

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

ЭНЕРГЕТИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**ВТОРАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

Тезисы докладов

(21–22 декабря 2016 г.)

Научное электронное издание комплексного распространения



**Тамбов
Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2016**

УДК 658.26
ББК 31.3
Э61

Редакционная коллегия:

Т. И. Чернышова – ответственный редактор,
С. Н. Баршутин – зам. ответственного редактора,
В. Ф. Калинин, Н. П. Жуков, А. В. Кобелев

Э61 **Энергетика.** Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] : тезисы докладов Второй Всероссийской студенческой научной конференции / под ред. Т. И. Чернышовой и др. ; Вторая Всерос. студенческая науч. конф., 21–22 декабря 2016 г., Тамбов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод. – 00,0 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана. – 100 шт.

ISBN 978-5-8265-1667-6

Представлены тезисы докладов участников Второй Всероссийской студенческой научной конференции «Энергетика. Проблемы и перспективы развития», в которых раскрываются вопросы генерации, транспортировки использования тепло- и электроэнергии в различных системах.

Материалы могут быть полезны студентам-исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

УДК 658.26
ББК 31.3

*Авторская позиция и статистические особенности публикаций
полностью сохранены.*

ISBN 978-5-8265-1667-6

© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический
университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2016

Секция 1
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА.
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ТУМАНООБРАЗОВАНИЯ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГТУ**

Аль Байяти Лайт Амер Абдулраззак

Тамбовский государственный технический университет

Производительность газотурбиной установки (ГТУ), её эффективность и генерируемая мощность сильно зависят от климатических условий, которые могут снизить выходную мощность до 40% [1].

Для повышения эффективности работы ГТУ в условиях жаркого климата применяют различные технологии по охлаждению воздушного потока на входе в компрессор ГТУ. Каждая конкретная технология имеет свои преимущества и недостатки в соответствии с различными факторами, такими как условия окружающей среды, инвестиционные затраты и время окупаемости, увеличение выходной мощности и мощности охлаждения.

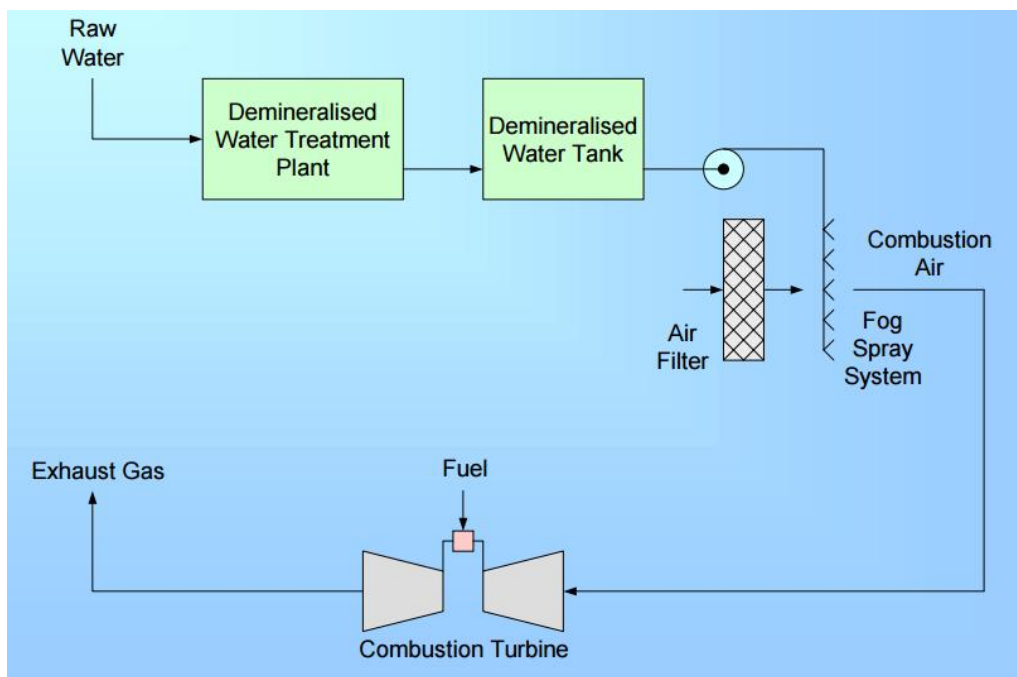
В настоящее время наиболее популярной технологией является технология туманообразования. По состоянию на 2015 г. насчитывалось более 1000 противотуманных систем, установленных на ГТУ по всему миру [2]. Во многом такая популярность обусловлена преимуществами использования таких систем: низкие капитальные затраты; низкие эксплуатационные затраты; простота в монтаже и эксплуатации; незначительное падение давления воздушного потока; уменьшение выбросов оксидов азота.

Принципиальная схема охлаждения воздуха на входе в ГТУ с использованием системы туманообразования представлена на рис. 1.

Принцип работы основан на том, что деминерализованная вода насосом высокого давления поступает в воздухопровод через специальные туманообразующие форсунки (насадки). Поток воды, проходя через насадки, распыляется, при этом около 90% потока воды имеют размер капель до 20 мкм [3].

Одновременно наблюдается эффект «молниеносного испарения», благодаря чему и понижается температура воздуха. Этот эффект называют термодинамическим. Его эффективность объясняется тем, что на испарение воды расходуется большое количество тепловой энергии. Отток этой энергии, требуемой для осуществления фазового перехода (испарения), как раз и приводит к снижению температуры.

Использование деминерализованной воды необходимо для того, чтобы предотвратить засорение лопаток компрессора, которое имело бы место, если вода с содержанием минеральных веществ выпаривалась в потоке воздуха.



**Рис. 1. Схема охлаждения воздуха на входе в ГТУ
с использованием системы туманообразования**

Несмотря на ряд преимуществ, у данной технологии есть и недостатки, такие как низкая эффективность использования в условиях влажного климата, сравнительно невысокая эффективность охлаждения воздушного потока по сравнению с другими технологиями.

Библиографический список

1. **Thamir, K.** (18 February 2011). Improvement of gas turbine performance based on inlet air cooling systems: A technical review / K. Thamir, M. M. Ibrahim, Rahman and Ahmed N. Abdalla // International Journal of Physical Sciences. – V. 6(4). – P. 620 – 627.
2. **Savic, S.** High Fogging Application for Alstom Gas Turbines / S. Savic, B. Hemminger, T. Mee // Proceedings of PowerGen, November 2013. High-Fogging.
3. **Meher-Homji, C.** Gas Turbine Power Augmentation by Fogging of Inlet Air / C. Meher-Homji, T. Mee // Proceedings of the 28th turbomachinery Symposium (2000), Texas A & M. Turbolab.

*Работа выполнена под руководством
ст. преподавателя О. Н. Попова*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

П. А. Абрашкин

Тамбовский государственный технический университет

Реализация программы энергосбережения в Российской Федерации в значительной степени определяется надёжным и экономичным функционированием систем теплоснабжения.

Тепловые сети являются одним из основных элементов централизованного теплоснабжения. Наиболее экономичным видом прокладки теплопроводов тепловых сетей является надземная прокладка. Однако с учётом архитектурно-планировочных требований, требований экологии в населённых пунктах основным видом прокладки является подземная прокладка в проходных, полупроходных и непроходных каналах. Бесканальные теплопроводы, являясь более экономичными в сравнении с канальной прокладкой по капитальным затратам на их сооружение, применяются в тех случаях, когда они по теплотехнической эффективности и долговечности не уступают теплопроводам в непроходных каналах [1].

Тепловая изоляция предусматривается для линейных участков трубопроводов тепловых сетей, арматуры, фланцевых соединений, компенсаторов и опор труб для надземной, подземной канальной и бесканальной прокладки. При выборе материалов теплоизоляционных конструкций трубопроводов, прокладываемых в жилых, общественных и других зданиях, проходных тоннелях, учитывают нормы проектирования пожарной безопасности. Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования должна отвечать требованиям: *энергоэффективности* (иметь оптимальное соотношение между стоимостью теплоизоляционной конструкции и стоимостью тепловых потерь через изоляцию в течение расчётного срока эксплуатации); *эксплуатационной надёжности и долговечности* (выдерживать без снижения теплозащитных свойств и разрушения эксплуатационные температурные, механические, химические и другие воздействия в течение расчётного срока эксплуатации); *безопасности* для окружающей среды и обслуживающего персонала при эксплуатации и утилизации [2].

Материалы, используемые в теплоизоляционных конструкциях, не должны выделять в процессе эксплуатации вредные, пожароопасные и взрывоопасные, неприятно пахнущие вещества, а также болезнетворные бактерии, вирусы и грибки, в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации, установленные в санитарных нормах.

Для изоляции арматуры, сальниковых компенсаторов и фланцевых соединений следует применять преимущественно съёмные теплоизоляционные конструкции.

В качестве теплоизоляционного слоя в этих конструкциях наибольшее применение в практике находят теплоизоляционные изделия на основе минерального и стеклянного волокна, выпускаемые различными предприятиями по ГОСТ 21880–94, ГОСТ 9573–96, ГОСТ 10499–95 и техническим условиям (ТУ) производителей.

Эффективными теплоизоляционными изделиями для прокладываемых в каналах трубопроводов тепловых сетей являются цилиндры из минеральной ваты и стекловолокна. Российскими производителями этой продукции являются ЗАО «Минеральная вата» и Назаровский ЗТИ.

Импортная продукция представлена цилиндрами фирм Rockwool, «Флайдерер – Чудово», «Парок», «Изовер». Преимуществом этих изделий является их формостабильность и технологичность при монтаже. Применение формостабильных теплоизоляционных изделий обеспечивает снижение трудозатрат при монтаже теплоизоляции тепловых сетей в каналах.

Библиографический список

1. **Пилипенко, Н. В.** Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей : учебное пособие / Н. В. Пилипенко, И. А. Сиваков. – СПб. : НИУ ИТМО, 2013. – С. 121 – 125.
2. **Фокин, В. М.** Основы энергосбережения и энергоаудита / В. М. Фокин. – М. : Издательство Машиностроение-1, 2006. – 256 с.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора Н. Ф. Майниковой*

ЗЕЛЁНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В КОНТЕКСТЕ НЕПРЕРЫВНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ СФЕРЫ ЖКХ

М. Ю. Авдеева

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время экология как наука о взаимоотношениях между растительным, животным миром и окружающей средой в последние годы значительно усложнилась философскими, социальными, экономическими, техническими и географическими аспектами. Экологическое мировоззрение должно способствовать правильному пониманию места и роли человека в окружающей среде, являющегося её продуктом и неотъемлемой составной частью.

Жизнь человека неотъемлемо связана с городской средой, её инфраструктурой, деятельностью организаций и предприятий жилищно-коммунального комплекса (ЖКХ). Деятельность предприятий ЖКХ оказывает негативные влияния на окружающую среду в результате:

- 1) изъятия большого количества природных вод (поверхностных и подземных) для целей хозяйственного, питьевого и промышленного водоснабжения;
- 2) сброса в водные объекты неочищенных или недостаточно очищенных бытовых и промышленных сточных вод, а также поверхностного стока с территорий;
- 3) выбросов в атмосферу от котельных централизованных систем теплоснабжения;
- 4) размещения на свалках (организованных и неорганизованных) ТБО и ТПО;
- 5) урбанизации природных территорий.

Однако развитие научно-технического прогресса приводит к появлению технологий нового типа, способных гармонически вписываться в природные процессы. Это такие технологии, как «Зелёная энергетика», «Альтернативные источники энергии», технологии замкнутого цикла и пр. Но для развития подобных инноваций требуется изменение мировоззрения людей уже на раннем этапе, как говорится, «со школьной скамьи». Процесс развития и становления экологического мировоззрения личности учащегося сложен и многогранен, он происходит в течение длительного времени и обусловлен воздействием на личность социального фактора, отражающего уровень развития общества, в котором происходит процесс становления экологического мировоззрения личности и его экологической культуры, т.е. норм и правил поведения при взаимодействии её с объектами этого окружения.

Социально-экономические изменения в России привели к необходимости модернизации многих социальных институтов, и в первую очередь, системы образования, которая напрямую связана с экономическими процессами через подготовку производительных сил [1].

В связи с этим одной из основных задач, наряду с формированием гармонически развитой личности, является задача формирования профессионально компетентного специалиста.

Основной целью внешкольного образования является повышение уровня знаний детско-юношеской аудитории в сфере ЖКХ и формирование у подрастающего поколе-

ния экологической культуры. На основании этого автором предлагается курс «Основы экологического энергосбережения» среди школьников общеобразовательных учреждений. Основная цель курса состоит в передаче учащимся знаний в областях энергетики и энергосбережения, а также в обеспечении условий для приобретения ими практических навыков рационального использования энергоресурсов.

Для формирования полноценной системы образования в сфере ЖКХ требуется создание системы непрерывной подготовки кадров, что является нетривиальной задачей из-за ряда существенных нестыковок уровней образования. Актуальным является проведение анализа согласованности образовательных стандартов высшего образования и основного общего образования на предмет получения школьниками знаний об экологии и энергосбережении в сфере ЖКХ [2].

Библиографический список

1. **Компетентностный** подход в образовательном процессе : монография / А. Э. Федоров, С. Е. Метелев А. А. Соловьев, Е. В. Шлякова. – Омск : Изд-во ООО «Омскбланкиздат», 2012. – 210 с.
2. **Авдеева, М. Ю.** Профессиональная ориентация детей в условиях учреждений дополнительного образования / М. Ю. Авдеева, С. В. Кочергин, М. А. Блюм. – М. : Научное обозрение: гуманитарные исследования, 2015. – 13 с.
3. **Авдеева, М. Ю.** Интерактивный метод обучения детей вопросам энергосбережения / М. Ю. Авдеева, С. В. Кочергин, М. А. Блюм // Инновационные образовательные технологии в техническом вузе : сб. науч. ст. Межрегиональной науч.-метод. конф. – 2015. – С. 79 – 83.

СЖИГАНИЕ БИОТОПЛИВА В ИРАКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОТЛОВ С КИПАЮЩИМ СЛОЕМ ДЛЯ КОГЕНЕРАЦИИ

Альнасур Фавзи Шнайн Абдулхуссейн

Тамбовский государственный технический университет

В качестве экологически чистого котельного топлива практическое использование получили различные виды биотоплива – древесного (сайлекс) и отходы сельского хозяйства (рисовая солома, солома пшеницы, навоз птицефабрик).

Так как свойства биотоплива варьируются в очень широких пределах, то применяются различные способы сжигания: пылевидное сжигание (используется редко, например, при совместном сжигании древесных пылевидных отходов и жидкого топлива); газификация топлива (с последующим сжиганием образовавшихся горючих газов в газомазутных котлах).

Для каждой технологии сжигания со временем сформировался такой диапазон мощностей, при котором применение данной технологии технически или экономически является целесообразным.

В условиях Ирака, как правило, котлы с мощностью до 5 МВт выполняются со слоевой топкой, при большей мощности предпочтение отдаётся топкам с кипящим слоем. Увеличивая постепенно скорость подачи воздуха, можно создать условия, при которых слой топлива за счёт силы давления газового потока расширяется, частицы топлива при этом начинают парить и интенсивно перемешиваться в воздушном потоке, образуя кипящий слой. Одной из причин широкого распространения технологии кипящего слоя является возможность снижения выбросов вредных веществ в атмосферу и сжигания различных низкокачественных топлив в одной и той же топке. Температура в кипящем слое сравнительно низкая, порядка 850 °С, вследствие чего отсутствует опасность плавления золы и шлакования топки. При таком уровне температур снижаются также выбросы NO_x и N_2O , а при использовании топлива с высоким содержанием серы (солома) при добавлении сорбента (известняка) возможно её связывание с золой. Общее требование, предъявляемое к топливу при сжигании в кипящем слое, – достаточно однородный гранулометрический состав кусков. При сжигании биотоплива кипящий слой формируется из инертного материала. Как правило, это кварцевый песок, который во время запуска топки до подачи основного топлива подогревается с помощью газовых или мазутных горелок до температуры 600 °С. Затем зажигается подающееся в слой основное топливо, температура слоя увеличивается и использовавшиеся для зажигания вспомогательные горелки отключаются.

В качестве одного из примеров практической реализации технологии кипящего слоя можно привести котлы финской фирмы Putkimaа ОУ, в котором топка и дымогарный котел, имеющий вертикальное расположение дымогарных труб, составляют одно целое. Такая компактная конструкция позволяет строить котлы даже с нехарактерно малой мощностью, начиная с 1 МВт. Для организации когенерации тепловой и электрической энергии, актуальной для Ирака, возможно применение органического цикла

1. Технические характеристики котла КВ-Ф-1.25-6

Максимальная теплопроизводительность (при влажности топлива до 50%)	МВт	1,25
Вид топлива: основное дополнительное розжиговое		торф фрезерный, максимальная влажность 60% щепа топливная. максимальная влажность 60% природный газ, дизельное топливо
Расход воды	кг/ч	180,6
Масса, не более	кг	5000
Габаритные размеры, не более:		
длина	мм	4300
ширина	мм	2750
высота	мм	3500
КПД	%	85
Теплопроизводительность при влажности топлива 60%	МВт	0,9
Рабочее давление воды	МПа	0,6
Максимальная температура воды на выходе	С	115

Ренкина и использование термомасляных котлов Белорусской фирмы «ГСКБ» с технологией кипящего слоя и работающих на биомассе. Характеристики котлов марки КВ-Ф-1.25-6 единичной мощностью 1,5...6 МВт представлены в табл. 1.

Озвученные технологии и производители котельного оборудования могут быть применены для условий Ирака.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента С. Н. Кузьмина*

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БРОМИСТО-ЛИТИЕВОЙ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ В СРЕДЕ MATLAB

М. А. Аль-Антаки Ахмед, Б. А. Стромов, О. Е. Богометова

Тамбовский государственный технический университет

Бромисто-литиевые абсорбционные холодильные машины (АБХМ) нашли широкое применение в технике как нетоксичные, эффективные, экологичные устройства для получения холода в промышленности. Подобного рода холодильные машины могут использоваться в газотурбинных установках (ГТУ) для охлаждения поступающего воздуха и, соответственно, повышения эффективности работы установки в целом. Это приобретает особую важность при использовании ГТУ в климатических районах с высокой среднегодовой температурой наружного воздуха.

Для обеспечения оптимальной работы АБХМ необходимо провести всесторонний термодинамический анализ работы установки при различных условиях её применения. Использование программного обеспечения позволяет провести анализ с наибольшей полнотой.

Нами разработано программное обеспечение в среде MATLAB, позволяющее автоматизировать процесс термодинамического анализа одноконтурной бромисто-литиевой АБХМ. Принципиальная схема такой машины приведена на рис. 1, а. В расчёте повсеместно применяется диаграмма энтальпия–массовая концентрация раствора бромида лития, диаграмма и термодинамический цикл приведены на рис. 1, б.

