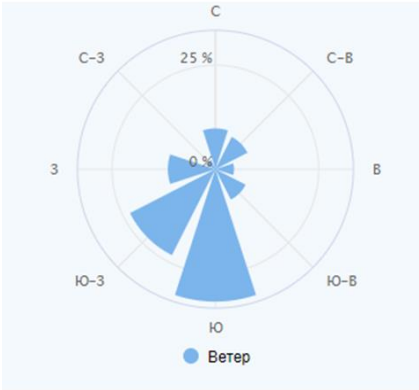


Рис. 4 – роза ветров г. Новосибирска

Теперь мы знаем, как ставить ВЭУ, в какую сторону ее направить. Воспользовавшись программой для расчёта выработки электроэнергии ВЭУ на высоте 10 метров в количестве 17 штук, мы получили вот такой график (рис.5), показывающий, что такого кол-ва установок будет достаточно. Падения в летние месяцы является допустимым, потому что в это время энергопотребление объекта уменьшается практически вдвое.

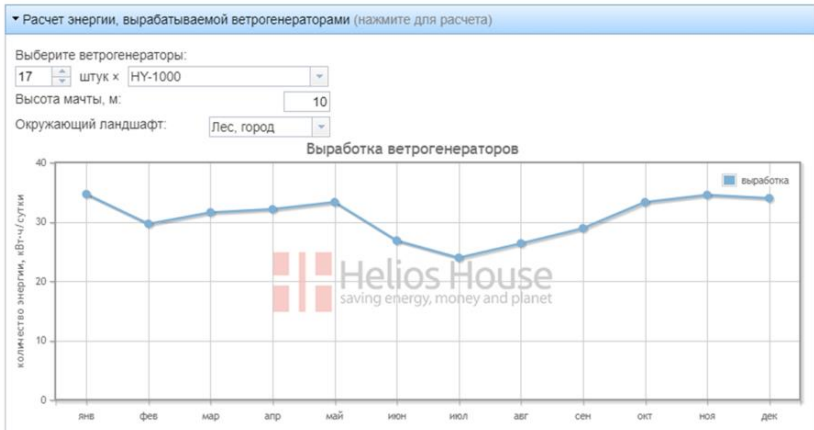


Рис. 5 – график выработки энергии

Далее стоял вопрос об экономической выгоде данной установки. Стоимость каждого такого ветрогенератора составляет 172 560 рублей (2232,34 долларов), а их у нас 17, это значит, что на покупку ветрогенераторов уйдёт 2 933 520 рублей (37 949,81 долларов), а также еще 20% от суммы на дополнительное оборудование, и затем еще 20% на установку и обслуживание, получаем - 4 224 269 рублей (54647,72 долларов) - начальный бюджет.

Следующим нашим шагом стал расчёт срока окупаемости данной установки за счёт чистой прибыли при продаже лишней электроэнергии в сеть и неуплату школой электроэнергии за каждый месяц в среднем 37000 рублей, а также инфляцией рубля в размере 8% процентов в год. Мы получим такой график (рис. 6), в котором наглядно видно, что окупится такой проект примерно через 65-66 лет, что очень долго.

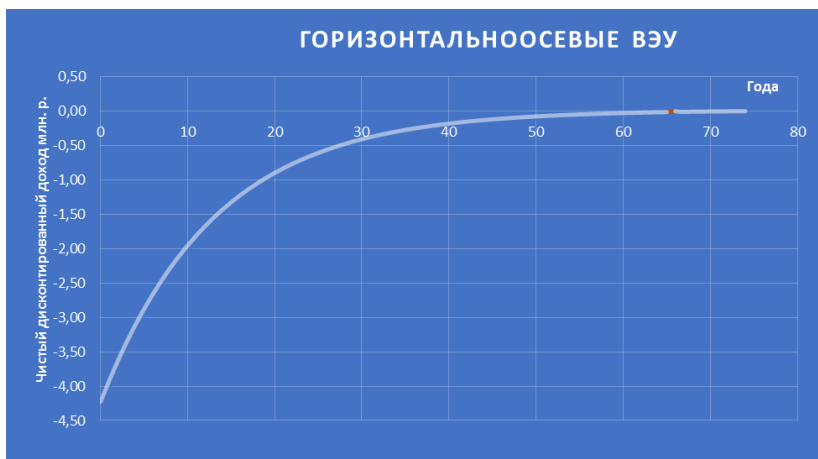


Рис. 6 – график окупаемости

Из этого можно сделать вывод, что использовать ветрогенераторы вблизи объектов, нуждающихся в энергоснабжении, не выгодно. Стоит присмотреться к другим альтернативным источникам.