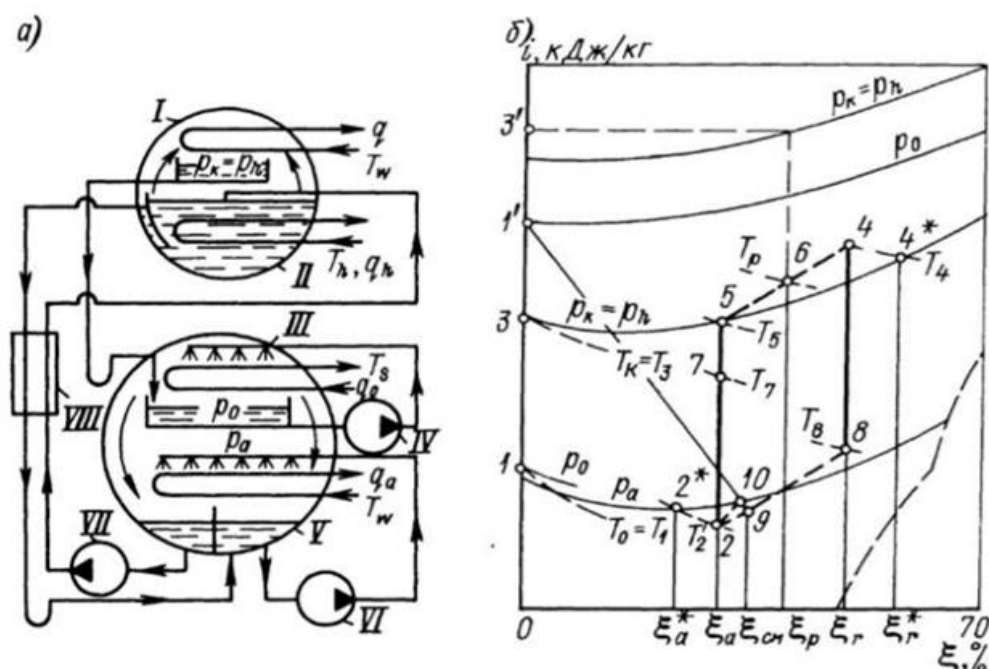


Рис. 1. Принципиальная схема АБХМ (а),
диаграмма энтальпия–массовая концентрация (б):
I – генератор; II – испаритель; III – абсорбер;
IV – насос слабого раствора; V – теплообменник; VI – конденсатор [1]

Разработаны отдельные программные блоки, позволяющие определять параметры раствора бромида лития, при этом использовались данные ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) [2]. Для определения параметров воды и водяного пара использовались данные IAPWS (International Association for the Properties of Water and Steam) [3].

Исходные данные для расчёта – температуры холодного и горячего источников тепла (охлаждающая вода и дымовые газы), результатами расчёта являются термодинамические параметры в характерных точках цикла, тепловые нагрузки на отдельные узлы холодильной машины и холодильный коэффициент АБХМ. Результаты согласуются между собой, а также с данными из российских источников и научно-технической литературы.

Таким образом, в результате работы программы достигнута автоматизация не только расчёта, но и работы пользователя с $e-i$ диаграммами.

Библиографический список

1. **Тепловые** и конструктивные расчёты холодильных машин / Е. М. Бамбушек, Н. Н. Бухарин, Е. Д. Герасимов и др. – Л. : Машиностроение, 1987. – 423 с.
2. **ASHRAE Handbook of Fundamentals**. Atlanta Georgia 2009.
3. **IAPWS**. 2007. Revised release on the IAPWS industrial formulation 1997 for the thermodynamic properties of water and steam. International Association for the Properties of Water and Steam, Oakville, ON, Canada.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента И. В. Рогова*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА В ИССЛЕДОВАНИИ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

М. А. Аль-Фураиджи

Тамбовский государственный технический университет

Практически ни одна научная работа в области теплоэнергетики невозможна без соответствующего экспериментального исследования, поскольку подтверждением правильности результатов любых, даже самых сложных теоретических изысканий, является близкое совпадение теоретических и экспериментально полученных результатов. Именно такое совпадение и позволяет сделать заключение, что полученное теоретическое решение адекватно описывает исследуемые связи.

Инженерным экспериментом принято называть последовательную совокупность следующих этапов исследования:

- постановка задачи с чётким формулированием цели исследования;
- разработка подробного плана и основ методики эксперимента;
- изготовление и подготовка экспериментальной установки;
- проведение эксперимента;
- обработка исходных опытных данных;
- обобщение и анализ результатов измерений;
- формулирование выводов и рекомендаций по результатам эксперимента.

Методом планирования эксперимента было проведено экспериментальное исследование ПТУ с тремя параметрами, влияющими на величину выходного параметра Y (термический КПД ПТУ). При этом параметры изменялись в следующих пределах: давление турбины, бар – $60 < x_1 < 100$; температура на входе в турбину, °С – $450 < x_2 < 650$; степень сухости водяного пара – $0,79 < x_3 < 0,83$.

Для матрицы планирования необходимо определить дробность использованной реплики, рассчитать коэффициенты регрессии и записать математическую модель в нормированном виде $Y = f(X_1, X_2, X_3)$ и в размерной форме $Y = f(x_1, x_2, x_3)$.

Число факторов k используемой реплики равно 3. Число опытов полно факторного эксперимента выражается зависимостью $N_{\text{ПФЭ}} = 2^k = 2^3 = 8$. Число опытов в данном исследовании $N = 4$, что соответствует одной из полуреplik.

В результате, уравнение регрессии имеет следующий вид, с учётом найденных коэффициентов:

$$Y = -0,298X_1 + 4,175X_2 - 1,327X_3.$$

Указанное уравнение принято называть выборочным уравнением регрессии. Это уравнение характеризует зависимость между вариацией показателя и вариациями факторов. А мера корреляции измеряет долю вариации показателя, которая связана с вариацией факторов. Иначе говоря, корреляцию показателя и факторов нельзя трактовать как связь их уровней, а регрессионный анализ не объясняет роли факторов в создании показателя. Теория вероятностей и математическая статистика представляют

лишь инструмент для изучения статистической зависимости, но не ставят своей целью установление причинной связи. Числовые данные обычно имеют между собой явные (известные) или неявные (скрытые) связи. Явно связаны показатели, которые получены методами прямого счёта, т.е. вычислены по заранее известным формулам. Связи же второго типа (неявные) заранее не известны. Однако необходимо уметь объяснять и предсказывать (прогнозировать) сложные явления для того, чтобы управлять ими. Поэтому специалисты с помощью наблюдений стремятся выявить скрытые зависимости и выразить их в виде формул, т.е. математически смоделировать явления или процессы. Одну из таких возможностей предоставляет корреляционно-регрессионный анализ. Пользуясь методами корреляционно-регрессионного анализа, аналитики измеряют тесноту связей показателей с помощью коэффициента корреляции. При этом обнаруживаются связи, различные по силе (сильные, слабые, умеренные и др.) и различные по направлению (прямые, обратные). Если связи окажутся существенными, то целесообразно будет найти их математическое выражение в виде регрессионной модели и оценить статистическую значимость модели.

Библиографический список

1. <http://center-yf.ru/data/stat/Regressionnyi-analiz.php/#1> – Регрессионный анализ.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента А. А. Балашова*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЗДАНИЙ

Альмохаммед Сафаа Малик

Тамбовский государственный технический университет

Охлаждение зданий в летний период в Ираке является актуальной проблемой и солнечное охлаждение может её решить. Пик спроса на охлаждение в летний период совпадает с высоким уровнем солнечной радиации, и она может конкурировать с механическим кондиционированием воздуха. Особый интерес представляют городские районы, где помимо загрязнения окружающей среды в этот период, наблюдается пик потребления электрической энергии [1].

Коммерческое использование солнечной энергии для целей кондиционирования воздуха является относительно новым [2 – 4]. Различные технологии охлаждения, доступные на рынке для систем выше 40 кВт, могут быть использованы в сочетании с солнечными тепловыми коллекторами. Схема такой солнечной системы кондиционирования воздуха представлена на рис. 1. Основными компонентами системы являются: солнечная установка, адсорбционная холодильная машина, распределительная система, система трубопроводов, элементы обеспечения техники безопасности.

Основными препятствиями для крупномасштабного применения, кроме высокой себестоимости, являются отсутствие практического опыта и координации среди архитекторов, строителей и проектировщиков в части проектирования, управления и эксплуатации этих систем. Для небольших систем не существует на рынке доступных технологий, и кондиционирование с использованием солнечной энергии представляется актуальным. Технологии охлаждения включают в себя в основном замкнутые циклы (абсорбция,

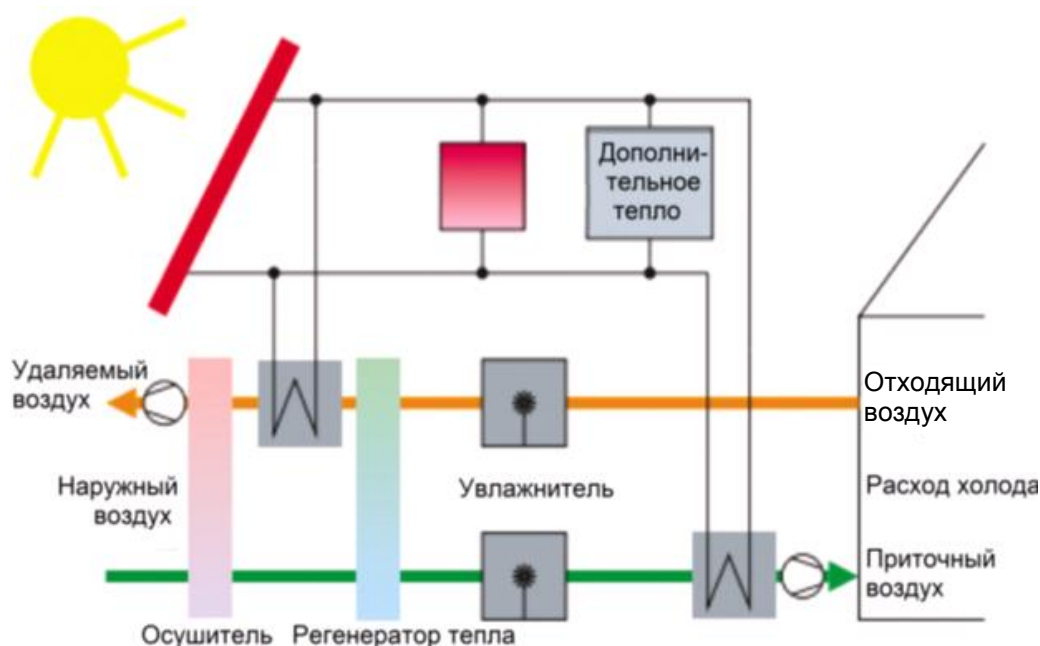


Рис. 1. Солнечное охлаждение и солнечное кондиционирование

адсорбция). Применение абсорбционных холодильных машин в температурном диапазоне от 55 до 95 °С обеспечивает высокий КПД по теплу (от 60 до 65%). Это позволяет производить холодную воду с температурой 8 до 12 °С и распределять холод по зданию с помощью системы трубопроводов. Здесь применяются давно освоенные рынком системы поверхностного охлаждения, потолочные системы с охлаждением (так называемые «холодильные потолки»), системы кондиционирования или вентиляторные доводчики, известные так же как «фанкойлы» (ФК).

Для отвода тепла, возникающего в процессе абсорбции и конденсации, применяется охлаждающая вода. Подачу охлаждающей воды можно организовать на практике с помощью охладителя оборотной воды (циркуляционного радиатора), башенных охладителей, геотермальных зондов или поглотительных колодцев.

В условиях Ирака возможно использование уже существующих установок с солнечными коллекторами для целей горячего водоснабжения в качестве компонента солнечной охладительной установки, что сократит экономические расходы потенциальных потребителей.

Библиографический список

1. **Papadopoulos, A. M.** Perspectives of solar cooling in view of the developments in the air-conditioning sector / A. M. Papadopoulos, S. Oxizidis, N. Kyriakis. – Renew Sustain Energy Rev., 2003.
2. **Lamp, P.** European research on solar-assisted air conditioning / P. Lamp, F. Ziegler. – Int J Refrig, 1998.
3. **Solar** cooling technologies in Greece-An economic viability analysis / T. Tsoutsos, J. Anagnostou, C. Pritchard, M. Karagiorgas, D. Agoris. – Appl Thermal Eng., 2003.
4. **HOTRES:** renewable energies in the hotels. An extensive technical tool for the hotel industry / M. Karagiorgas, T. Tsoutsos, V. Drosou, S. Pouffary, T. Pagano, G. M. Lara et al. – Renew Sustain Energy Rev, 2004.

СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Аль Саммарраи Хайдер

Тамбовский государственный технический университет

При повышении температуры воздуха на всасывании в газотурбинных установках (ГТУ) объем вырабатываемой электрической мощности снижается, а объем потребления газа повышается. Существуют различные технические схемы охлаждения воздуха, среди которых наиболее перспективным считается применение абсорбционных холодильных машин (АБХМ).

АБХМ представляет собой холодильную установку, работающую за счёт тепла, а не электрической энергии. Источником тепловой энергии может служить горячая вода, выхлопные газы, пар, природный газ и другие виды топлива.

Для решения проблемы снижения вырабатываемой ГТУ электрической мощности при повышенных температурах наружного воздуха предлагается установить теплообменник, через который будет проходить захлажденная вода из АБХМ с температурой $+5...+10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Известно, что обычно ГТУ работают с постоянным расходом воздуха, соответственно при повышении его температуры, снижается его плотность и, следовательно, снижается мощность ГТУ. Снижение температуры подаваемого в турбину воздуха с 40 до $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ предотвращает снижение мощности ГТУ на 30% , которое произойдет при подаче воздуха на всасывание турбины с высокой температурой.

Необходимо учитывать, что любое дополнительное сопротивление на входе воздуха в ГТУ негативно сказывается на основных показателях работы ГТУ. При охлаждении воздуха на теплообменнике при определенных условиях может образовываться конденсат, для предотвращения уноса конденсата в турбину необходимо предусмотреть каплеуловитель.

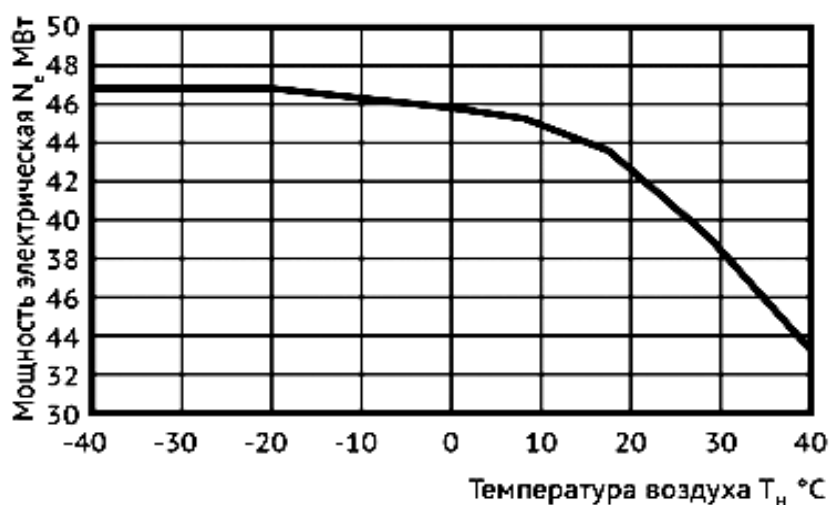


Рис. 1. График изменения электрической мощности газовой турбины в зависимости от температуры подводимого воздуха

Так же, важным моментом является вопрос использования воды или гликоля в качестве холодоносителя, так как применение гликоля значительно снижает мощность по холоду, а использование воды влечёт необходимость продувки системы для предотвращения заморозки.

Для сбора и отвода воды, конденсирующейся на теплообменной поверхности батареи, в нижней части блока устанавливается специальный дренажный поддон. Его ширина должна быть достаточной, чтобы обеспечить отвод воды также и из каплеотбойника. Дренажный поддон изготавливается из нержавеющей стали. Конструкция поддона должна обеспечить достаточный объём для сбора воды, а также её лёгкий отвод из системы через дренажные каналы, диаметр которых зависит от объёма воды. На выходе из дренажной системы необходимо предусмотреть сифон.

Согласно рекомендациям Ассоциации по охлаждению приточного воздуха ТІСА, США, в ГТУ наиболее целесообразно, в случае наличия бросовых источников тепла, использовать АБХМ. В России АБХМ Thermax используются на нужды охлаждения воздуха на различных объектах с 2006 года, а за рубежом в портфолио Thermax более 300 проектов с охлаждением приточного воздуха в ГТУ, ГПУ, воздушных компрессоров и других установок.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента С. Н. Баршутина*

КОТЛЫ С ЦИРКУЛИРУЮЩИМ КИПЯЩИМ СЛОЕМ

Альхассани Хенд Дахель Схаль

Тамбовский государственный технический университет

При рассмотрении перспектив использования твёрдого топлива для энергоблоков нового поколения одним из основных вопросов является его эффективное сжигание, т.е. экономичное и не приводящее к большим выбросам вредных веществ (в первую очередь, оксидов серы и азота). Для выполнения указанных выше требований разработана и внедрена в практику технология сжигания твёрдых топлив в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) при атмосферном давлении (рис. 1).

На рисунке 1 показана типовая схема котельной установки с ЦКС. Топливо из бункера 2 направляется на воздухораспределительную решётку топки 10, под которую для горения подаётся горячий воздух (I). На неё же из другого бункера 1 поступает известняк, который вступает в химическую реакцию с серой, связывает её и в дальнейшем вместе с сухой золой отводится из котла. Таким образом исключается попадание серы в дымовые газы и затем в воздушный бассейн. Образующийся кипящий слой передаёт часть своей теплоты рабочему телу, движущемуся в экранах 3, которыми облицованы стены топки. Из верхней части топки смесь продуктов сгорания и частиц топлива, не сгоревших в кипящем слое, направляется в циклон (V), где происходит отделение частиц несгоревшего топлива от продуктов сгорания. Несгоревшие горячие частицы смешиваются с частицами свежего топлива, и эта смесь поступает в горячий кипящий слой топки. Продукты сгорания поступают в конвективную шахту 6, в которой расположены другие поверхности нагрева рабочего тела: конвективный первичный и промежуточный пароперегреватели, экономайзер, воздухонагреватель.

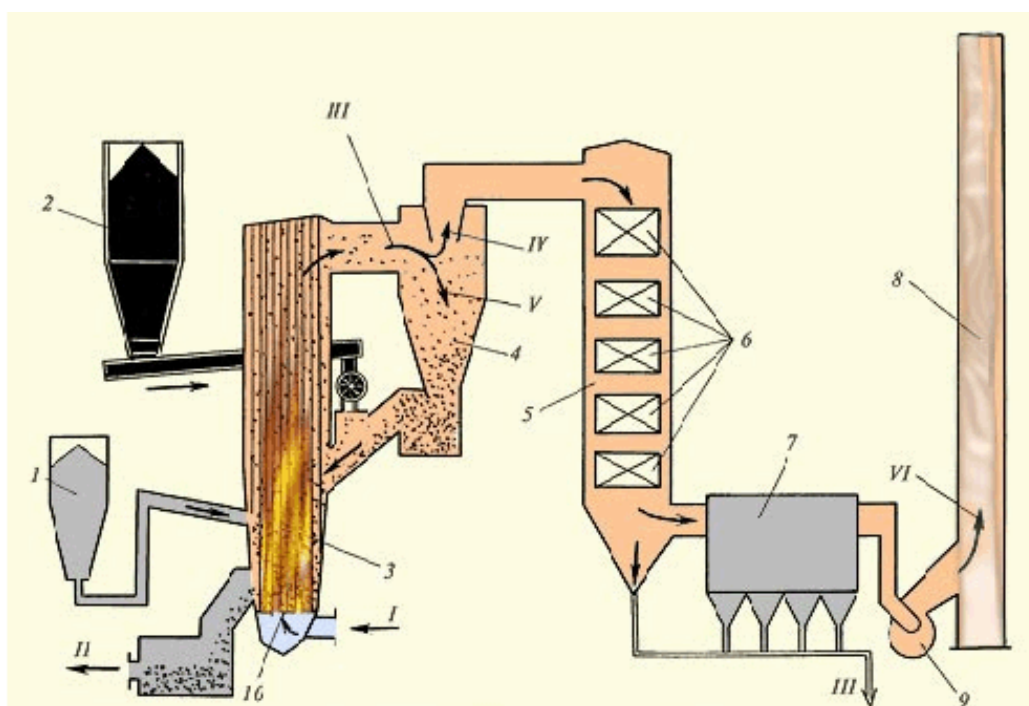


Рис. 1. Схема котельной установки с ЦКС

На выходе из конвективной шахты из продуктов сгорания удаляется летучая зола, и затем они поступают в электрофильтры 7 для удаления остатков летучей золы, после чего они направляются в дымовую трубу для рассеивания верхних слоях атмосферы.

Одна из основных идей, реализуемых в котлах с ЦКС, состоит в том, что температура кипящего слоя оказывается невысокой – на уровне 820...900 °С. При таких температурах образование окислов азота идёт очень медленно. Заметим, что в факельных пылеугольных топках температура горения достигает 2000 °С. В свою очередь, низкая температура горения обеспечивается большим размером частиц угля (от 2 до 25 мм) и их разобщиённостью в кипящем слое, в отличие от пылеугольного сжигания, когда размер пылевых частиц находится на уровне 200 мкм.

Другая важная идея – многократная циркуляция горячей смеси золы, известняка и сравнительно небольшого количества подводимого свежего топлива. Это обеспечивает не только хорошую сероочистку продуктов сгорания, но и существенно интенсифицирует процесс сжигания. В ЦКС эффективно сжигаются некачественные топлива: угли с большим содержанием породы, которая в ЦКС играет роль циркулирующего наполнителя слоя; угли с высоким содержанием золы и влаги, а также трудно зажигаемые топлива (с малым выходом летучих легковоспламеняющихся газов) и разнообразная биомасса. В России и в мире разрабатываются котлы с ЦКС паропроизводительностью 160, 500 и 1000 т/ч для сжигания каменных и бурых углей различных месторождений и биогенных отходов в том числе. Вместе с тем, по сравнению с пылеугольными котлами, котлы с ЦКС более сложны, работают в более тяжёлых условиях (эрозия поверхностей нагрева запылённым потоком), имеют повышенный расход электроэнергии на привод высоконапорных вентиляторов для подачи воздуха в зону горения и создания кипящего слоя.

Тем не менее, для условий Ирака, использование технологии ЦКС позволяет при выработке тепловой и электрической энергии решить проблему утилизации биогенных отходов (пески нефтяных месторождений, твёрдые бытовые отходы, отходы сельского хозяйства). Экологические преимущества ЦКС (низкие уровни выбросов) обеспечивают рекреационные возможности территорий вблизи тепловых станций.

КОНТАКТНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ВЕЩЕСТВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

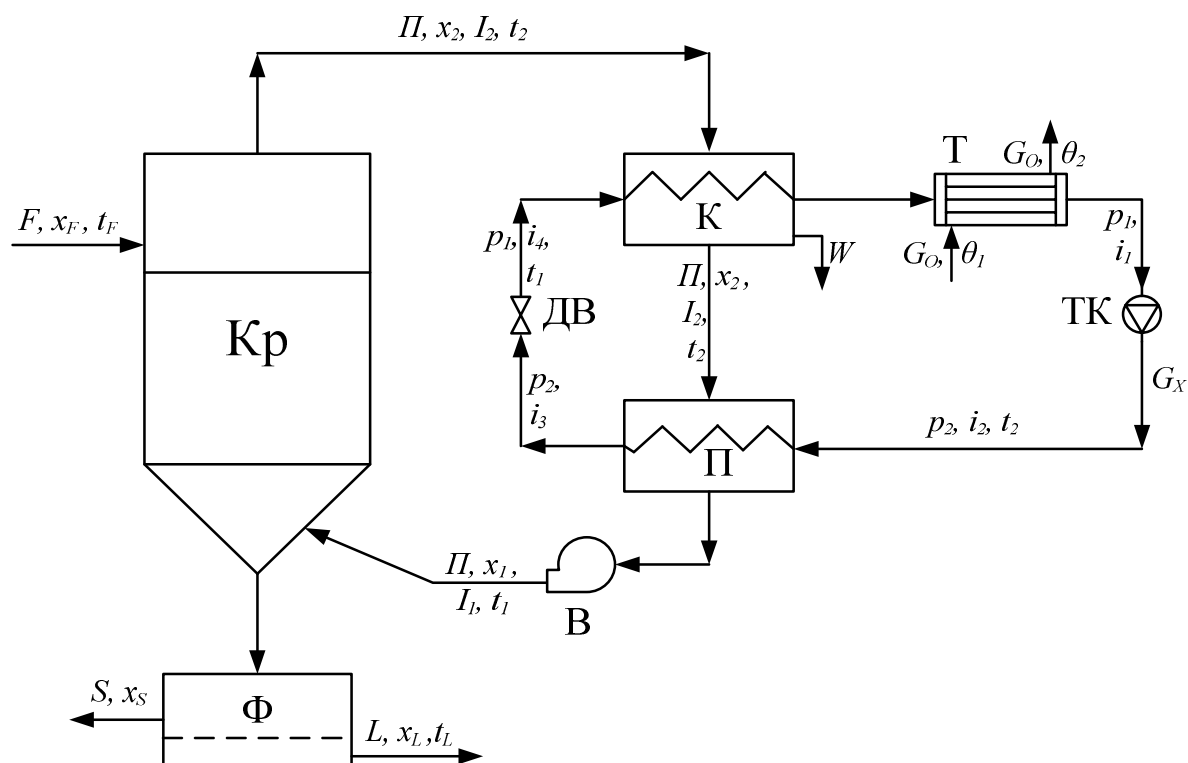
Ж. А. Амиров

*Московский технологический университет,
Институт тонких химических технологий*

Кристаллизация при непосредственном контакте хладагента с раствором используется для выделения веществ из растворов [1]. Такой процесс позволяет значительно упростить аппаратное оформление, выделение веществ из растворов.

В данной работе нами был исследован процесс выпарной кристаллизации при непосредственном контакте раствора с нагретым воздухом. Принципиальная схема установки для проведения рассматриваемого процесса показана на рис. 1.

Процесс кристаллизации здесь осуществляется следующим образом. Исходный ненасыщенный раствор F с концентрацией растворённого вещества x_F подаётся в контактный кристаллизатор Kp при температуре t_F , где происходит частичное испарение растворителя посредством поступающего в кристаллизатор нагретого воздуха Π с влагосодержанием x_1 и температурой t_1 . Увлажнённый поток воздуха отводится из аппарата при температуре t_2 с влагосодержанием x_2 . В результате частичной отгонки растворителя раствор достигает пересыщенного состояния, что приводит к образованию кристаллической фазы в кристаллизаторе. Полученная таким образом суспензия далее



**Рис. 1. Принципиальная схема установки контактной кристаллизации
с тепловым насосом закрытого типа**

направляется на стадию сепарации Φ , где происходит отделение кристаллов S от маточника L . Сепарация обычно осуществляется с помощью фильтров или фильтрующих центрифуг. Из кристаллизатора увлажнённый воздух Π поступает в конденсатор K , где он охлаждается до температуры t_3 . При этом происходит конденсация паров воды с последующим отводом образующегося конденсата W . Из конденсатора воздушный поток Π с влагосодержанием x_3 при температуре t_3 направляется в подогреватель Π , где он нагревается до температуры t_1 , а затем снова подаётся на стадию кристаллизации Кр.

Пары теплоносителя G_X , циркулирующего в контуре теплового насоса, сжимаются в турбокомпрессоре ТК от давления p_1 до давления p_2 . При этом температура теплоносителя повышается от t_1 до t_2 , а его теплосодержание изменяется от i_1 до i_2 . Далее сжатый теплоноситель G_X поступает в подогреватель Π , где в результате его охлаждения и конденсации выделяется теплота Q_{Π} , необходимая для подогрева воздуха до температуры t_1 . Сконденсированный теплоноситель затем дросселируется в дроссельном вентиле ДВ от давления p_2 до p_1 . Полученная парожидкостная смесь с энтальпией i_4 поступает в конденсатор K , где в результате теплообмена с влажным воздухом происходит испарение теплоносителя, а его энтальпия достигает значения i_1 .

В случае, если тепловой поток, выделяющийся при конденсации паров воды W , недостаточен для испарения промежуточного теплоносителя G_X , предусмотрена дополнительная установка теплообменника Т.

Произведён анализ влияния основных технологических параметров на процесс выделения солей из их водных растворов с использованием рассматриваемого варианта контактной кристаллизации. При этом установлено, что использование теплового насоса позволяет на 30...50% снизить энергетические затраты.

Библиографический список

1. Гельперин, Н. И. Основы техники фракционной кристаллизации / Н. И. Гельперин, Г. А. Носов. – М. : Химия, 1986. – 303 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, старшего преподавателя М. Е. Уварова*

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫМИ МНОГОЗОННЫМИ ТЕПЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

А. А. Аристов, И. Ю. Кошелев, М. С. Кузнецова

Тамбовский государственный технический университет

Аппараты с электронагревом применяются во всех отраслях промышленности, в том числе электротехнической, металлургической, химической, машиностроения и др. Значительное число электрических тепловых аппаратов представляют собой нелинейные системы с распределёнными параметрами [1]. Типичным примером таких объектов являются многозонные электрические печи (МЗП), которые широко используются в радиоэлектронной промышленности, в частности, для термической обработки заготовок терморезисторов в воздушной среде.

При решении задач управления такие объекты рассматриваются как многомерные, т.е. имеющие несколько входов и выходов, причём каждый вход влияет на несколько выходов, и, соответственно, выход зависит от нескольких входов. В настоящее время задачи оптимального управления режимами работы многозонных электротермических аппаратов как многомерных нелинейных систем с распределёнными параметрами исследованы недостаточно, поэтому решение указанных задач представляет как научный, так и практический интерес.

В качестве примера рассмотрим m -зонную электрическую печь, упрощённая схема которой приведена на рис. 1; здесь $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)^T$, $y = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$ – векторы управления и выходные переменные соответственно. В качестве u_i обычно используется ток через нагревательные элементы i -й зоны, а y_i – измеряемая температура в центральной части i -й зоны.

В процессе функционирования МЗП выделяются следующие основные режимы работы:

- разогрев зон печи до температур, близких к требуемым, по технологическому регламенту;
- выход на заданный режим работы;
- стабилизация задаваемого регламентом температурного режима;
- переход, в случае необходимости, на новый температурный режим;
- остывание печи.

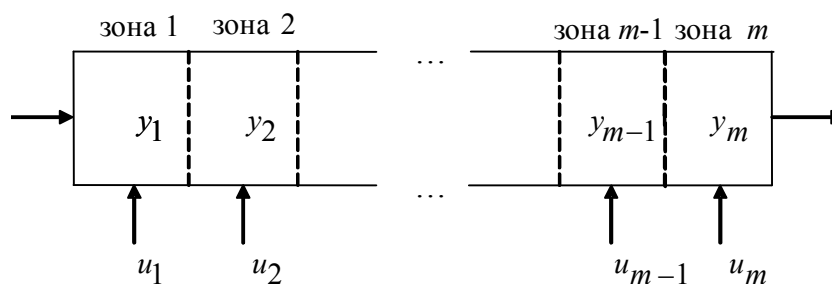


Рис. 1. Упрощённая схема m -зонной электрической печи

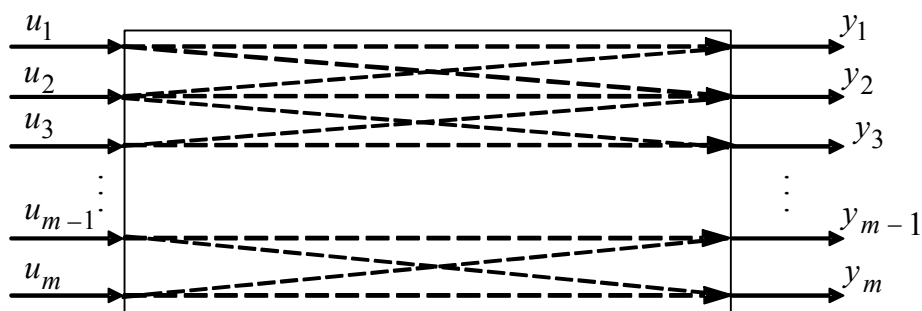


Рис. 2. Схема связей между входными и выходными переменными в ММО-системе

Принципиальной особенностью таких печей как объектов управления является необходимость учёта взаимного влияния тепловых режимов в соседних зонах друг на друга, а также распределения температуры по длине печи. В соответствии с принятой в западной литературе классификацией это типичная ММО (Multi Input Multi Output) – система (см. рис. 2) [2].

Другой важной особенностью данного объекта является нелинейность модели динамики для каждой отдельной зоны, связанная с изменением теплофизических свойств материалов от температуры, наличием запаздывания по каналам управления и возмущения, изменением объёма загрузки и другими факторами. Такую нелинейность учитывают применением многостадийных моделей, т.е. описанием системы в виде последовательного использования нескольких линейных дифференциальных уравнений. Для этого весь температурный диапазон разбивается на несколько стадий таким образом, чтобы в пределах одной стадии динамика с достаточной точностью описывалась одним линейным дифференциальным уравнением.

В соответствии с этим общая модель должна учитывать многомерность входов и выходов, многостадийность изменения температуры в зонах и неразрывность температурного профиля по длине печи.

Библиографический список

1. **Альтгаузен, А. П.** Применение электронагрева и повышение его эффективности / А. П. Альтгаузен. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 128 с.
2. **Гудвин, Г. К.** Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Гребен, М. Э. Сальгадо. – М. : БИНОМ, Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента И. В. Тюрина*

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ МНОГОЗОННЫХ ТЕПЛОВЫХ УСТАНОВОК

А. А. Аристов, И. Ю. Кошелев, М. С. Кузнецова

Тамбовский государственный технический университет

Многозонные печи с электронагревом широко используются в радиоэлектронной промышленности, например, для термической обработки заготовок терморезисторов. Такие печи являются типичными объектами с распределёнными параметрами и имеют ряд особенностей. К ним прежде всего относятся большие затраты энергии, высокие требования к поддержанию пространственно-временных температурных режимов, сильные связи между переменными состояниями в соседних участках печи, значительное число управляющих и возмущающих воздействий, жёсткие ограничения на изменения составляющих вектора фазовых координат, вероятность выхода из строя отдельных нагревательных элементов в процессе эксплуатации печи. Кроме того, на температуры зон печи накладываются ограничения, вытекающие из технических требований и технологического регламента, в том числе, связанные с протеканием химических реакций [1].

Для решения задач оптимального управления (ЗОУ) функционированием печей требуются математические модели, адекватно описывающие протекающие в них динамические процессы. Так как многозонные печи являются тепловыми объектами с распределёнными параметрами, то модель динамики должна отражать изменение температуры во времени в каждой точке печи.

Задача идентификации является одним из главных этапов при проектировании систем автоматического управления динамическими тепловыми объектами. Серьёзные трудности при решении указанной задачи возникают в связи нелинейностей моделей и значительным влиянием возмущающих воздействий [2].

Для получения модели динамики объекта с распределёнными параметрами в основном используются три подхода. Первый связан с получением аналитического решения модели в виде дифференциальных уравнений в частных производных. Второй предусматривает замену системы с распределёнными параметрами несколькими объектами с сосредоточенными параметрами с последующей оценкой их параметров дифференциальными уравнениями ограниченной размерности по экспериментальным данным. Третий подход основан на методах численного решения задачи теплообмена, например, с использованием метода конечных элементов.

Достоинством аналитических методов идентификации является высокая точность получаемых моделей, однако их затруднительно использовать в микропроцессорных системах, реализующих оптимальное управление в реальном масштабе времени.

Математические модели, построенные на основе экспериментально полученных данных о температурных режимах объекта, удобно использовать в бортовых микроконтроллерах, однако в данном случае получаемая модель не учитывает всех особенностей конкретного теплового объекта, например, конфигурацию поля температур во всём объекте.

Это особенно актуально в случае объектов, имеющих несколько рабочих зон, так как крутизна характеристики температурного перехода при перемещении заготовок изделий из одной рабочей зоны в другую непосредственно сказывается на качестве выпускаемой продукции. При использовании для решения задачи идентификации методов численного решения получаемое распределение температур затруднительно использовать для синтеза ОУ в реальном времени, однако достоинствами таких методов является универсальность и наглядность получаемых результатов. Кроме того, в настоящее время существует множество пакетов прикладных программ, позволяющих проводить моделирование различных процессов на персональной ЭВМ, таких как ANSYS, NASTRAN, ADINA и аналогичных им.

Для получения модели объекта, удовлетворяющей требуемой точности и легко реализуемой для контроллера микропроцессорного ОУ, предлагается использовать методы второго подхода решения задачи идентификации для тех пространственных участков объекта, где легко получить экспериментальные данные, и третий подход для определения вида модели в оставшихся областях пространства.