Литература:

1. <https://www.helios-house.ru/on-line-kalkulyator.html>
2. <https://www.helios-house.ru/vetrogenerator/427-vetrogenerator-1000vatt-48-volt-s-pyatyu-lopastyami/view-details.html>
3. <https://world-weather.ru/archive/russia/berdsk/>
4. <http://www.meteo-nso.ru/pages/53>
5. <https://power.larc.nasa.gov/>

РАЗРАБОТКА ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ «ШИШКА»

Г.А. Синицын, С.А. Татаринев, Д.П. Башкиров, А.А. Жданович
Гимназия №14 «Университетская»,
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск vilet.sparkl@yandex.ru

Работа посвящена исследованию степени необходимости зарядных станций(ЗРС) на возобновляемых источниках энергии(ВИЭ) в Новосибирской области, и включает в себя расчет солнечной инсоляции на территории г. Новосибирска и электрической мощности фотопанелей(ФЭП), выбор марки

генерирующего оборудования, анализ капитальных вложений, а также пример дизайна станции и разработку программного обеспечения для нее.

This study examines the extent necessary charging stations(ZRS) on renewable energy sources(RES) in the Novosibirsk region, and includes calculation of solar insolation on the territory of Novosibirsk and electrical power panels (solar cells), the choice of the brand of the generating equipment, the analysis of capital investments, as well as an example of the design and development of software for her.

Сегодня сложно представить свой день без сотового телефона или иных мобильных гаджетов, а жители такого большого и динамично развивающегося города, как Новосибирск, проводят большое количество времени вне дома, в общественных местах. Поэтому размещение на территории города зарядных станций повысит уровень комфорта населения и может стать визитной карточкой нашего города. С ростом количества девайсов увеличивается и потребление электроэнергии. К тому же, в последнее время растет и обеспокоенность населения экологическими проблемами, причиной которых является сжигание ископаемого топлива, т.е. традиционная энергетика. Уже сейчас необходимо развивать генерацию на Нетрадиционных и Возобновляемых Источниках Энергии и, т.е. неисчерпаемых ресурсах. Поэтому одна из целей этого проекта – привлечение внимания общественности к ВИЭ. Именно поэтому источником электрической энергии для нашей зарядной станции являются фотоэлектрические панели, работающие на солнечной радиации. Подобные зарядные станции уже внедрены в некоторых странах, например в США, Канаде и Израиле.

С официального сайта NASA была взята инсоляция. И при помощи сайта <https://planetcalc.ru/320/> рассчитаны азимут и высота Солнца. Затем, благодаря этим данным была рассчитана суммарная инсоляция за средний день (рис.1) и энергию, которую вырабатывают панели за сутки в нашем регионе, исходя из этого и результатов опроса, рассчитали оптимальное количество портов. Коэффициенты используемой мощности показывают, насколько одновременно используется электроприемники. Для обеспечения безопасного использования ЗРС был предусмотрен заземляющий контур.



Рис.1 – график инсоляция в НСО

Таблица 1. Основные комплектующие и их коэффициент использования

	Кабели	QC 3.0	Розетка	Освещение	Камера	Дисплей	Кабели зимой
Мощность 1 порта, Вт	10	18	220	1	4	30	10
Кол-во портов, шт.	7	1	2	20	1	1	5
Коэффициент исп.	0,9	0,8	0,4	0,4	0,9	1	0,7
Мощность, Вт	63	14,4	176	8	3,6	30	35

По данным соц. опроса необходимо предусмотреть возможность подключения потребителей переменного тока на напряжении 220 В и постоянного тока на напряжении 5 В. Разработанная электрическая схема установки представлена ниже.



Рис. 2 – электрическая схема

Будет использован контроллер заряда MPPT Epsolar IT3415ND и преобразователь напряжения 12/220 Airline мощностью 1000 Вт. Также в качестве аккумуляторов были выбраны Li-ion аккумуляторы из за большой плотности энергии, температурного диапазона (от -20 до +50) и большого количества циклов заряда-разряда (2000-7000) В качестве монитора был выбран монитор Монитор YJKK170E1T1 – DV - TR с диагональю 17” и потребляемой мощностью 30 Вт. В качестве подсветки будут использованы светодиоды arlight на 1 Вт с цветовой температурой 3200 К.