Библиографический список

1. **Электрофизические** свойства оксидных материалов для термодатчиков на основе систем $\text{GeO}_2\text{--GeO}_2$ (CoO , NiO) / В. Н. Цыганков, В. В. Сафонов, А. И. Козлов, А. О. Олеск // Учёные записки МИТХТ. – М. : Изд-во МИТХТ им. М. В. Ломоносова. – Вып. 8. – С. 63 – 65.
2. **Муромцев, Д. Ю.** Синтез энергосберегающего управления многостадийными процессами комбинированным методом / Д. Ю. Муромцев, Ю. Л. Муромцев, Л. П. Орлова // Автоматика и телемеханика. – 2002. – № 3. – С. 169 – 178.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента И. В. Тюрина*

О КРЫШНЫХ КОТЕЛЬНЫХ ГОРОДА ТАМБОВА

А. А. Барсуков, В. Д. Попов

Тамбовский государственный технический университет

В последнее время остро стоит вопрос об энергосбережении в сфере жилищно-коммунального хозяйства города Тамбова. В связи с активным строительством новых многоквартирных домов возникает необходимость качественного обеспечения новостроек теплом и горячей водой. Существующие тепловые сети изношены, требуют капитального ремонта, а в некоторых случаях и полной замены.

Выходом является строительство крышных котельных. Крышная котельная – это котельная, установленная на крыше здания в специально оборудованном помещении и обеспечивающая теплом и горячей водой только одно конкретное здание. Основой нормативной базой для разработки крышных котельных, являются: СП 89.13330.2012 «Котельные установки»; СП 124.13330.2012 «Тепловые сети»; СП 41-104–2000 «Проектирование автономных источников теплоснабжения»; СП 30.13330.2012 «Внутренний водопровод и канализация». По данным нормативным документам допускается установка в жилых зданиях котельных мощностью до 3 МВт, в производственных – до 5 МВт. Температура горячего теплоносителя не должна превышать 115 °С. Не допускается проектирование крышных котельных к зданиям детских дошкольных и школьных учреждений, к лечебным корпусам больниц и поликлиник с круглосуточным пребыванием больных, к спальным корпусам санаториев и учреждений отдыха.

Крышные котельные часто совмещают с индивидуальными тепловыми пунктами (ИТП). В данном случае котловой блок и ИТП находятся на крыше. Так же допускается установка котлового блока на крыше, а ИТП – в подвале. Однако ИТП нельзя размещать в подвале под квартирами и другими жилыми помещениями. В жилых домах ИТП размещают, как правило, в подвальных помещениях под лестницами, магазинами, размещёнными на первом этаже.

Стоимость котельной закладывается застройщиком в квадратные метры жилья. Цена одного (1) МВт мощности котельной зависит от стоимости установленной автоматики, котлов и насосов.

В среднем по Тамбову стоимость котельной (1 МВт) составляет 6...10 млн р. Более дешёвые варианты оборудования имеют низкое качество. Иностранное оборудование является более дорогим, достаточно сложным в эксплуатации. В данный момент в Тамбове нет специалистов для обслуживания такого оборудования. Стоимость 1 Гкал тепловой энергии, вырабатываемой крышной котельной, складывается из нескольких факторов: затраты на газ, электроэнергию, водоснабжение и водоотведение; амортизационные отчисления; оплата труда персонала и обслуживание. В целом, все перечисленные факторы позволяют жильцам значительно экономить. Конечная стоимость тепловой энергии выходит дешевле, чем по тарифу центрального теплоснабжения.

В данный момент в Тамбове установлено большое количество крышных котельных в микрорайоне «Московский». Крышные котельные обеспечивают теплом и горячей водой крупные торговые центры «РИО» и «Плаза». Планируется установка новых

крышных котельных в новостройках по всему городу, что объясняется малой рентабельностью квартальных котельных.

Применяют две основных схемы компоновки крышных котельных. В первом случае в котельную устанавливают 2 больших неразборных котла, максимально проходящих по расчёту, так как котельная на базе двух котлов мощностью 1,5 МВт будет дешевле, чем котельная на базе трёх котлов мощностью 1 МВт. Затраты складываются из цен на котлы, горелки, плюс оборудование и стоимость площади котельной. Но основным недостаток этого пути – через лет 10 котел вырабатывает свой ресурс и его необходимо заменить. Из-за невозможности разборки приходится демонтировать котёл весом в 2...4 т с крыши. Демонтаж требует огромных затрат, которые должны оплачивать жильцы дома.

Однако есть другой путь. В котельную устанавливаются минимум два разборных котла с весом максимального элемента до 100 кг и габаритами, проходящими через стандартную дверь. Примером может служить отечественный водогрейный котёл PREMIX RS-P250 КПД и различные импортные конденсационные котлы (в основном до 0,5...1 МВт). Цена импортного котла в разы больше отечественного. Импортовое оборудование сложно окупить. Поэтому установка таких котлов, чаще всего, не рассматривается. Применение импортного оборудования увеличивает стоимость котельной, но увеличивается и надёжность котельной.

*Работа выполнена под руководством
профессора Н. П. Жукова*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ ТВЁРДЫХ СЫРОВ

А. А. Барсуков, В. Д. Попов

Тамбовский государственный технический университет

Известны тепловые контактные методы неразрушающего теплового контроля, позволяющие определять толщину покрытий в двухслойных изделиях при известных теплофизических свойствах (ТФС) слоёв. Толщину слоя (например, полимерного покрытия) определяют по рабочим участкам термограмм, полученным при тепловом воздействии на поверхность двухслойного объекта от круглого плоского нагревателя постоянной мощности [1, 2].

В данной работе представлены результаты численного исследования температурных полей, возникающих в двухслойных изделиях. Определена возможность определения дефекта в виде воздушного включения (расслоения) на границе раздела: парафиновое покрытие (оболочка) – сыр «Голландский». Тепловое воздействие на систему с равномерным начальным температурным распределением осуществляется с помощью нагревателя постоянной мощности, выполненного в виде тонкого диска радиусом R_H , встроенного в теплоизоляционную подложку измерительного зонда (ИЗ) радиусом $R_{из}$. Термопары регистрируют термограммы – зависимости температуры от времени. В основе метода НК лежит предположение, что на термограмме имеются участки (рабочие), для которых обеспечивается высокая точность совпадения с результатами вычислительных экспериментов по аналитическим моделям [2].

Далее численно определяли значения температуры и теплового потока в следующих точках: в парафиновом покрытии вблизи границы раздела подложка зонда – парафин; в центре слоя парафина; в парафине вблизи границы раздела парафиновое покрытие–сыр.

Полученные данные позволили выделить на термограммах рабочие участки и сделать выводы о реализации режима регуляризации теплопереноса и одномерного распространения тепла для локальной области объекта.

Исследования метода, реализующего НК качества, проводились для различных случаев некачественного покрытия твёрдого сыра.

Изделия имели различные геометрические размеры включений в защитном парафиновом слое в виде воздушных расслоений (включений) толщиной 0,1 мм и 0,25 мм, диаметр которых равнялся 20...60 мм.

Значения температуры контактных поверхностей измерительного зонда и исследуемого тела фиксировались на оси нагревателя $T_1 = f(\tau)$. Существенные отклонения полученных термограмм от исходной зависимости начинают проявляться с момента нагрева, продолжительностью более 15...20 с.

Результаты численного исследования показали, что исследуемый метод, предусматривающий фиксирование термограмм нагрева термоприёмником, расположенным

в центре контактной поверхности зонда, позволяет зарегистрировать воздушные расслоения (включения) в парафиновой оболочке сыра.

Библиографический список

1. **Multimodel** metod of nondestructive determinasion of the termophysical properties of solid material / N. P. Zhukov, N. F. Mainikova, I. V. Rogov, E. V. Pudovkina // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2012. – V. 85, № 1. – С. 203 – 209.

2. **Моделирование** теплопереноса в методе неразрушающего контроля двухслойных материалов / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов, А. О. Антонов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 506 – 511.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора Н. Ф. Майниковой*

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТИ

Д. И. Богадевич, И. С. Черемных

*Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал)
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»*

Транспортировка топлива, в частности нефти, имеет высокий показатель энергоёмкости, в связи с чем рост энергозатрат в этой области является важнейшей задачей из-за роста объёма добычи, а значит, перекачки данного вида сырья по трубопроводам. Следует заметить, что удельный расход электроэнергии, расходуемой на перекачку, может быть вычислен по следующему выражению:

$$E = GK,$$

где G – это показатель объёма перекачиваемого продукта; K – это константа, зависящая от характеристик трубопровода. Из указанного соотношения следует вывод, что с возрастанием объёма транспортируемой нефти расход электроэнергии также увеличивается.

Все этапы транспортировки нефти сопровождаются потреблением большого количества электроэнергии. Главным источником затрат электрической энергии считаются электрические двигатели насосов. В современных электроприводах для работы основных и вспомогательных насосов используют синхронные и асинхронные электрические двигатели. Причём для уменьшения затрат электроэнергии необходимо регулирование скорости вращения насосных агрегатов, чего можно достигнуть с помощью использования частотно-регулируемых электроприводов. Так, в настоящее время при прокладке трубопроводов применяются электродвигатели крупнейших компаний мира, специализирующихся на электротехническом и энергетическом машиностроении, в том числе на создании электроприводов с частотным регулированием, ABB и Siemens, а также российских производителей, машины которых имеют коэффициент полезного действия более 96,6%.

Так же, немаловажным фактором, обуславливающим потребление электроэнергии, являются гидравлические потери, являющиеся безвозвратной потерей энергии на участках трубопроводов. В связи с этим уменьшение значения этого параметра – это одна из главных научных проблем в рассматриваемой области, которая решается путём добавления к перекачиваемым нефтепродуктам препаратов, улучшающих свойства транспортируемого вещества, т.е. присадок. Это решение вкупе с предпринимаемыми мерами по регулярной очистке трубопроводов специализированными очистными устройствами позволяет снизить потребление энергии приводами насосов до 40%.

Существуют диспетчерские службы специального назначения, которые выполняют управленческие функции в области энергосбережения. Они обеспечивают оптими-

зационные процессы, к которым, к примеру, можно отнести нахождение оптимального количества насосных установок на станциях.

Наконец, экономическая выгода непосредственно от применения насосных агрегатов определяется коэффициентом полезного действия при их эксплуатации.

Рассмотренные в работе меры по сокращению расхода электроэнергии при транспортировке топлива широко применяются на современных предприятиях, что подтверждает их эффективность. Данные решения можно также подвергнуть определённой корректировке, чтобы использовать в смежных областях промышленности для решения задач энергосбережения.

*Работа выполнена под руководством
доцента Н. П. Моториной*

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИТА АНТИФРИКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

О. Е. Богометова, А. А. Желтов

Тамбовский государственный технический университет

Известно, что композиционный полимерный материал, работающий в паре трения с металлом, должен обладать высокими показателями теплопроводности и термостойкости. Композит должен быть: устойчив к воздействию влаги; способен образовывать устойчивые плёнки из продуктов износа с низким коэффициентом трения и высокой адгезией поверхности композита к таким плёнкам. Для полимера, работающего в паре трения с металлом, когда затруднён отвод выделяющейся теплоты из зоны трения, присутствует пластификация или химическая модификация поверхности [1].

Антифрикционные свойства материалов на основе полиамида-12 (ПА12), в состав которого были введены синтетические волокна Аримид-Т (10% масс.) и Фенилон (10% масс.), представлены в табл. 1.

Выбор данных волокнистых наполнителей определялся их физико-механическими свойствами и химическим сродством с полимерной матрицей, при котором возможно возникновение эффекта самоармирования [2].

Образцы-колодочки для испытаний (размером 4×10×15 мм) из ПА12 и композита на его основе получали прессованием.

Рабочую поверхность пластмассовых образцов шлифовали до получения ровной матовой поверхности.

Режим определения антифрикционных показателей: давление – 15 МПа; площадь контакта – 40 мм²; скорость скольжения – 0,02 м/с; путь трения – 9,4 м (табл. 2).

Деформационная теплостойкость наполненного композита на основе ПА12 возрастает с величины 160 до 180 °С, что объясняется образованием более плотно упакованного пограничного слоя на поверхности волокон, армирующих полимер.

При тяжёлых (критических) режимах трения надмолекулярные полимеры деформируются и становятся более мелкими, вследствие чего коэффициент трения уменьшается. Коэффициент трения по стали армированного ПА12 ниже в 2 раза, чем у исходного материала (табл. 2). Таким образом, показана целесообразность совместного введения в полиамид-12 синтетических волокон Аримид и Фенилон в указанных концентрациях с целью повышения деформационной теплостойкости и улучшения антифрикционных свойств применительно к исследованным условиям нагружения пар трения.

1. Свойства ПА12

Материал	Твёрдость по Бринеллю, МПа	Ударная вязкость, КДж / м ²	Разрушающее напряжение, МПа			Теплостойкость по Вика, °С. Нагрузка 10 Н
			растяжение	сжатие	изгиб	
ПА12	90	90	47	56	60	160

2. Зависимость коэффициента трения от давления

Режим трения	Коэффициент трения при различных нагрузках, МПа						
	8	10	15	20	25	30	32
ПА12	0,15	0,145	0,143	0,14	0,135	0,14	0,14
ПА12 +10% Фенилон +10% Аримид	0,075	0,073	0,07	0,065	0,06	0,06	0,06

Библиографический список

1. **Дроздов, Ю. Н.** Трение и износ в экстремальных условиях : справочник / Ю. Н. Дроздов, В. Г. Павлов, В. Н. Пучков. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.
2. **Антифрикционные** свойства ПА-12, армированного волокнистыми наполнителями / М. Л. Кербер, Н. Ф. Майникова, Ю. В. Воробьев, Т. П. Кравченко, Н. Я. Валецкая // Пластические массы. – 1984. – № 7. – С. 9–10.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, проф. Н. Ф. Майниковой*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ НА ВЕЛИЧИНУ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ

А. Г. Ярцев

Липецкий государственный технический университет

Рассмотрен теплообмен при турбулентном течении в цилиндрическом горизонтальном канале с местным сопротивлением, схема которого представлена на рис. 1.

Задача решалась в программном комплексе ANSYS для следующих геометрических характеристик: диаметр канала – 100 мм, диаметр проходного сечения местного сопротивления варьируется от 80 до 8 мм. В качестве рабочего тела принята вода при параметрах на входе в канал: скорость – 1 м/с, температура – 20 °С. Температура стенок канала постоянна и равна 90 °С. Длина участка до местного сопротивления составляет 1,5 м, длина после – 3 м. Ширина местного сопротивления 5 мм. Принятые длины позволяют добиться получения стабилизированного течения [1].

При прохождении через местное сопротивление происходит отрыв потока от стенок, образование застойных зон и крупномасштабных вихрей, которые влияют на величину коэффициента теплоотдачи.

Максимальное значение локального коэффициента теплоотдачи в зоне действия вихря зависит от диаметра проходного сечения местного сопротивления (рис. 2).

При исследовании было установлено, что при использовании местного сопротивления с диаметром проходного сечения от 24 мм и менее, среднее по длине значение коэффициента теплоотдачи превышает установившееся значение, которое для рассматриваемого случая равно 4000 Вт/(м²·К).

Таким образом, установлено, что местное сопротивление позволяет повысить среднее по длине значение коэффициента теплоотдачи по сравнению с установившимся значением и, следовательно, может использоваться для интенсификации теплообмена. Следует отметить, что длина зоны влияния местного сопротивления на величину коэффициента теплоотдачи на три метра больше длины вихря, при этом длина вихря увеличивается с уменьшением проходного сечения местного сопротивления.

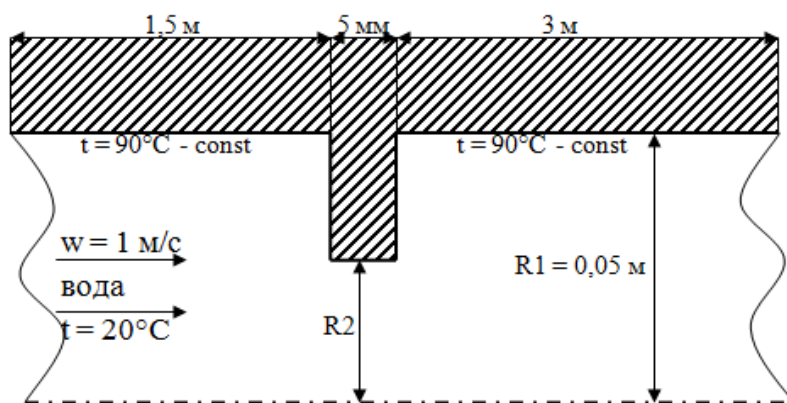


Рис. 1. Схема канала с местным сопротивлением

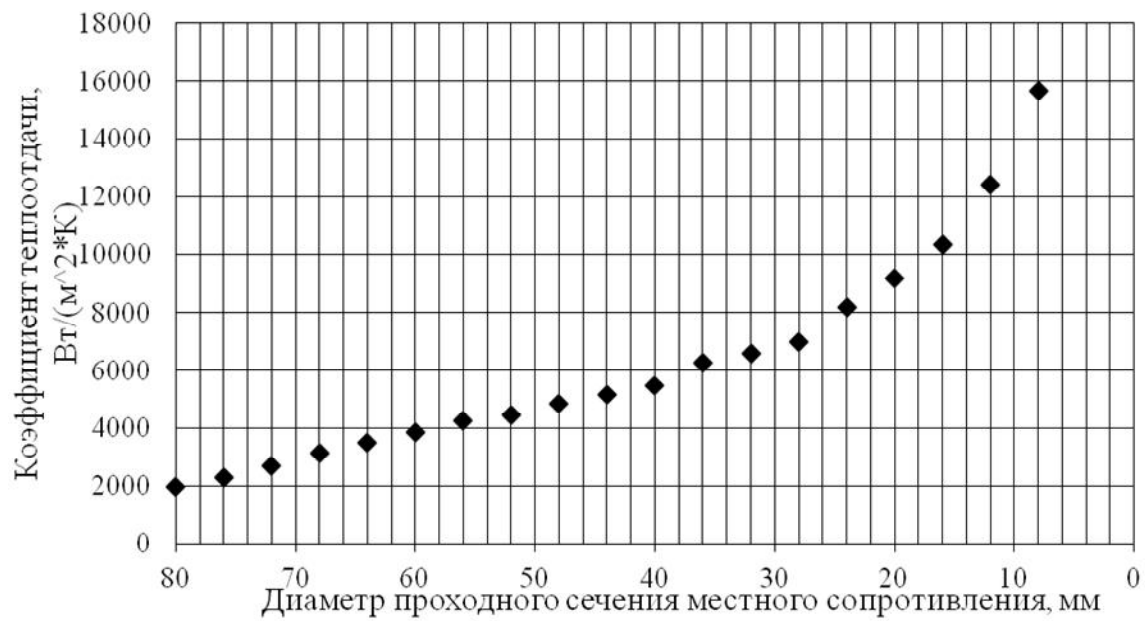


Рис. 2. Зависимость максимального значения локального коэффициента теплоотдачи в зоне действия вихря от диаметра проходного сечения местного сопротивления

Библиографический список

1. **Исаченко, В. П.** Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : Энергия, 1975. – 488 с.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора В. Я. Губарева,
канд. физ-мат. наук, доцента А. Г. Арзамасцева*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЯЧЕЙКЕ ПРИБОРА ИТ-3

А. А. Гусев, О. Е. Богометова, А. А. Андреев, А. А. Анисимов

Тамбовский государственный технический университет

Одним из наиболее перспективных направлений планирования, организации и управления экспериментом является имитационное моделирование (ИМ), которое позволяет получить качественные и количественные оценки возможных последствий принимаемых решений.

Цель ИМ состоит в воспроизведении тепловых процессов исследуемой системы на основе результатов проводимого эксперимента. ИМ позволяет значительно ускорить процесс разработки программного обеспечения, выявить необходимые условия повышения точности и надёжности измерений.

Для моделирования тепловых процессов в измерительной ячейке используется программный продукт *COMSOL Multiphysics* [1].

В процессе моделирования измерительной ячейки не учитывается ряд факторов, влияющих на результат обработки измерительной информации [2].

К основным факторам относятся:

- наличие теплоотдачи с боковых поверхностей образца, резиновых прокладок, тепломера и нагревателя;
- тепловые потери от нагревателя;
- теплообмен теплоотдачей к жидкости, циркулирующей в холодильнике.

Для того, чтобы максимально учесть эти факторы в среде *COMSOL Multiphysics* была разработана модель, описанная ниже.

Решались нестационарная и стационарная задачи теплопроводности. Нестационарная задача теплопроводности решалась для моделирования экспериментальных данных. Стационарная задача теплопроводности решалась в целях определения точных значений температур в стационарных условиях.

Поскольку задача осесимметричная, то достаточно построить только половину системы.

После построения геометрии модели задаются параметры: теплофизические свойства материалов ячейки, начальная температура системы, граничные условия в которые входят условия теплообмена с окружающей средой и температура жидкости в термостате.

На следующей стадии моделирования устанавливаются параметры решения задачи и запускается расчёт. После завершения решения автоматически включается режим постобработки, в котором можно наблюдать результаты вычислений – поле температур в конечный момент времени.

На рисунке 1 изображены графики зависимости значений температуры в точках контроля от времени эксперимента. Из графиков видно, что после 1200 °С температура практически перестаёт изменяться, т.е. эксперимент приближается к стационарной стадии.

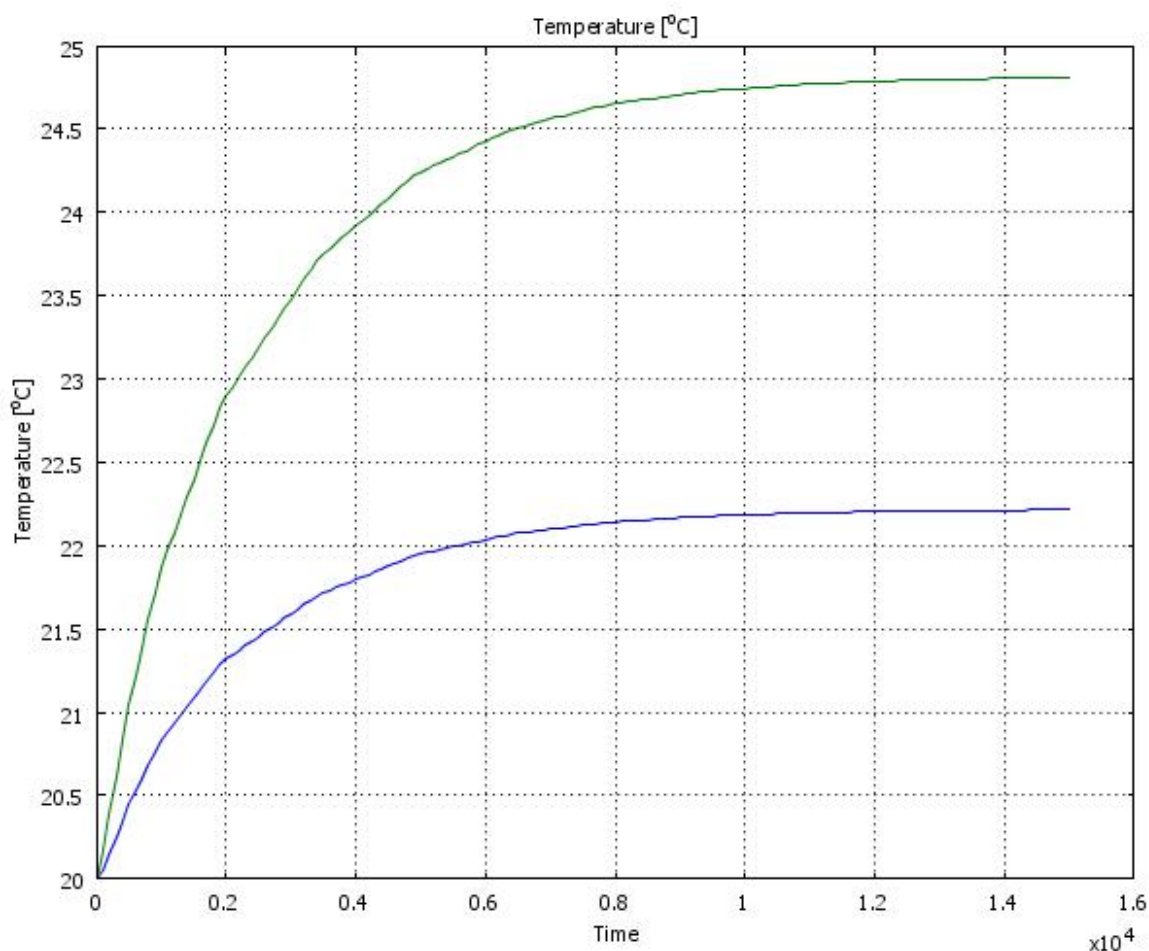


Рис. 1. Зависимость значений температуры в точках контроля от времени

Библиографический список

1. **Красников, Г. Е.** Моделирование физических процессов с использованием пакета Comsol Multiphysics / Г. Е. Красников, О. В. Нагорнов, Н. В. Старостин. – М. : НИЯУ МИФИ, 2012. – 184 с.
2. **Жуков, Н. П.** Многомодельные методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов и изделий : монография / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 288 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента И. В. Рогова*

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ВОЗДУХА НА ПЕРИОД ОСЦИЛЛЯЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ИК-СТИМУЛЯЦИИ СЕМЯН

Д. С. Каименский

*Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева*

Для повышения энергии прорастания и всхожести семян применяют различные способы их стимуляции [1]: скарификация, импакция, обработка семян и плодов щелочами, кислотами и другими веществами, способствующими разрушению семенных покровов, термическая обработка семян, ультрафиолетовое облучение, облучение семян лазерным светом, обработка семян в электромагнитном поле СВЧ. В работе [2] было установлено, что инфракрасная сушка (ИК-сушка) семян, собранных с поля, проводимая в импульсном (осциллирующем) температурном режиме, позволяет не только эффективно высушить семена перед закладкой их на хранение, но и повышает посевные качества семян: вызывает повышение энергии прорастания и всхожести семян. В работе [3] проведены исследования по изучению различных факторов именно на стимуляцию семян этим методом. В дальнейшем будем использовать термин «осциллирующая», а не «импульсная» сушка, поскольку он точнее отображает суть процесса.

В [2, 3] было изучено влияние на осциллирующую ИК-стимуляцию таких факторов, как сортовой вид овощных семян, а также семян нетрадиционных и редких растений (было исследовано 12 различных видов семян), вид излучателей (лампы «КГТ» и «OSRAM», керамический излучатель «ELCER»), плотность лучистого потока, поступающего на семена, начальная влажность семян перед осциллирующей ИК-термообработкой, температурный режим термообработки, продолжительность сохранения стимулирующего эффекта от срока хранения. В [3] было установлено, что наибольший эффект стимуляции имеет место при температурном режиме, при котором температура семян колеблется от $t_{\min} = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{\max} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Невыясненным, однако, остался вопрос о влиянии на эффект стимуляции частоты подачи импульсов при осциллирующей ИК-термообработке. Поскольку осциллирующая ИК-стимуляция проводится при периодическом облучении семян и непрерывном их обдуве воздухом, то частоту подачи импульсов при сохранении температурного режима $t_{\min} = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\max} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ можно варьировать за счёт изменения скорости обдува семян воздухом и температуры воздуха, обдувающего семена. Были проведены эксперименты, показавшие такую возможность (рис. 1, 2). Температуру измеряли бесконтактным термометром Raytek MID с выходом стандартного сигнала 4...20 мА, индикация температуры осуществлялась с помощью двухканального измерителя-регулятора ТРМ202, сигналы от которого передавались на интерфейс марки АС 4, поступали на com-порт ПЭВМ и архивировались в программе Owen Process Manager с возможностью последующей обработки данных. Скорость воздуха измеряли термоанемометром testo 405 с погрешностью 0,1 м/с.

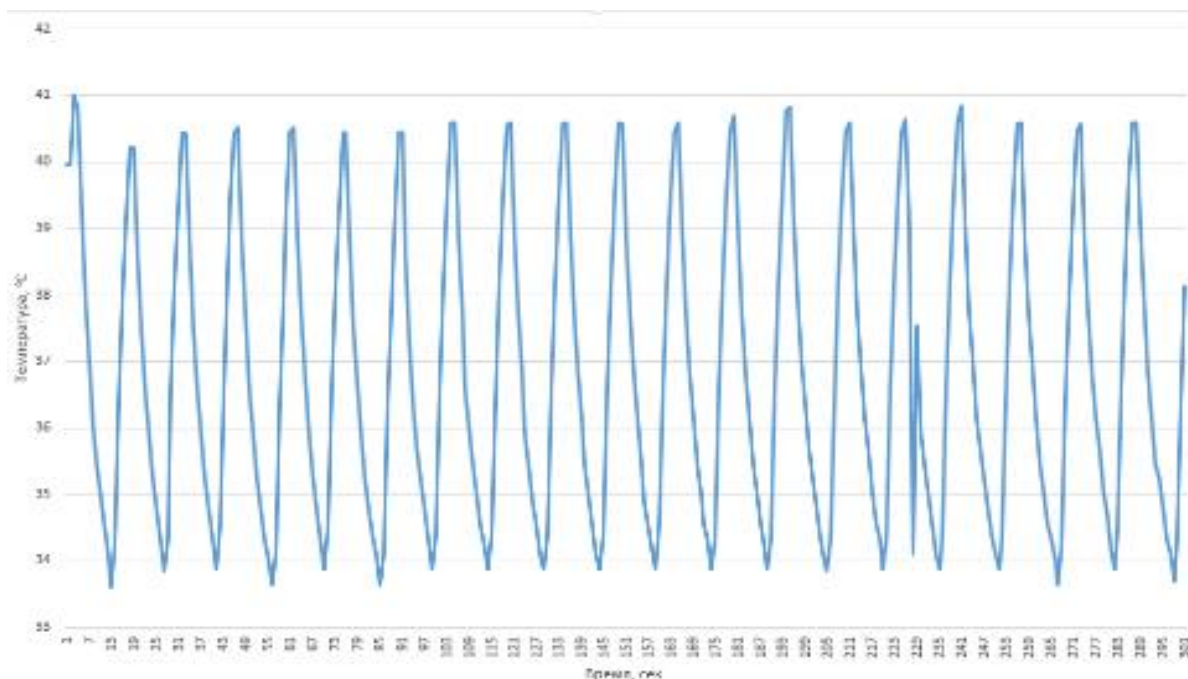


Рис. 1. Осцилляции температуры поверхности семян от $t_{\min} = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{\max} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $t_{\text{возд}} = 22,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{воз}} = 2,4\text{ м/с}$

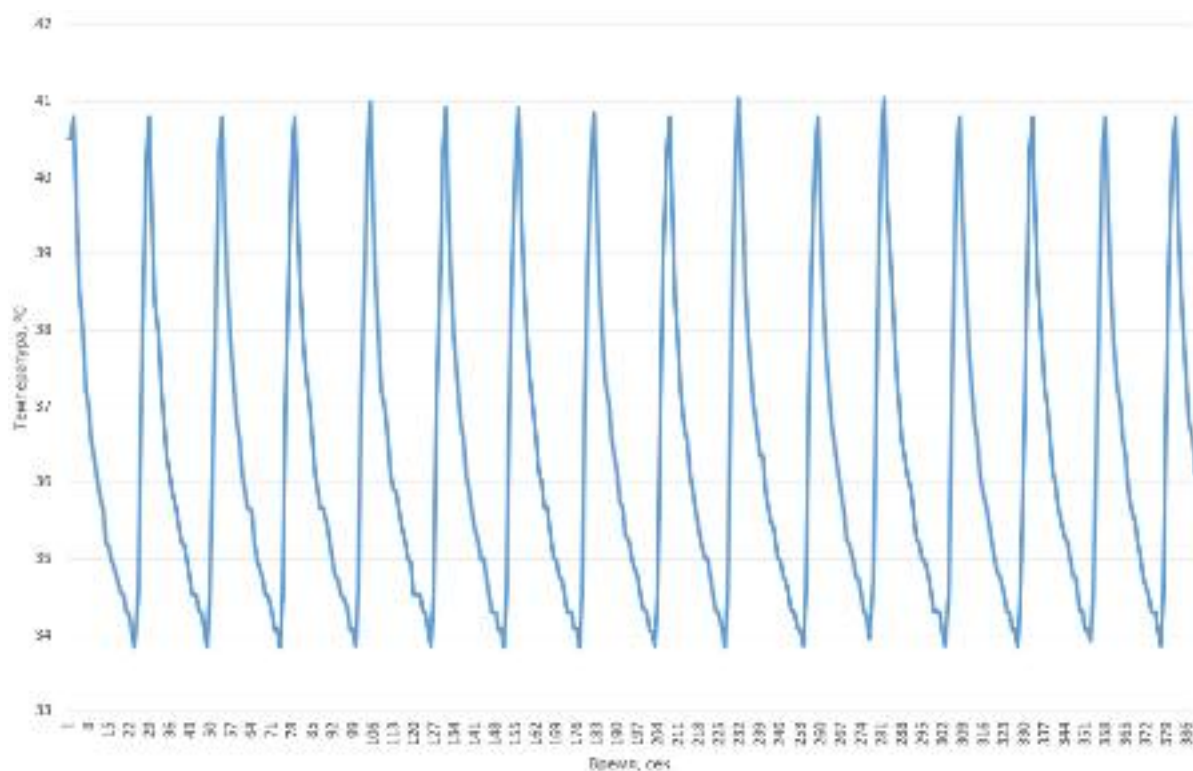


Рис. 2. Осцилляции температуры поверхности семян от $t_{\min} = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{\max} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $t_{\text{возд}} = 22,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_{\text{возд}} = 1\text{ м/с}$

Как видно из представленных рисунков, в первом опыте период осцилляций составлял 15 с, а во втором – 26 с. Таким образом, изменяя скорость воздуха, обдувающе-

го семени, можно изменять длительность цикла осцилляций температуры. Аналогичным образом можно воздействовать на длительность цикла осцилляций, варьируя температуру воздуха, обдувающего семени.

Библиографический список

1. **Физические** факторы в растениеводстве / М. В. Трифонова, О. В. Бляндур, А. М. Соловьев, И. П. Фирсов, А. А. Сиротин, Л. В. Сиротина. – М. : Колос, 1998. – 352 с.
2. **Рудобашта, С. П.** Импульсная инфракрасная сушка семян овощных культур, нетрадиционных и редких растений / С. П. Рудобашта, И. В. Григорьев // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т. 33, № 8. – С. 85 – 90.
3. **Рудобашта, С. П.** Стимуляция семян путём осциллирующей инфракрасной термообработки / С. П. Рудобашта, Г. А. Зуева, Н. А. Зуев // Промышленная теплотехника. – 2013. – Т. 35, № 7. – С. 218 – 222.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора С. П. Рудобаши*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОНАРНЫХ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

А. Ю. Кири

Липецкий государственный технический университет

В настоящее время в сфере производства электроэнергии комбинация парового и газового цикла является самой эффективной. ПГУ достигают КПД более 60%. Для сравнения, у работающих отдельно паросиловых установок КПД обычно находится в пределах 33...45%, для газотурбинных установок – в диапазоне 28...42%.

Большинство работающих и строящихся парогазовых установок делают с раздельными контурами рабочих тел. Они выполняются либо с котлом-утилизатором, в котором пар генерируется только или в основном за счёт отходящей теплоты газовой турбины, либо с парогенератором (так называемая сбросная схема), в котором пар генерируется также и за счёт теплоты топлива.

К следующему типу комбинированных энергоустановок относятся монарные ПГУ, у которых одна парогазовая турбина. В процессе их работы выходные газы ГТУ направляются в котёл-утилизатор, в который подаётся вода питательным насосом. Получаемый на выходе пар поступает в камеру сгорания, смешивается с продуктами сгорания, и образуемая однородная смесь направляется в парогазовую турбину. Удельная стоимость и габариты таких установок существенно меньше, чем у бинарных.

Весь расчёт был произведён на 1 кг сухого воздуха. В процессе работы мы принимаем следующие допущения: процесс адиабатный, воздух и пар имеют постоянные теплоёмкости и молярные массы, пары воды вместе с уходящими газами имеют температуру насыщения при давлении в камере сгорания. Задаёмся начальными параметрами: температура воздуха на входе 293 К, парогазовой смеси в камере сгорания 1300 К, КПД компрессора и турбины соответственно 0,85 и 0,9, коэффициент потерь давления 0,04, температура воды на входе в КУ 288 К. Из уравнения теплового баланса находим количество полученного пара. Теплоёмкость парогазовой смеси рассчитываем через массовые доли её компонентов. После этого цикл полностью повторяется, но перед турбиной рабочим телом уже являются не продукты горения топлива, а парогазовая смесь.

Итоги расчёта представлены на рис. 1 – 3. В зависимости от оптимального значения степени повышения давления (рис. 1), смещающегося на единицу влево, мы получаем повышение КПД на 4,5% в сравнении с ГТУ при начальных параметрах. При $\pi_k = 43$ нам не удаётся получить пар, так как температура насыщения воды оказывается больше температуры уходящей парогазовой смеси и МПГУ начинает работать как обычная ГТУ (рис. 2).