Каждый город имеет свою ассоциацию. С чем ассоциируется Новосибирск и вся Сибирь в целом: холод, снег, лес, тайга. Таким образом, за основу формы мы взяли модель кедровой шишки. Эскиз объекта будет содержать две шишки и 3 хвойные ветви с ФЭП. Представленный дизайн ЗРС подразумевает размещение трех ФЭП (рис. 3), в связи с чем были выбраны панели фирмы Хевел (HVL-320/НТ) российского производства, с номинальной мощностью 320 Вт. С учетом ресурсов солнца для НСО была рассчитана энергия, вырабатываемая панелями за типовой световой день.

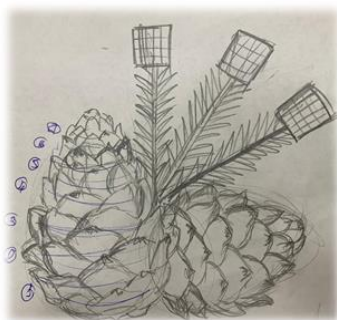


Рис. 3 – эскиз зарядной станции

Главными материалами были выбраны: сталь, дерево, углепластик; и рассчитано их количество. Создана 3D модель объекта (рис.4) и сделали макет.

Главная шишка: она будет разделена на 7 рядов чешуек и почти каждая будет нести отдельное значение. Первый ряд это каркас самой шишки ее основание. Второй ряд это шесть откидных стульев. Ширина у основания стула: 64 см и высота 60 см, 3-ий ряд откидные столики 4 шт через одну ячейку. 4-ый ряд откидные ячейки для зарядки телефона

плюс интерфейс. 5 и 6 ряд имитация ячеек. Высота шишки 2.10м диаметр у основания 1.5м .

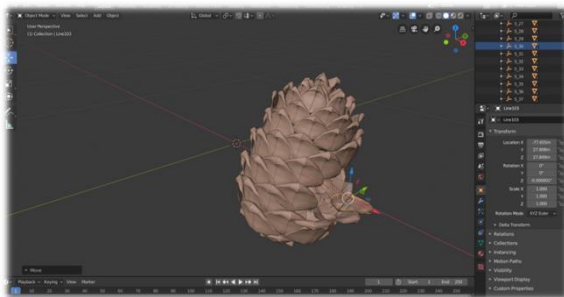


Рис. 4 – 3D-модель зарядной станции

Вторая шишка будет нести чисто технический характер, то есть в ней будет находиться генерирующее оборудование и системы накопления энергии.

Итоговая стоимость одной зарядной станции “Шишка” составляет 3,544 млн. рублей, включая все комплектующие, рекламу, монтажные работы и непредвиденные расходы.

Разработка комплексного проекта стационарных зарядных станций для сотовых телефонов, портативных компьютеров, наушников и прочих переносных цифровых устройств, питающихся от нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для установки в общественных местах г. Новосибирска.

Практическая значимость результатов - создание зарядной станции. Возможности эффективного использования результатов проекта - установка данных зарядных станций по городу Новосибирску.

Литература:

1. Инсоляция Новосибирской области [Электронный ресурс]. URL: <https://planetcalc.ru/320/>. (Дата обращения: ноябрь 2019).
2. Удалов С. Н. Возобновляемая энергетика. – НГТУ. – Новосибирск, 2016. – 606 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРОНОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ. ОСМОТР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

**Е.В. Толкачева, И.В. Тренин, Г.Д. Ощепков,
В.В. Самохвалов, Г.А. Сорокин
Школы №№ 80, 112, 165, 179, г. Новосибирск,
dimkaromanov87@gmail.com**

Целью работы является с помощью дронов, находясь на земле, подлететь достаточно близко к ЛЭП и произвести осмотр в самых труднодоступных участках на территории Новосибирской области, сбор данных из снятых материалов, таких как фото и видеосъемка. Также будет проведен сопоставительный анализ этих данных.

The aim of our work is to fly as close as possible to a power line with the help of a drone and make inspection in hard to reach areas on the territory of the Novosibirsk region, collecting data from footage, such as photography and video filming. Also, we are going to make a comparative analysis of the data.