С повышением температуры в камере сгорания увеличение КПД становится ощутимее и уже достигает более 50% при 1550 К (рис. 3). Недостатком МПГУ является то, что пары воды вместе с уходящими продуктами сгорания выбрасываются в атмосферу, что приводит к потере теплоты испарения воды. Этот минус стал причиной того, что контактные установки открытого типа не получили широкого распространения.

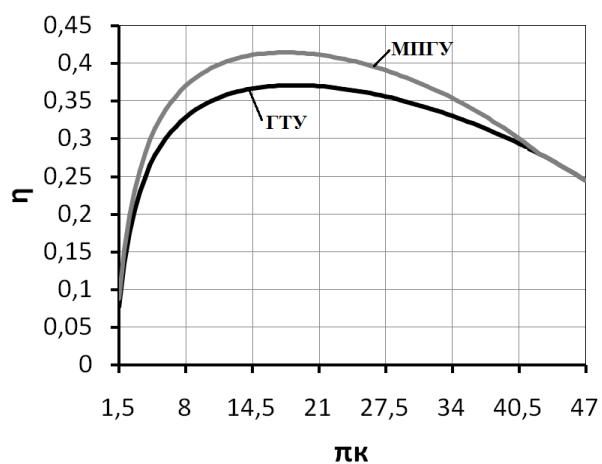


Рис. 1. Зависимость КПД от степени повышения давления

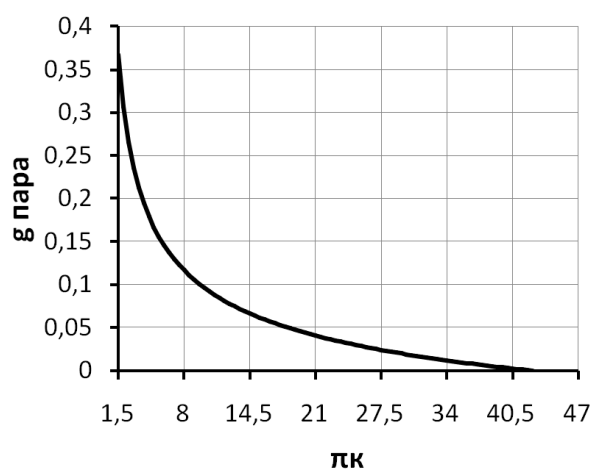


Рис. 2. Зависимость массовой доли пара МПГУ от степени повышения давления

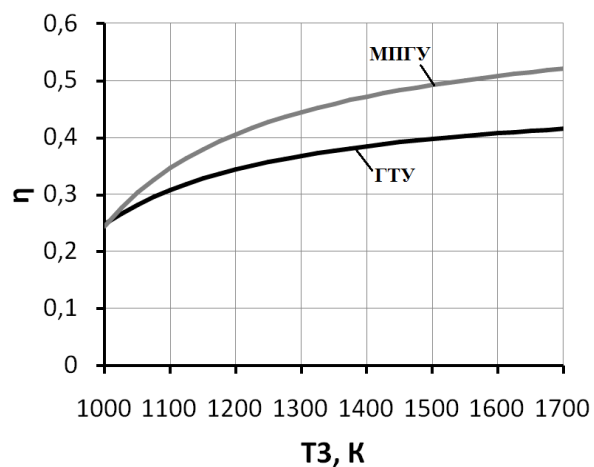


Рис. 3. Зависимость КПД от температуры в камере сгорания

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, профессора В. Я. Губарева*

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДЛЯ СИСТЕМ С ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ

Д. А. Колесников

Липецкий государственный технический университет

В настоящее время на рынке всё больше востребованы высокочастотные преобразователи энергии. Особенно сильно это можно увидеть в промышленной сфере. В связи с этим к инверторам предъявляются различные требования по надёжности, отказоустойчивости, гибкости, энергоэффективности и т.д. Одним из способов, чтобы качественно повлиять на тот или иной критерий, можно прибегнуть к составлению нужного алгоритма управления устройства. Например, в области индукционного нагрева.

Цель данной работы заключается в создании универсальной высокочастотной схемы управления для инвертора, которая будет входить в резонанс с LC-контуром для систем с индукционным нагревом.

Был построен экспериментальный высокочастотный однофазный инвертор напряжения. Схема управления была собрана на ШИМ-генераторе, который выдавал стабильные двухполярные сигналы управления на ключи.

Были произведены испытания инвертора на активную и индуктивную нагрузку. В ходе испытаний инвертор работал устойчиво и не давал сбоев на всём диапазоне регулирования выходной частоты.

В дальнейшем планируется сделать универсальную схему управления на базе микроконтроллера серии Piccolo F2806x фирмы Texas Instruments, которая будет автоматически искать и входить в резонанс с LC-контуром.

Библиографический список

1. **Семенов, Б. Ю.** Силовая электроника: от простого к сложному / Б. Ю. Семенов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с.
2. **Мелешин, В. И.** Транзисторная преобразовательная техника / В. И. Мелешин. – М. : Техносфера, 2005. – 632 с.
3. **Зиновьев, Г. С.** Основы силовой электроники : учебник / Г. С. Зиновьев. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000. – Ч. 2. – 197 с.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора В. Н. Мецеракова*

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛОГО ДОМА В Г. ТАМБОВЕ

О. В. Леонова

*Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»*

Проблема рационального потребления и распределения тепловой энергии системами отопления по-прежнему актуальна, так как при климатических условиях России системы отопления жилых зданий являются наиболее энергоёмкими из инженерных систем [1]. Объектом исследования выступает система отопления многоквартирного жилого дома в г. Тамбове, предметом – внедрение мероприятий по совершенствованию качества теплоносителя в системе отопления, а также мер для достижения рационального использования тепловой энергии.

В работе проведена оценка энергоэффективности ограждающих конструкций и рассчитана экономия тепловой энергии за счёт установки БМР (блочный модуль регулирования) температуры теплоносителя. В таблице 1 приведены основные показатели энергетической эффективности.

Таким образом, экономия тепловой энергии от установки БМР составит 10,76% от годового потребления на отопление.

Личный вклад заключается в проведении анализа системы отопления и выявлении в ней аспектов оптимизации, во внедрении комплекса КИП и автоматики.

Полученные результаты совершенствования данной системы отопления могут быть распространены и на другие типы систем отопления.

1. Показатели энергетической эффективности БМР

Параметры	Значение
Экономия за счёт установки БМР	10,76 %
Экономия от устранения перетопа в осенне-весенний период отопительного сезона	2,7 %
Экономия от снижения отпуска тепла в ночное время	2,3 %
Экономия за счёт учёта поступлений от солнечной радиации и бытовых теплопоступлений	5,76 %

Библиографический список

1. **Проектирование** систем отопления и вентиляции зданий : учебное пособие / А. А. Балашов, Н. Ю. Полунина, В. А. Ивановский, Д. С. Кацуба. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 172 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента А. А. Балашова*

РАЗДЕЛЕНИЕ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ ПУТЁМ СОЧЕТАНИЯ ПРОЦЕССОВ РЕКТИФИКАЦИИ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Б. К. Оразов, М. В. Михайлов

Московский технологический университет (МИТХТ), Россия, Москва

Для разделения и очистки веществ от примесей используются различные массообменные процессы (абсорбция, дистилляция, ректификация, экстракция, кристаллизация и др.). Каждый из них имеет свои области технологически возможного и экономически оправданного применения. Часто ограничения в использовании того или иного процесса связано с физико-химическими свойствами разделяемых смесей и наличием на диаграммах разделения фаз особых точек (азеотропных, эвтектических, и др.). Границы возможного разделения могут быть существенно расширены при применении сочетания нескольких массообменных процессов [1, 2]. Однако использование таких сопряжённых методов разделения часто связано со значительными энергетическими затратами, что обусловлено необходимостью нагрева и охлаждения потоков разделяемых смесей при их передаче с одной стадии разделения на другую.

В рамках данной работы рассматривалось разделение бинарных смесей (нафталин–дифенил, п-ксилол–бензол и т.д.) путём сочетания процессов ректификации и фракционной кристаллизации. Проанализировано несколько вариантов сопряжения данных процессов для разделения бинарных смесей, которые имеют на диаграмме равновесия фаз «жидкость–твёрдое» эвтектические точки. Наиболее подробно были рассмотрены варианты разделения, в которых один из продуктов получается путём кристаллизации, а другой путём ректификации в виде дистиллята или кубового остатка, причём для прохождения эвтектической точки использовалась стадия ректификации. При этом исходную смесь в зависимости от использованного варианта подавали или на стадию кристаллизации, или на стадию ректификации. Было проанализировано влияние различных технологических параметров (исходной концентрации смеси, концентрации кубового остатка и дистиллята, температуры фракционирования на стадии кристаллизации, теплофизических свойств разделяемых смесей) на выход продуктов разделения, их состав, а также на энергетические затраты, связанные с таким разделением. Исследования показали, что организация рекуперативного теплообмена между потоками маточника, дистиллята и кубового остатка позволит существенно уменьшить энергетические затраты на процесс разделения.

Ещё больше снизить затраты тепловой энергии на процесс разделения можно при использовании тепловых насосов на стадиях рекуперативного теплообмена между рециркулирующими потоками [3]. Учитывая это, в рамках данной работы нами был также выполнен анализ эффективности применения компрессорных тепловых насосов закрытого типа при разделении бинарных смесей путём сочетания процессов ректификации и фракционной кристаллизации. При этом было установлено влияние основных параметров работы теплового насоса (температуры, давления, степени сжатия вторич-

ных паров и др.) на энергетическую эффективность исследуемого процесса разделения. Показано, что применение тепловых насосов при проведении сопряжённых процессов ректификации и фракционной кристаллизации позволяет существенно снизить (иногда в несколько раз) энергетические затраты на проведение таких процессов.

Библиографический список

1. **Гельперин, Н. И.** Разделение смесей путём сочетания некоторых массообменных процессов / Н. И. Гельперин, Г. А. Носов // Химическая промышленность. – 1979. – № 11. – С. 677 – 681.
2. **Гельперин, Н. И.** Разделение расслаивающихся смесей путём сочетания процессов ректификации и фракционной кристаллизации / Н. И. Гельперин, Г. А. Носов // Химическая промышленность. – 1984. – № 8. – С. 38 – 40.
3. **Носов, Г. А.** Разделение смесей путём сочетания процессов кристаллизации и непрерывной дистилляции с использованием тепловых насосов / Г. А. Носов, В. И. Бельская, В. С. Жильцов // Вестник МИТХТ. – 2014. – Т. 9, № 3. – С. 31 – 35.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора Г. А. Носова*

ЭЛЕКТРООБОГРЕВ ГРУНТА В ТЕПЛИЦЕ

А. А. Похунков, З. Е. Юшина, И. А. Воронина

Тамбовский государственный технический университет

Использование теплиц помогает решить в сельском хозяйстве множество проблем. Для сохранения постоянной температуры воздуха и равномерного прогревания почвы в теплицах в целях круглогодичного выращивания садовых, овощных и других культур используются специальные системы обогрева [1]. Существуют следующие варианты обогрева теплиц: солнечный; биологический; электрический; водяной; воздушный; газовый; печной.

Электрообогрев почвы несёт в себе незначительные капиталовложения при строительстве. Благодаря электрическому подогреву почвы теплицы можно раньше вводить в эксплуатацию. Применение данного типа обогрева даёт более длительный срок вегетации, а также более интенсивный рост растительности. Возможность установки различных температурных режимов для разных этапов развития растений повышает урожайность продукции. При прогревании почвы осенью появляется возможность более эффективного использования парников и теплиц [2].

Работы по монтажу нагревательного кабеля отличаются низкой себестоимостью и достаточной эффективностью. Его укладка осуществляется непосредственно в грунт. Тепловая энергия находится на уровне растений, что делает возможным их выращивание даже в самые суровые зимы.

Новейшей разработкой в сфере электрического отопления являются инфракрасные обогревательные приборы. Различают два основных типа обогревателей:

- керамические приборы с инфракрасными излучателями;
- инфракрасные лампы, схожие по строению с обычной лампой.

В целях исследования подогрева грунта в теплице планируется проведение опыта. Установлено, что наиболее перспективными техническими средствами подогрева грунта могут быть устройства, выполненные на базе саморегулируемых полупроводниковых нагревательных элементов (позисторов). Позисторы обладают свойствами саморегулирования без использования дополнительных устройств контроля и регулирования, компактны, выходят из строя лишь при механическом разрушении и имеют высокий срок службы (40 000 ч), минимальные затраты при монтаже, устойчивость работы при низких температурах.

Библиографический список

1. **Мэклин, Э. Д.** Терморезисторы / Э. Д. Мэклин ; под общ. ред. К. И. Мартюшова. – М. : Радио и связь, 1983. – 208 с.
2. **Кочергин, С. В.** Энергосберегающее саморегулируемое устройство электроподогрева моторного масла для двигателей внутреннего сгорания в зимний период / С. В. Кочергин // Труды ТГТУ : сб. науч. тр. Тамб. гос. техн. ун-та. – Тамбов, 2002. – № 11. – С. 126 – 130.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

К. С. Савинова

Тамбовский государственный технический университет

Аннотация: проанализировано измерение температуры методом наименьших квадратов для сравнения полученных характеристик с эталонной на примере градуировки измерения температуры одним датчиком [Пат. № 2118802 РФ].

Цель: показать эффективность аналитической калибровки относительно статистических характеристик.

Задача заключается в нахождении коэффициентов зависимости, при которых функция переменных принимает наименьшее значение. Следовательно, при данных коэффициентах сумма квадратов отклонений экспериментальных данных от найденной прямой будет наименьшей. В этом вся суть метода наименьших квадратов, соответственно, решение примера сводится к нахождению экстремума функции нескольких переменных.

Убедимся в достоинстве аналитической калибровки на примере прототипа способа дистанционного измерения давления и температуры в скважине одним датчиком и устройства для его осуществления.

Используя метод наименьших квадратов:

- аппроксимированы данные линейной, квадратичной, кубической и экспоненциальной зависимостями температуры от сопротивления;
- найдены коэффициенты a и b , c , d ;
- выяснить, какая из градуировочных характеристик ближе к калибровочной.

Задача решена по следующему алгоритму:

- 1) заданы i -е границы диапазона температуры T и сопротивления R ($i = 0, 1, 2, 3$);
- 2) найдены вспомогательные величины;
- 3) получены коэффициенты a , b , c , d методом Крамера;
- 4) найдено уравнение регрессии;
- 5) по полученному уравнению регрессии построены графики характеристик температуры от сопротивления и погрешности относительно эталона.

Моделирование проведено в среде MATLAB.

Выводы о проделанной работе:

1. Калибровочная характеристика имеет высокую метрологическую эффективность относительно линейной, квадратичной, кубической и экспоненциальной функций.
2. Сравнив эталонную и линейную характеристики, видно, что погрешность колоссальна (около 175%).
3. При сравнении эталонной и квадратичной функций видно, что погрешность составляет около 100%.

4. Наиболее приближёнными к эталону являются кубическая и экспоненциальная функции (50 и 45% соответственно).

Библиографический список

1. **Глинка, Е. И.** Технология АЦП / Е. И. Глинка, М. Е. Глинка. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2008.

2. **Пат. № 2118802 РФ, G01K7/16, G01L1/22.** Способ дистанционного измерения давления и температуры в скважине одним датчиком и устройство для его осуществления [Текст] / Ю. Д. Коловертнов и др.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора С. В. Фролова*

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СПОСОБА И УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ОДНИМ ДАТЧИКОМ

Д. Д. Семенов

Тамбовский государственный технический университет

Способ измерения давления и температуры одним датчиком интенсивно развивался с 1995 по 1997 гг., поэтому необходимо рассмотреть тенденции развития данного технического решения для прогнозирования его дальнейшего развития.

Способ дистанционного измерения давления и температуры в скважине одним датчиком заключается в подаче тока на диагональ питания тензомоста и измерении напряжения на измерительной диагонали. При смене направления тока питания тензомоста совмещают питающую и измерительную диагонали. Измеряют второе напряжение. Значение давления и температуры определяют расчётным путём. Устройство для дистанционного измерения давления и температуры в скважине с одним датчиком содержит тензомост, четырёхпроводную линию связи и источник тока. Введены две развязывающие диодные цепочки. Диодные цепочки подключены одними выводами к источнику тока, а другими выводами – параллельно тензорезисторам. Тензористоры включены в противоположные плечи тензомоста [1].

В дальнейшем конструкция устройства была упрощена, были убраны развязывающие диодные цепочки, а четырёхпроводная линия связи заменена на трёхпроводную [2].

В последнем поколении представленных измерительных устройств тензомостовой датчик был заменён делителем напряжения, содержащим тензорезисторы. Помимо этого, данное техническое решение содержит два диода [3].

В результате анализа эволюции способа и устройства измерения давления и температуры одним датчиком можно выявить следующие закономерности развития данного изобретения:

1. Эволюция данного технического решения идёт в сторону уменьшения числа элементов.
2. Авторы, участвующие в разработке данного способа, по возможности, стремятся избавиться от нелинейных элементов в измерительном устройстве.

Таким образом, можно сделать вывод, что у следующих поколений приведённых измерительных устройств будет увеличена линейность преобразования сигнала благодаря сокращению числа нелинейных элементов.

Библиографический список

1. Пат. 2118802 РФ, МПК8 G01K7/16. Способ измерения давления и температуры одним датчиком и устройство для его осуществления / Ю. Д. Коловертнов, Г. Ю. Коловертнов. – № 1996 128278/14 ; заявл. 16.09.1996 ; опубл. 10.09.1998. – Бюл. № 5.
2. Пат. 2091578 РФ, МПК8 G01K7/16. Способ измерения давления и температуры одним датчиком и устройство для его осуществления / Ю. Д. Коловертнов, Г. Ю. Коловертнов. – № 1995 128278/14 ; заявл. 04.10.1995 ; опубл. 27.09.1997. – Бюл. № 5.
3. Пат. 2118802 РФ, МПК8 G01K7/16. Способ измерения давления и температуры одним датчиком и устройство для его осуществления / Ю. Д. Коловертнов, Г. Ю. Коловертнов. – № 1996 128278/14 ; заявл. 27.03.1996 ; опубл. 20.11.1997. – Бюл. № 5.

Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Е. И. Глинкина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДНОГО РАСТВОРА БРОМИДА ЛИТИЯ В СРЕДЕ MATLAB

Б. А. Стромов, Аль-Антаки Ахмед М. А., О. Е. Богометова

Тамбовский государственный технический университет

Одной из задач, стоящих перед современным инженером при проектировании и назначении режимов работы различных тепломассообменных установок, является разработка программного обеспечения, обеспечивающего автоматизацию расчётов.

В настоящее время для повышения эффективности работы газотурбинных установок (ГТУ) широко используются абсорбционные холодильные машины (АБХМ).

В качестве рабочего тела в абсорбционных холодильных установках в последнее время широко используется водный раствор бромида лития [2].