Воздушные линии электропередачи (ВЛ) нуждаются в регулярном осмотре – не реже, чем раз в полгода. Сопротивление соединений проводов, состояние изоляции, заземляющих устройств и конструктивных элементов, окружающее пространство ВЛ и линий связи – все эти составляющие требуют осмотра или измерения. Обычно непосредственный осмотр каждого участка проводится электромонтерами, что требует больших затрат времени и средств. Сократить расходы можно с помощью беспилотных лётных систем.

Маневренный и компактный дрон поднимается к самым труднодоступным для человека опорам ВЛ и подлетает достаточно близко. Бортовая телевизионная камера разрешения Full 4K на стабилизирующем подвесе передает оператору фото и видео в режиме реального времени или записывает с привязкой к координатам. Такой осмотр выявляет видимые повреждения. Кроме того, возможно составлять схемы и ортофотопланы (при наличии смотрящей вниз камеры).

Для нахождения износа в соединениях проводов и в изоляции вместо телекамеры на дрон устанавливают тепловизор. Участки проводов с повышенным сопротивлением отличаются от остальных цветом или насыщенностью термограммы. При таком осмотре нет необходимости обесточивать линии.

Для выполнения качественного осмотра ВЛ дрон должен соответствовать следующим требованиям:

- располагать системой GPS-навигации;

- оставаться стабильным во время полета, несмотря на значительный вес дрона и камер;
- иметь подвес с гибкой регулировкой угла наклона камеры;
- иметь крепление для дополнительной (тепловизионной) камеры (опционально) или сдвоенный подвес для обеих камер;
- использовать программное обеспечение, позволяющее экспортировать результаты для дальнейшей обработки в других программах;
- быть способным находиться в воздухе значительное количество времени.

В этих условиях внедрение дрона предназначенного для оперативного определения повреждений и состояния ВЛ и передачи этой информации потребителям, позволит достичь:

- **скорость и своевременность.** Вместо длительного визуального осмотра достаточно выполнить облёт линии по маршруту и сделать серию детальных фотографий, в дальнейшем доступных для анализа в спокойной обстановке. Полученная информация может быть использована в тот же день для принятия решения о выезде ремонтной бригады.
- **работа без создания сложностей для повседневной жизни людей.** Машина с подъёмником создаёт затруднения в автомобильном и пешеходном движении. Дрон лишён этого недостатка, поскольку находится в воздухе.
- **доступ ко всем участкам.** Далеко не всегда высоковольтные сети доступны для осмотра с земли. Дрон позволяет выполнять инспекцию на расстоянии до 15 километров от оператора, находящегося на одном месте.
- **оптимизация затрат.** При грамотном планировании, один подготовленный оператор выполняет тот же фронт работ, что бригада с большим количеством дорогого в обслуживании и громоздкого оборудования.
- **диагностика в различных диапазонах.** Сопоставление термальных и RGB-снимков даст больше информации по сравнению с традиционными методами.

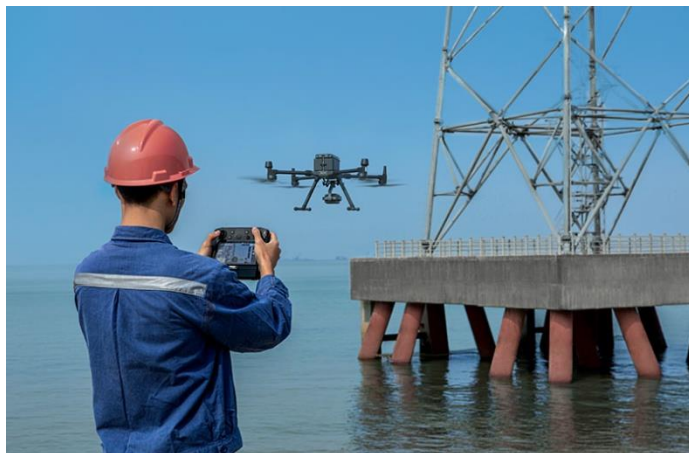


Рис. 1 – осмотр опоры с помощью дрона

Как и в других сферах применения, ввод в эксплуатацию БПЛА для осмотра воздушных линий существенно повышает эффективность и уменьшает затраты времени, причем, чем большего размера объект, тем выше КПД приведенного метода по сравнению с привычными способами осмотра. Таким образом, регулярный осмотр ЛЭП с помощью дронов гарантирует своевременное устранение неполадок, бесперебойную передачу электрической энергии и безопасность для обслуживающего персонала линий.