При расчётах бромисто-литиевых АБХМ необходимо знать теплофизические свойства раствора в широком диапазоне температур и концентраций. Зачастую, для этих целей используют табличные справочные данные [1], что неудобно при расчётах с использованием современной вычислительной техники. Более рациональным является получение по табличным данным аппроксимационных зависимостей.

Автоматизация вычислений с помощью программного комплекса MATLAB значительно упрощает работу инженеров [3]. В частности, аппроксимационные зависимости могут быть получены стандартными средствами среды MATLAB. К основным свойствам раствора бромида лития относят: поверхностное натяжение; кинематическую вязкость; динамическую вязкость; теплопроводность; изобарная теплоёмкость.

В качестве примера приведём полученную функциональную зависимость динамической вязкости от абсолютной температуры (T , К) и массовой доли (ζ , %) (рис. 1).

$$\ln(\eta) = A_{00} + \frac{A_{10}}{T} + A_{01}\zeta + \frac{A_{20}}{T} + \frac{A_{11}}{T}\zeta + \\ + A_{02}\zeta^2 + \frac{A_{21}}{T^2}\zeta + \frac{A_{12}}{T}\zeta^2 + A_{03}\zeta^3.$$

Коэффициенты соответственно равны:

$$\begin{aligned} A_{00} &= -0,14431327912; & A_{10} &= -2044,5681515; \\ A_{01} &= 0,041659794864; & A_{20} &= 611498,64959; \\ A_{11} &= 11,679245083; & A_{02} &= -0,0017264708745; \\ A_{21} &= -5162,1129442; & A_{12} &= 0,34521580606. \end{aligned}$$

$$A_{03} = 1,2864210113 \cdot 10^{-5};$$

На рисунке 1 приведены зависимости коэффициента динамической вязкости от температуры при различных концентрациях бромида лития. Маркерами обозначены справочные данные, а сплошными линиями – рассчитанные по аппроксимационной зависимости.

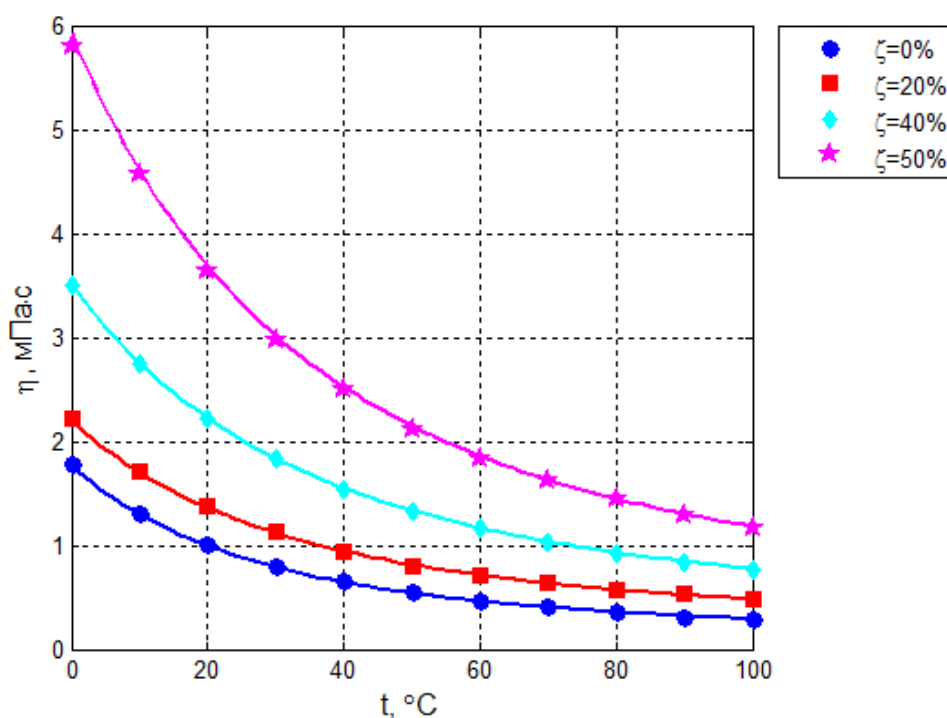


Рис. 1. Коэффициент динамической вязкости от абсолютной температуры и массовой доли

Библиографический список

1. **Холодильная техника.** Кондиционирование воздуха. Свойства веществ : справочник / С. Н. Богданов, С. И. Бурцев, О. П. Иванов, А. В. Куприянова ; под ред. С. Н. Богданова. – СПб. : СПбГАХИТ, 1999. – 320 с.
2. **Орехов, И. И.** Абсорбционные преобразователи теплоты / И. И. Орехов, Л. С. Тимофеевский, С. В. Караван. – Л. : Химия, 1989. – 208 с.
3. **Дьяконов, В. П.** MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения / В. П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2009. – 800 с.
4. **Химмельблау, Д.** Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау. – М. : Мир, 1973. – 957 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента И. В. Рогова*

**РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
МНОГОСЛОЙНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ
С НЕПРЕРЫВНЫМ КОНТРОЛЕМ КАЧЕСТВА**

А. А. Сулеев

Тамбовский государственный технический университет

В современной технике всё большее применение находят слоистые композиционные материалы, в том числе биметаллические изделия, так как именно композиционные материалы позволяют получать изделия с высокой повышенной коррозионностойкостью, электропроводимостью, износостойкостью и т.д. В то же время всё более актуальным становится вопрос разработки и применения энергосберегающих технологий производства таких материалов.

В данной работе предлагаются пути модернизации существующих методов производства слоистых металлических материалов, позволяющих снизить энергозатраты за счёт исключения операций промежуточного отжига, сократить сроки производства и повысить качество готового материала за счёт введения информационно-измерительной системы контроля характеристик качества.

Решение поставленной задачи лежит в модернизации традиционных способов холодной совместной прокатки биметаллических материалов с одновременным воздействием на него импульсным током высокой плотности и последующим контролем характеристик качества готового биметалла. Контроль качества ведётся непосредственно в процессе производства неразрушающими методами.

В состав информационно-измерительной системы входят отдельные каналы для контроля геометрических параметров исходных заготовок после их подготовки к планированию, контроля прочности соединения слоев и соотношения их толщин после совместной холодной прокатки, а также определения скорости материала до и после прокатного стана [1, 2].

Особенность предлагаемого метода состоит в том, что традиционная совместная прокатка листового материала осуществляется под действием импульсного тока высокой плотности, что приводит к проявлению так называемого электропластического эффекта. Данный эффект был открыт ещё в 1970 г. и применяется в основном при пластической деформации одиночных материалов (волочение проволоки, прокатка листовой стали и т.п.). В нашей работе предлагается использование данного эффекта для прокат-

ки биметалла, что позволит повысить прочность соединения слоёв за счёт временного разупрочнения материалов и повышения их пластичности под действием эффекта.

Рассмотрим процессы теплообразования в результате воздействия импульсов тока при прокатке двух разнородных материалов (рис. 1).

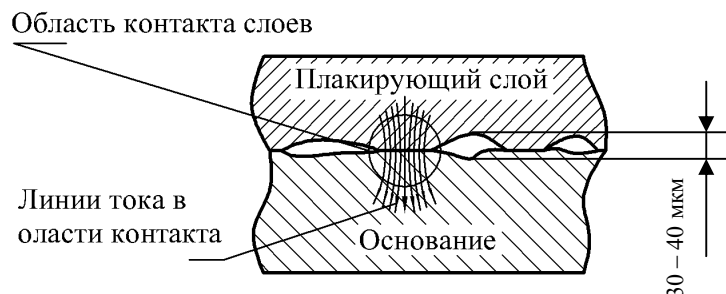


Рис. 1. Несовершенство контакта двух слоёв биметалла

Известно, что под воздействием тока изменяется температура вещества, при этом его энергия увеличивается в соответствии со следующим законом:

$$Q = cm\Delta T = P_{\text{им}} t_{\text{им}} = U I t_{\text{им}} = U I S t_{\text{им}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{им}}$ – мощность импульса; U – напряжение импульсного тока; I – ток; J – плотность тока; S – площадь, через которую протекает ток; t – время импульса.

Из данного выражения определим изменение температуры от параметров действующего тока:

$$\Delta T = \frac{U t_{\text{им}}}{c_{\text{ср}} d_c S g_{\text{ср}}}. \quad (2)$$

Далее проведём оценку толщины диффузионного слоя для одномерного случая по следующей формуле:

$$x = \sqrt{-4D_0 e^{-\frac{E_0}{RT} t_{\text{им}}} \ln \frac{c}{\sqrt{\frac{1}{4\pi D_0 e^{-\frac{E_0}{RT} t}}}}}, \quad (6)$$

где D – коэффициент диффузии; E_a – энергия активации; R – газовая постоянная; t – время взаимодействия; T – абсолютная температура; D_0 – предэкспоненциальный множитель; x – глубина проникновения диффундирующей материи; c – плотность вероятности нахождения атомов на расстоянии x в течение времени t .

Расчёты показали, что температура в зоне контакта слоёв под действием импульсного тока достигает значений порядка 1400 °K, это приводит к образованию твёр-

дого раствора двух материалов, при этом толщина слоя проникновения одного материала в другой составляет примерно $d_{\text{сл}} = 2,5 \cdot 10^{-5}$ м по всей площади, находящейся в зоне пластической деформации. Это позволяет сделать вывод, что данная технология производства обеспечивает надёжное соединение слоёв с гарантированной диффузией одного слоя в другой, что в свою очередь способствует снижению давления на валки и исключению последующей энергозатратной операции отжига для нормализации структуры.

Библиографический список

1. **Москвитин, С. П.** Разработка комплексного метода контроля характеристик качества биметалла в процессе производства : дис. ... канд. тех. наук. – Тамбов, 2009.
2. **Пат. 2356711.** Российская Федерация, В 23 К 20/4, В 32 В37/10, 21 В 38/00. Способ изготовления биметалла / С. П. Москвитин, А. П. Пудовкин, Е. Е. Чванов ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2007122210/02 ; заявл. 13.06.07 ; опубл. 27.05.09. – Бюл. № 15. – 11 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента С. П. Москвитина*

АНАЛИЗ НАДЁЖНОСТИ СЕТЕЙ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МИКРОРАЙОНА «ТРАКТОРНЫЙ» ГОРОДА ЛИПЕЦКА

А. Е. Фролов

Липецкий государственный технический университет

В настоящее время в России, в том числе и в городе Липецке, преобладают централизованные системы теплоснабжения (ЦСТ).

Теплоснабжение зданий микрорайона «Тракторный» города Липецка осуществляется централизованно от липецкой ТЭЦ-2. На микрорайоне применён метод повышения надёжности путём кольцевания тепловых сетей. В настоящее время сеть насчитывает двенадцать закольцованных участков (рис. 1, а).

Во время отопительного периода в жилых домах, находящихся на территории микрорайона, наблюдается как систематический недогрев, так и перегрев отопительных приборов в системах отопления зданий. Похожая проблема имеется во многих городах России, и этому есть ряд разумных объяснений:

- 1) уход от центрального качественного регулирования тепловой нагрузки;
- 2) подключение новых зданий и сооружений к действующей сети не сопровождалось соответствующей корректировкой отпуска теплоты;
- 3) переход на пониженный температурный график отпуска теплоты изменений в расчётный гидравлический режим тепловых сетей;
- 4) отсутствие комплексного учёта факторов, влияющих на эффективность теплоснабжения.

Плюсом и, одновременно, минусом кольцевых сетей является способность и необходимость поддержания в них стабильного гидравлического режима. Поэтому рациональное использование такого метода весьма ограничено. Кольцевание обычно выполняют для крупных населённых пунктов, теплоснабжение которых осуществляется от нескольких источников.

В случае с ЦСТ микрорайона «Тракторный» города Липецка рекомендуется отступить от закольцованности путём приведения определённой запорной арматуры в закрытое состояние (рис. 1, б) и условно разбить сеть на определённое количество ветвей, т.е., конфигурацию тепловой сети привести к тупиковой (радиальной) схеме. При этом в момент аварии секционирующие задвижки, закрывая или открывая те или иные участки, помогут избежать полного отказа системы.

Расположение секционирующих задвижек выбиралось так, чтобы по ходу движения теплоносителя по каждой ветви с уменьшением расхода теплоносителя не наблюдалось увеличения диаметра трубопровода (рис. 1, б).

С помощью программы Zulu было установлено, что при размыкании кольцевого режима, самый «проблемный» потребитель будет снабжён необходимым количеством теплоносителя с достаточным напором, а значит предлагаемое изменение конфигурации тепловой сети вполне приемлемо.

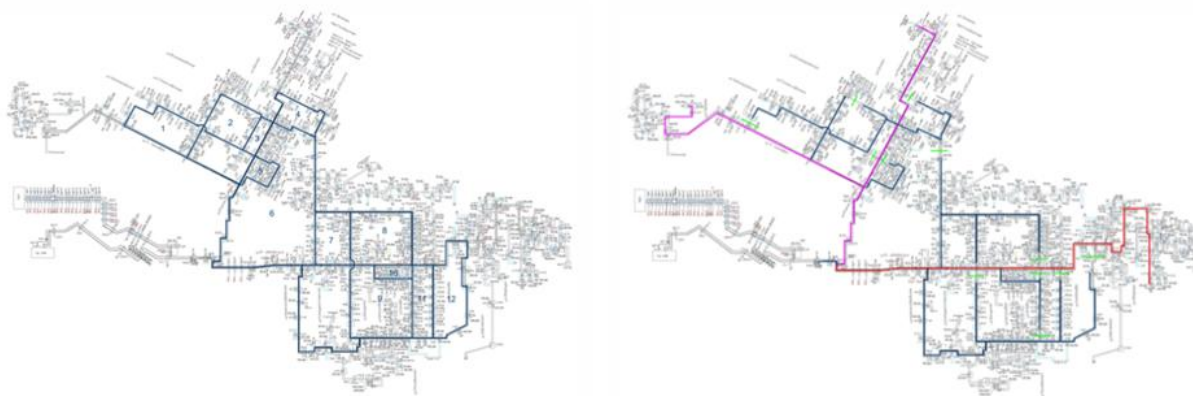


Рис. 1. Схема теплоснабжения микрорайона «Тракторный» города Липецка:

а – существующая; *б* – предлагаемая

Для правильной корректировки гидравлического режима необходимо выполнить гидравлическую увязку каждого потребителя путём варьирования режимами работы регулирующей арматуры, а значит, длинами путей движения воды для отдельных ветвей.

Для определения надёжности тепловой сети разработана методика, согласно которой определены значения реального и допустимого показателей надёжности.

Библиографический список

1. **Ионин, А. А.** Надёжность систем тепловых сетей / А. А. Ионин. – М. : Стройиздат, 1989. – 265 с.
2. **СП 124.13330.2012.** Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02–2003.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента В. А. Стерлигова*

ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА В СОВРЕМЕННЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЯХ

А. Э. Клещина, А. В. Пешкова

Липецкий государственный технический университет

Ни для кого не секрет, что тепловая изоляция ограждающих конструкций, как в промышленных, так и в жилых помещениях, играет немаловажную роль. Правильный выбор вида и толщины изоляционного слоя позволяют существенно сократить энергопотребление, что в свою очередь позволяет экономить денежные средства потребителей.

В холодный период года теплоизоляция создаёт дополнительное термическое сопротивление, тем самым уменьшает потери тепла, обеспечивает относительное постоянство температуры в помещениях в течение суток при колебаниях температуры наружного воздуха, а в тёплый период года не позволяет тёплым потокам воздуха проникать внутрь помещения. Для расчёта толщины теплоизоляционного слоя необходимо определить сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции исходя из требований санитарных норм и энергосбережения. Нормативное значение приведённого сопротивления теплопередаче следует принимать не менее нормируемых значений, определяемых по [1], в зависимости от градусо-суток района строительства.

Объектом исследования является реальный многоэтажный дом, расположенный по адресу: г. Липецк, ул. Свиридова, д. 10, ограждающими конструкциями которого являются: трёхслойная стена, состоящая из газосиликатного блока, силикатного и керамического кирпича, без воздушной прослойки, однослойная стенка из силикатного кирпича и двойное остекление. Оптимальная температура воздуха в жилой комнате составляет $t_{\text{ком}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, расчётная температура наружного воздуха $t_{\text{н.о}} = -27\text{ }^{\circ}\text{C}$, средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{\text{н.ср}} = -3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а продолжительность отопительного сезона $n = 202$ сут [2]. Для оценки тепловой защиты здания было найдено нормативное значение сопротивления стены, равное $R_{\text{норм. ст}} = 3,054\text{ м}^2 \times ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ [1] и фактическое термическое сопротивление $R_{\text{ф. ст}} = 1,78\text{ м}^2 \times ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. Вычислено нормативное значение сопротивления оконного проёма $R_{\text{норм. ок}} = 0,52\text{ м}^2 \times ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ и фактическое значение $R_{\text{ф. ок}} = 0,4628\text{ м}^2 \times ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Очевидно, что фактическое термическое сопротивление меньше требуемого. Это приведёт к большим потерям тепла в зимнее время и к увеличению проникновения тёплых потоков воздуха в летний период. Всё это увеличивает энергопотребление и плату за коммунальные услуги.

Библиографический список

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий / Госстрой России. – М. : ГУП ЦПП, 2004. – 28 с.
2. СП 131.13330.2012. Строительная климатология / Госстрой России. – М. : ГУП ЦПП, 2000. – 57 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента А. И. Шарапова*

С е к ц и я 2

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

ГРАФИК НАГРУЗКИ

Аль Аджраш Б. Х. Ф., А. А. Жеребятьев

Тамбовский государственный технический университет

Основой рационального решения комплекса вопросов, связанных с проектированием и эксплуатацией электрических сетей всех классов напряжений, является количественная информация об электрических нагрузках. Определение электрических нагрузок является первым этапом проектирования системы электроснабжения.

По величине электрических нагрузок выбирают и проверяют электрооборудование системы электроснабжения, определяют потери мощности и электроэнергии. От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты на систему электроснабжения, эксплуатационные расходы, надёжность работы электрооборудования.

Знание способов расчёта электрических нагрузок совершенно необходимо как при проектировании системы электроснабжения, так и при эксплуатации действующих электрических сетей, так как часто появляются новые потребители, желающие получить разрешение на подключение к действующим электрическим сетям.

Электрическая нагрузка – величина непрерывно изменяющаяся: одни потребители включаются, другие отключаются, изменяется мощность, потребляемая электродвигателями из сети, растёт уровень электрификации быта. Изменения нагрузки во времени принято изображать в виде графика нагрузки.

График нагрузки – это зависимость активной, реактивной или полной мощности от времени. Графики нагрузки строят суточные (изменение нагрузки от 0 до 24 часов) и годовые (от 0 до 8760 часов).