Данные предоставлены с использованием сети интернет: ресурсов Google, Youtube, Wikipedia, тематических сайтов по энергетике и российских беспилотников.

Литература:

1. <https://3dnews.ru/about>
2. <https://www.geoscan.aero/ru/application/energetics>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРОНОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ. ДРОН С ОГНЕМЕТОМ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ МУСОРА С ВЛ

**А.В. Уткин, С. Куклов, А.Н. Мирошников,
С.В. Сороченко, С.П. Веселов**
Школы №№ 80, 112, 165, 179, г. Новосибирск,
dimkaromanov87@gmail.com

Целью работы является использование дронов, с искусственным интеллектом, для уничтожения мусора на ЛЭП, находясь на земле, подлететь достаточно близко к ЛЭП и сжечь мусор в самых труднодоступных участках на территории Новосибирской области.

The aim of our work is to use drones with artificial intelligence to destroy rubbish on power lines while a man are on the ground, fly as close as possible to power lines and burn rubbish on hard to reach areas on the territory of the Novosibirsk region.

Воздушные линии электропередачи (ВЛ) — основное и практически единственное средство «доставки» электроэнергии от атомных и крупных гидроэлектростанций к большим городам и промышленным зонам. Протяженность ВЛ достигает сотен километров, поэтому их состояние проверяется чаще всего визуалью и с помощью тепловизоров, которые «замечают» аномальные повышения температуры в изоляторах, для замены которых направляются ремонтные бригады. Как правило, для удаления мусора привлекаются сотрудники энергетических компаний, которые снимают его вручную из люльки телескопической автовышки. Такой метод прост, однако обладает ощутимыми недостатками — в каждом месте скопления мусора необходимо раскладывать упоры и поднимать люльку, на что уходит 5-10 минут.

Изоляторы находятся на опорах ВЛ и к ним довольно просто добраться, а вот к мусору (ветки деревьев, тряпки, обрывки веревок, множество пластиковых пакетов и т. п.), который зацепился на проводах, не доберешься. Очищать же провода от мусора приходится, поскольку его наличие обуславливает потери передаваемой электроэнергии вследствие токов утечки, а в дождливую погоду мусор может стать причиной искровых разрядов, приводящих к короткому замыканию фаз ВЛ. Но после каждой очистки пластиковые пакеты тут же восполняют ряды своих предшественников (особенно быстро вблизи больших городов).

Использование дронов для очистки ВЛ снижает риск поражения током, и занимает меньше времени по сравнению с ручным сбором мусора. Хотя обжигание силовых проводов выглядит опасным, огнемётный дрон не может повредить проводам, сделанным из стали,

покрытой алюминием. Пламя возникает резко, а почти все, что висит на проводах, обычно состоит из пластика. Обычно мусор сгорает так быстро, что провода не успевают нагреться.

Для выполнения качественной очистки ВЛ дрон должен соответствовать следующим требованиям:

- располагать системой GPS-навигации;
- оставаться стабильным во время полета, несмотря на значительный вес дрона и огнемёта;
- использовать программное обеспечение, позволяющее управлять огнемётом;
- быть способным находиться в воздухе значительное количество времени;
- оснащён системой подачи легковоспламеняющейся жидкости и системой зажигания. (огнемёт);
- быть способным поднимать и удерживать вес огнемёта.

В этих условиях внедрение дрона предназначенного для оперативного удаления мусора с ВЛ и передачи этой информации потребителям, позволит достичь:

- скорость и своевременность. Вместо длительного раскладывания упоров и поднятия люльки, достаточно выполнить облёт линии по маршруту и уничтожить мусор;
- работа без создания сложностей для повседневной жизни людей. Машина с подъёмником создаёт затруднения в автомобильном и пешеходном движении. Дрон лишён этого недостатка, поскольку находится в воздухе;
- доступ ко всем участкам. Далеко не всегда высоковольтные сети доступны для осмотра с земли. Дрон позволяет уничтожить мусор на расстоянии до 15 километров от оператора, находящегося на одном месте;
- оптимизация затрат. При грамотном планировании, один подготовленный оператор выполняет тот же фронт работ, что бригада с большим количеством дорогого в обслуживании и громоздкого оборудования.



Рис. 1 – уничтожения мусора с помощью дрона

Как и в других сферах применения, ввод в эксплуатацию БПЛА для удаления мусора с воздушных линий электропередачи существенно повышает эффективность и уменьшает затраты времени. В китайском городе Санъян, провинция Хубэй, успешно прошли испытания дрона с огнеметом, который предназначен для удаления мусора с воздушных линий электропередачи.

Данные предоставлены с использованием сети интернет: ресурсов Google, Youtube, Wikipedia, тематических сайтов по энергетике и использовании беспилотников.

Литература:

1. <https://3dnews.ru/about>
2. <https://www.geoscan.aero/ru/application/energetics>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРОНОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ. ДРОН ДЛЯ ОХРАНЫ ЛЭП

**А.А. Филатов, Д.С. Матгов, Д.А. Прворотов,
М.А. Шайхеева, А.С. Двойнишников
Школы №№ 80, 112, 165, 179, г. Новосибирск,
dimkaromanov87@gmail.com**

Целью работы является использование дронов, с искусственным интеллектом, для охраны периметра режимных объектов энергетического сектора, на территории Новосибирской области.

The aim of the work is to use drones with artificial intelligence to guard the perimeter of secure facilities in the energy sector in the Novosibirsk region.

Начинающая компания Artonomy разработала беспилотную технологию, которая может сделать невозможными для простых смертных побег из тюрьмы, грабежи или любого рода злонамеренные вторжения. Этого своего рода «летающего охранника» компания создала на основе часто используемого кинематографистами и оснащенного видеокамерами восьмивинтового беспилотного вертолета DJI S-1000 +. (в рамках данного пректа мы используем квадрокоптер «Страж» с элементами искусственного интеллекта).

Для связи с базовой конструкцией Artonomy добавляет новую систему управления полетом и второй компьютер для обработки картинки с камер дневного и ночного видения, а также яркие проекторы и акустические системы. И, что еще более важно, чем аппаратные функции, Artonomy разработала искусственный интеллект и навигационные системы, которые позволяют этому беспилотнику летать низко и быстро, избегая препятствий и обнаруживая в автономном режиме движения людей, распознавая лица и номера автомобилей.

Пользователь может открыть браузер, зайти в интерфейс Artonomy, выбрать точку на карте, чтобы отправить туда беспилотный аппарат, а затем наблюдать полет в режиме реального времени или просмотреть запись о нем позже. Дроны Artonomy могут быть запрограммированы на патрулирование мест, где детектор движения обнаруживает подозрительную активность. Эти дроны не только самостоятельно летают. По мере разрядки батареи, они летят обратно к зарядной станции для подзарядки.

Основатели Artonomy Михаил Пивторайко и Сиддхарт Санан уже хорошо известны в этой отрасли. Перед основанием Artonomy оба получили степень доктора в Институте робототехники при Университете Карнеги - Меллона. Пивторайко ранее работал в Лаборатории реактивного движения NASA, в компаниях Lockheed Martin и Intel. А Санан занимался программным обеспечением в области робототехники.

Они объяснили, что большинство коммерческих беспилотников, летающих на высоте около 100 метров, способны выполнять картографирование местности. Но они не могут воспринимать человеческие лица, как должны это делать охранники.

В то же время, полупрофессиональные беспилотники с камерами, которые летают ниже, не имеют датчиков контроля движения и восприятия, необходимых для безопасной навигации без управления со стороны удаленного пилота в таких сложных условиях полета, как

вблизи высотных сооружений, вышек сотовой связи и высоковольтных ЛЭП.

Дроны Artonomy патрулируют заданную зону и могут использоваться для охраны на удалении сотни или тысячи километров. Они могут записывать подозрительную активность, высвечивать злоумышленников с помощью прожекторов, позволяют поддерживать с нарушителем через громкоговорители удаленную двустороннюю связь, и вообще способны отпугнуть потенциальных нарушителей спокойствия своим угрожающим присутствием в воздухе.

В этом году одна энергетическая компания уже предварительно заказала дроны Artonomy для использования на нефтеперерабатывающих заводах. Нефтеперерабатывающие заводы находятся в труднодоступных местах, где затруднено патрулирование живыми охранниками. Но они могут являться мишенью для атак.



Рис. 1 – дрон-охранник

Компании с большим количеством предприятий могут использовать такие беспилотники, чтобы дополнить или даже заменить службы охраны. При использовании дронов Artonomy решаются все проблемы относительно соблюдения законодательства, как сказал Санан, они могут быть запрограммированы на приближение к взломщикам с соблюдением всех законов и протоколов. В этот перечень входят освещение, видеозапись, если это возможно, использование голосовых предупреждений перед зависанием над злоумышленником или перед физическим воздействием на него.

Данные предоставлены с использованием сети интернет: ресурсов Google, Youtube, Wikipedia, тематических сайтов по энергетике и использовании беспилотников.

Литература:

1. <https://3dnews.ru/about>
2. <https://www.geoscan.aero/ru/application/energetics>

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ЭНЕРГЕТИКА

Секция СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Антонова Ю.И., Красильникова Т.Г.	Новосибирск	3
Ахметшин Р.И.	Нижнекамск	8
Балуев Д.Ю., Кирьянова Н.Г., Зырянов В.М.	Новосибирск	12
Башкиров Д.П., Митрофанов С.В.	Новосибирск	17
Боярова Д.А., Левин В.М.	Новосибирск	21
Гайсин Н.Р., Денисов Е.С.	Казань	25
Гриньков А.Д., Стрельников Н.А.	Новосибирск	27
Дулов И.В., Фишов А.Г.	Новосибирск	31
Жукова Е.С., Мышкина Л.С., Бык Ф.Л.	Новосибирск	35
Исхаков А.Ф., Любченко В.Я., Павлюченко Д.А.	Новосибирск	38
Махмудов К.А., Красильникова Т.Г.	Новосибирск	42
Морозова О.Н., Павленко А.А., Титов С.С.	Бийск	46
Мурашкина И.С., Марченко А.И., Фишов А.Г.	Новосибирск	50
Муханова П.П., Грачева Е.И.	Казань	53
Правикова А.А.	Томск	56
Прокопов А.В., Лесс В.М.	Новосибирск	60
Сабадаш И.А., Мышкина Л.С., Какоша Ю.В.	Новосибирск	64
Саидов С.А.	Новосибирск	68
Сапцына Е.Ю., Абеуов Р.Б.	Томск	71
Сафронов Г.С., Прялкин М.О., Григоркин Б.О.	Новосибирск	75

Степанович Р.Ю., Фролов М.Ю.	Новосибирск	78
Тошматов У.Т., Долгов А.П.	Новосибирск	83
Федоров И.С., Причетников А.В., Тищенко И.А.	Новосибирск	86
Хамзин А.А., Тумаева Е.В.	Нижнекамск	90
Хатыленко Р.М., Зырянов В.М.	Новосибирск	94

**Секция РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА,
ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ,
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Алин Г.В., Качесов В.Е.	Новосибирск	98
Андерс М.А., Осинцев А.А.	Новосибирск	102
Аристархов С.Д., Осинцев А.А.	Новосибирск	105
Бахтиева С.А., Столяров А.Л., Литвинов И.И.	Новосибирск	109
Белова О.С., Калужная С.Р., Кившар Т.К.	Новосибирск	113
Гулмамадов М.С., Глазырин В.Е.	Новосибирск	117
Иванов Н.А., Прибыльский И.В., Смоленкова Е.А.	Новосибирск	121
Камусин М.И.	Ноябрьск	125
Клименко В.В., Грибанов А.А.	Барнаул	129
Литвинов И.И., Корнилович Д.В., Марченко А.А.	Новосибирск	133
Косарева А.С., Трофимов А.С.	Новосибирск	137
Лесс В.М., Прокопов А.В.	Новосибирск	140
Литвинов И.И., Марченко А.А., Корнилович Д.В.	Новосибирск	144
Глазырин В.Е., Мизюн М.В.	Новосибирск	148
Муравьев Г.Г., Грачёва Е.И.	Казань	151
Пехота Д.А., Фёдорова В.А., Титов В.А.	Новосибирск	154
Прибыльский И.В., Рудюк И.Ф., Иванов Н.А.	Новосибирск	157

Литвинов И.И., Титов В.А., Трофимов А.С.	Новосибирск	161
Фёдорова В.А., Пехота Д.А., Глазырин Г.В.	Новосибирск	164
Осинцев А.А., Филатов Р.В.	Новосибирск	168
Елаев М.В., Хальясмаа А.И.	Екатеринбург, Новосибирск	172

Секция ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Волков Н.И., Богомолов А.Р.	Новосибирск	177
Ворогушина Н.И., Щинников П.А.	Новосибирск	179
Воронкова А.С., Боруш О.В.	Новосибирск	184
Дарбинян А.Г., Кривоножникова П.В.	Самара	188
Зонов П.В.	Новосибирск	192
Кузьменко Н.С., Табакаев Р.Б.	Томск	195
Мальшев И.А., Григорьева О.К.	Новосибирск	198
Миронова Н.В., Елистратов С.Л.	Новосибирск	201
Мошкирева А.С., Григорьева О.К.	Новосибирск	204
Павлычев С.А., Григорьев Е.Ю.	Иваново	206
Просветлюк В.В., Шарков Н.В.	Барнаул	208
Соболев И.С., Бранфилева А.Н.	Самара	212
Степанов А.Ю., Боруш О.В.	Новосибирск	215
Благин Е.В., Усков И.А., Кузнецова Е.П., Бадьков Р.Р.	Самара	219
Благин Е.В., Усков И.А., Кузнецова Е.П., Бадьков Р.Р.	Самара	222
Хазиев Р.И., Стрельникова П.В., Григорьева О.К.	Новосибирск	225
Хорева В.А., Елистратов С.Л.	Новосибирск	227

Секция *МЕНЕДЖМЕНТ В ЭНЕРГЕТИКЕ*
И В ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ

Быстров А.Д., Гришина Е.А.	Новосибирск	231
Васильев А.А., Мятеж Т.В., Секретарев Ю.А.	Новосибирск	234
Квиташ А.В., Крылова Е.В.	Новосибирск	239
Ключагина А.С., Дюбанов Г.Н.	Новосибирск	243
Кузмин В.А., Троянова Е.Н.	Новосибирск	248
Троянова Е.Н., Кутафин Л.Д.	Новосибирск	252
Мянд Я.А., Гришина Е.А.	Новосибирск	255
Надь С.С., Троянова Е.Н.	Новосибирск	258
Нарцызова А.С., Юдина Л.Н.	Новосибирск	262
Нарцызова А.С., Дюбанов Г.Н.	Новосибирск	264
Попова Т.А., Стародубцева О.А.	Новосибирск	267
Работа Е.К., Работа Д.К., Сенченко Е.В.	Новосибирск	271
Сафронов Г.С., Кравченко А.В.	Новосибирск	275
Уварова С.А., Мошкин Б.Н.	Новосибирск	279
Усин Д.В.	Иваново	282

СЕКЦИЯ *НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ*
ГЛАЗАМИ БУДУЩИХ ПОКОЛЕНИЙ ПРОФЕССИОНАЛОВ

Барков Д.И., Глуховченко А.А., Долгуев Е.В., Ефремова В.В., Скраденов Д.И.	Новосибирск	285
Кремзер А.Д., Николаев В.А., Жданович А.А.	Новосибирск	288
Кугаколова К.В., Ковалев И.И., Вотинцев Н.И., Матренин П.В.	Бердск, Новосибирск	291
Лямцев К.М., Баталова Г.В., Федосеева В.А., Зубова Н.В.	Бердск, Новосибирск	296
Синицын Г.А., Татаринцов С.А., Башкиров Д.П., Жданович А.А.	Новосибирск	300

Толкачева Е.В., Тренин И.В., Ощепков Г.Д., Самохвалов В.В., Сорокин Г.А.	Новосибирск	305
Уткин А.В., Куклов С., Мирошников А.Н., Сороченко С.В., Веселов С.П.	Новосибирск	308
Филатов А.А., Матгов Д.С., Проворотов Д.А., Шайхеева М.А., Двойнишников А.С.	Новосибирск	310

НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ
Сборник научных трудов в 9 частях

г. Новосибирск, 30 ноября-04 декабря 2020 г.
Часть 4
Под ред. Гадюкиной А.В.

Подписано в печать 16.12.2020. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Уч.-изд. л. 18,6. Печ. л. 20. Тираж 100 экз. Заказ № 39
Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