Суточные графики строятся на действующих объектах по показаниям счётчиков активной и реактивной энергии, производимым каждый час. Графики дают среднее значение нагрузок в течение часа и должны строиться ступенями.

Для суточного графика характерны следующие величины: максимум активной нагрузки; максимум реактивной нагрузки; коэффициент мощности максимума; суточный расход активной энергии; суточный расход реактивной энергии; коэффициент заполнения суточного графика активной энергии.

Значениями мощности $P_{\min}$, $P_{\text{ср}}$ и $P_{\max}$ суточный график нагрузки делится на три характерные части: базисную, полупиковую, пиковую.

Годовые графики строятся для упрощения анализа в виде упорядоченной диаграммы по убывающим ординатам активной и реактивной нагрузок в течение года. Поэтому эти графики называют графиком продолжительности нагрузок. Приблизённо годовой график можно построить по двум характерным суточным графикам: один – за летний день (июнь), а другой – за зимний день (декабрь). Построение годового графика начинают с максимума и выполняют в порядке постепенного снижения мощностей, для чего через оба суточных графика проводят ряд горизонтальных линий, расстояние между которыми выбирают с желаемой точностью построения.

Число часов использования максимума нагрузки является важнейшей характеристикой графика электрических нагрузок. Оно показывает, сколько часов в году электроустановка должна была бы работать с максимальной нагрузкой, чтобы потребить из сети такое же количество электроэнергии, как и при работе по действительному графику нагрузок.

Зная графики нагрузки объекта, можно определить все величины, необходимые для проектирования системы электроснабжения.

Библиографический список

1. **Кобелев, А. В.** Режимы работы электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика» / А. В. Кобелев, С. В. Кочергин, Е. А. Печагин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015.
2. **Кобелев, А. В.** Проектирование систем электроснабжения объектов коммунальной и производственной инфраструктуры [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Кобелев, С. В. Кочергин, Е. А. Печагин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента А. В. Кобелева*

СОБСТВЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Аль Сраейф З. Х. Ш., М. А. Филатов

Тамбовский государственный технический университет

В текущей экономической ситуации предприятия стараются максимально мобилизовать свои ресурсы и минимизировать затраты. Как известно, расходы на электроэнергию для многих промпредприятий сейчас – одна из важнейших статей затрат. Один из наиболее перспективных путей решения этой проблемы – развитие распределённой генерации в России, внедрение объектов малой и средней генерации на предприятиях и продвижение технологических решений в сфере распределённой энергетики.

Так, например, произошло в ООО «Лукойл-Западная Сибирь». Предпосылками развития объектов собственной генерации на предприятии стали дефицит трансформаторной мощности, необходимость повышения надёжности электроснабжения и, конечно же, снижение себестоимости продукции. Спустя несколько лет после установки и запуска объекта, получили за 2014 год экономию в 530 млн руб за счёт замещения генерируемой электроэнергией электроэнергии из сети. И с каждым годом эта сумма будет только увеличиваться.

Другой пример. На ОАО НЛМК запущены и работают такие объекты генерации, как ТЭЦ НЛМК, газотурбинная расширительная станция (ГТРС) и утилизационная ТЭЦ. Результатами инвестиционной программы НЛМК за 1999 – 2014 гг. стали:

- +275 МВт установленной мощности объектов собственной генерации;
- 54% – обеспеченность собственной электроэнергией;
- +280% – производство собственной электроэнергии из вторичных энергетических ресурсов;
- 19% – снижение удельного потребления энергоресурсов на тонну стали;
- 90% – использование вторичных топливных газов.

Несмотря на множество препятствий, ситуация, сложившаяся в малой и распределённой энергетике, будет способствовать развитию собственной генерации на промышленных предприятиях.

Библиографический список

1. **Собственная** генерация на предприятии – много возможностей, много препятствий! (http://elektrovesti.net/38401_sobstvennaya-generatsiya-na-predpriyatii-mnogo-vozmozhnostey-mnogo-prepyatstviy)

2. **Повышение** эффективности распределительных сетей 0,4 – 10 кВ / А. М. Никитина, А. В. Кобелев / Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах: тез. докл. 3-й Междунар. конф. с элементами научной школы. Тамбов, 25 – 27 апреля 2016 г., Тамбовский государственный технический университет ; отв. ред. Т. И. Чернышова. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2016. – С. 249–250.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцент А. В. Кобелева*

БИОГАЗ – АЛЬТЕРНАТИВА ПРИРОДНОМУ ГАЗУ

Аль Сумармад Х. А. С., Е. В. Илларионов

Тамбовский государственный технический университет

Во всём цивилизованном мире, особенно в связи со значительным ростом цен на энергоносители, стали всё больше обращать внимание на биогазовые технологии получения биометана как полноценной альтернативы природному газу.

Вопросы обеспечения газом в необходимых объёмах стал для многих европейских стран проблемой национальной безопасности. При этом развитые промышленность и сельское хозяйство производят огромное количество органических отходов, которые непременно следует утилизировать. Европейцы уже давно подсчитали, что биогазовые установки в промышленных масштабах позволяют решить множество проблем.

В результате переработки отходов получают высококачественные органические удобрения. В странах с бедными грунтами, малопригодными для сельского хозяйства, использование биогазовых технологий помогает решать продовольственные вопросы за счёт существенного увеличения урожайности.

Биогазовые установки предназначены для производства высококалорийного биогаза путём сбраживания органических отходов в специальном реакторе в анаэробных условиях. В качестве исходного сырья может использоваться любая биомасса – отходы пищевой промышленности или переработки животноводства и сельского хозяйства, фильтрат очистных канализационных сооружений, трава, листва и даже твёрдые бытовые отходы. В ряде стран для производства биогаза специально выращиваются смеси энергетических растений.

Современные биогазовые установки могут работать как на однородном сырье, так и на смеси разнородной биомассы. В реакторе благодаря системе обогрева и жизнедеятельности анаэробных бактерий происходит активное разложение органического сырья. При брожении биомассы образуется биогаз, состоящий из метана (до 70%) и диоксида углерода (до 30%). Биогаз имеет высокую теплотворную способность – до 7500 ккал /м³, не имеет цвета и запаха, по своим характеристикам практически не уступает природному газу.

Различают два способа сбраживания биомассы в промышленных реакторах – «мокрый» и «сухой».

Мокрый способ сбраживания заключается в предварительном увлажнении биомассы до жидкого состояния. Жидкая фракция специальными насосами перекачивается в реактор. Непрерывность технологического процесса образования биогаза осуществляется за счёт постепенной подачи свежей биомассы в нижнюю часть биореактора и одновременном откачивании старой из верхних слоёв. В процессе брожения образуется биогаз и высококачественные органические удобрения, обогащённые продуктами жизнедеятельности анаэробных бактерий. Для подогрева реактора в зимних условиях используется небольшая часть образовавшегося газа – обычно не более 10% от производимого объёма биогаза.

В последнее время всё большую популярность получил более экономный сухой метод получения биогаза, позволяющий перерабатывать твёрдые органические отходы, загрязнённые неорганическими включениями. Сухой метод заключается в использовании ферментатора специальной конструкции. В герметичный ферментатор загружается сухая биомасса с влажностью не более 50%. В ферментаторе происходит сбраживание сырья без доступа кислорода за счёт постоянного орошения биомассы жидким фильтратом из реактора. Весь процесс сбраживания происходит за одну стадию – биомасса бродит до полного разложения без внесения нового сырья и отбора старого. Непрерывность процесса газообразования достигается за счёт использования нескольких реакторов со смещением во времени цикла сбраживания.

Реактор для сухой ферментации конструктивно существенно отличается от реактора с мокрым сбраживанием субстрата, поскольку все разгрузочно-погрузочные работы обычно проводятся с помощью фронтального погрузчика. Если реакторы с мокрым способом выглядят в виде объёмной ёмкости с конусообразным или шарообразным куполом, то реактор для сухой ферментации больше похож на большой герметичный гараж с фронтальными воротами шлюзового типа.

Библиографический список

1. **Сибикин, Ю. Д.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие. – 2-е изд, стер. / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М. : КНОРУС, 2012. – 240 с.
2. **Кобелев, А. В.** Повышение эффективности систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03; защищена 25.05.2004 / А. В. Кобелев. – Тамбов, 2004. – 145 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента А. В. Кобелева*

ЛИНЕЙНЫЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Аль Шахери А. М. А., С. Е. Иванов

Тамбовский государственный технический университет

Особенностью оптимизационных задач электроснабжения является необходимость применения как классических, так и алгоритмических методов; необходимость системного подхода, наличие особенностей больших систем, системного анализа; математическая формализация нормированных допустимых и необходимых значений, коэффициентов статической устойчивости с сохранением динамической устойчивости [1, 2].

Современные потребители электроэнергии синусоидального тока представляют собой активно-индуктивные нагрузки, токи которых по фазе отличаются от напряжения источника питания.

С уменьшением $\cos \varphi$ потребителя его ток возрастает:

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}.$$

Работа источника питания в целом характеризуется КПД его установки, состоящим из КПД генератора и первичного двигателя. Работа первичного генератора определяется в основном активной мощностью генератора. Поэтому недогрузка генератора активной мощностью влечёт за собой недогрузку и снижение КПД первичного двигателя и всей энергетической установки. Себестоимость передаваемой электроэнергии от этого повышается. Увеличиваются потери мощности в ЛЭП:

$$\Delta P = R_{\text{л}} I^2 = \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} R_{\text{л}}.$$

Мощность активных потерь в ЛЭП, как видно из этого выражения, тем больше, чем ниже $\cos \varphi$ установки.

Следовательно, чем ниже $\cos \varphi$ потребителя, тем дороже будет обходиться передача к нему электроэнергии.

Рассмотрим пример расчёта ёмкости батареи конденсатора. Из векторной диаграммы видно, что для получения угла сдвига фаз требуемой величины ёмкостная ветвь должна иметь ток, равный разности реактивных составляющих токов потребителей для компенсации угла сдвига фаз $I_{P\Pi}$ и после компенсации угла сдвига фаз I_P :

$$I_c = I_{P\Pi} - I_P. \quad (1)$$

Из векторной диаграммы эти токи можно определить через активную составляющую тока потребителя I_A :

$$I_{P\Pi} = I_A \operatorname{tg} \varphi_{\Pi} \text{ и } I_P = I_A \operatorname{tg} \varphi.$$

Поэтому выражение (1) можно переписать в виде

$$I_C = I_A (\operatorname{tg} \varphi_{\Pi} - \operatorname{tg} \varphi), \quad (2)$$

где $I_C = U\omega C$, а ток выразим через мощность и напряжение $I_A = P/U$; поэтому (2) можем переписать так:

$$U\omega C = \frac{P}{U} (\operatorname{tg} \varphi_{\Pi} - \operatorname{tg} \varphi), \quad (3)$$

из которого можно определить искомое значение батареи конденсатора:

$$C = \frac{P(\operatorname{tg} \varphi_{\Pi} - \operatorname{tg} \varphi)}{\omega U^2}. \quad (4)$$

Обычно при помощи батареи конденсаторов компенсацию угла сдвига фаз осуществляют, не полностью повышая $\cos \varphi$ до 0,95...0,96

Ещё большее повышение требует больших затрат на установку батарей конденсаторов, которые в этом случае экономически не оправдываются:

В трёхфазных потребителях имеем:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{R^2 + (Q_c - Q_c)^2}}, \quad (5)$$

где Q_c – реактивная мощность компенсирующих устройств.

Библиографический список

1. **Воронин, А. А.** Оптимальные иерархические структуры / А. А. Воронин, С. П. Мишин. – М. : ИПУ РАН, 2003. – 210 с.
2. **Применение** цифровых вычислительных машин в электроэнергетике / под ред. О. В. Шербачева. – Л. : Энергия, 1980.
3. **Федосова, Е. О.** Повышение энергоэффективности распределением потоков реактивной мощности в энергосистеме / Е. О. Федосова, А. Е. Федяева, С. В. Кочергин // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах :

тез. докл. 3-й Междунар. конф. с элементами научной школы. Тамбов, 25 – 27 апреля 2016 г.; Тамбовский государственный технический университет ; отв. ред. Т. И. Чернышова. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2016. – С. 258 – 260.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента Ж. А. Зарандии*

ИМПУЛЬСНЫЕ ПОТОКИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Д. В. Ананьев

Липецкий государственный технический университет

В системе электроснабжения протекают различные процессы. Они вызваны как внешними, так и внутренними воздействиями. Эти процессы во многих случаях очень скоротечны и для их описания применяют понятие о потоке импульсов.

В теории вероятности под потоком понимают последовательность событий, происходящих одно за другим. Импульсный поток служит наглядной математической моделью широкого круга прерывных во времени процессов. Один из простейших потоков – поток бесконечно коротких импульсов. Импульсы таких потоков могут быть заданы дельта-функцией $\delta(z - Z_i)$, где Z_i – случайный момент появления i -го импульса. С введением в анализ дельта-функции поток бесконечно коротких импульсов (рис. 1) можно представить в виде суммы [1]

$$\varphi(z) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \delta(z - Z_i), \quad (1)$$

где $Z_i \geq Z_{i-1}$.

Основной характеристикой такого потока служит вероятность его появления в заданном интервале. Потоки делятся на детерминированные и случайные, а основными характеристиками служат: стационарность, ординарность, последствие. Количественными характеристиками потока являются темп потока и интенсивность потока. Для потока бесконечно коротких импульсов получить функцию распределения длительностей импульсов невозможно. Поэтому для такого потока определяют распределение длительности пауз. Оно может быть выполнено по ансамблю или по времени [2].

Определение вероятности появления за время t определённого числа импульсов k стационарного и ординарного потока сводится к расчёту функции Пальма [2]:

$$f_0(t) = \frac{1}{b} \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{p_0(t/\tau)}{\tau}, \quad (2)$$

где $p_0(t/\tau)$ – вероятность неоявления импульса в интервале $\tau, \tau + t$, вычисленная в предположении, что в интервале $0, \tau$ появился по крайней мере один импульс; b – интенсивность потока $\varphi(z)$.

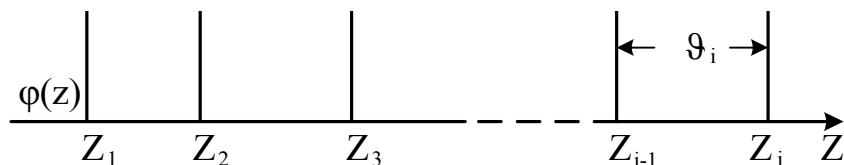


Рис. 1. Примерная реализация $\varphi(z)$ потока бесконечно коротких импульсов $\varphi(Z)$

Библиографический список

1. **Шпиганович, А. Н.** Случайные импульсные потоки : учебное пособие / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович, В. И. Бош. – Елец : УГУ им. И. А. Бунина, Липецк : ЛГТУ, 2004. – 292 с.
2. **Седякин, Н. М.** Элементы теории случайных импульсных потоков : учебное пособие / Н. М. Седякин. – М. : Советское радио, 1965. – 261 с.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук. А. Н. Шпигановича*

СОВПАДЕНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ И ИХ АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ

С. С. Астанин

Липецкий государственный технический университет

Рассматриваются характеристики, свойственные импульсным потокам, и их совпадения во времени. К основной характеристике импульсного потока можно отнести функцию автокорреляции. Определение данной характеристики математически отражено зависимостью высоты импульса от одновременного воздействия нескольких возмущающих факторов. В случае, когда длительность импульса τ , а их высота равна h , то получим автокорреляционную зависимость, представленную следующим выражением [1]:

$$K(\delta) = K_2(\delta) - \bar{X}(\xi)^2,$$

где $K_2(\delta)$ – моментная функция второго порядка; $\bar{X}(\xi)$ – стационарный поток в точке ξ .

Потоки со взаимно независимыми высотами импульсов, длительностями импульсов и пауз определяются двухмерной плотностью вероятности импульсов и может быть выражена амплитудно-временной функцией [1]:

$$f(\tau, h) = \alpha(\tau)\gamma(h),$$

где $\alpha(\tau)$ – плотность вероятности длительности импульса; $\gamma(h)$ – плотность вероятности высоты импульса.

Математическое ожидание длительностей импульса и паузы для независимого потока может быть определена как интеграл от вероятностей данного события и представлена следующими выражениями [1]:

$$\bar{\tau} = \int_0^{\infty} \tau \alpha(\tau) d\tau;$$

$$\bar{\theta} = \int_0^{\infty} \theta \beta(\theta) d\theta,$$

где $\beta(\theta)$ – плотность вероятности длительности паузы; θ – пауза случайной длительности.

В зависимости от рассматриваемых задач могут использоваться различные потоки с амплитудно-временными параметрами. Они образуют суммарный импульсный поток. Перекрывание от импульсных потоков на временной оси образует импульс совпадения. Его высота зависит от числа перекрытых импульсов. В рассматриваемом случае появление импульса или паузы любого из потоков не зависит друг от друга. Следовательно, система может совершить переход из состояния k только в $k + 1$ или $k - 1$, таким образом продолжительность и частота нахождения системы в состоянии k будет определяться как сумма от состояний случайных потоков.

В результате данный метод может быть использован при рассмотрении состояния системы относительно элементов, входящих в её состав [2].

Библиографический список

1. **Шпиганович, А. Н.** Случайные импульсные потоки : учебное пособие / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович, В. И. Бош. – Елец : УГУ им. И. А. Бунина, Липецк : ЛГТУ, 2004. – 292 с.
2. **Бош, В. И.** Оценка изменения параметров безотказности элементов систем / В. И. Бош // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – № 5. – С. 53 – 56.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук А. Н. Шпигановича*

**АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ
КОРПУСА ЗДАНИЯ ВНИИС им. И. В. МИЧУРИНА**

Н. М. Мухортов, А. В. Кейзер

Мичуринский государственный аграрный университет

Современную цивилизацию невозможно представить без искусственного освещения. Осветительные установки являются одними из наиболее распространённых технических устройств, применяемых во всех сферах человеческой деятельности. На любом производственном предприятии, в сельском хозяйстве, в жилом и общественном секторе используется множество разнообразных световых приборов, обеспечивающих требуемую освещённость при отсутствии или недостатке естественного света.

Экономичность и надёжность осветительных установок зависят от принятых технических решений при их проектировании, монтаже и эксплуатации. В последнее время в светотехнике произошли определённые изменения: разработаны и внедрены в практику эксплуатации новые световые приборы и электрооборудование, введена новая нормативно-техническая документация, оказывающая существенное влияние на выбор технических решений при проектировании осветительных установок.

Основными нормируемыми показателями являются освещённость на рабочем месте, общий индекс цветопередачи, коэффициент пульсаций освещённости. Для всех рабочих мест внутри помещений и для рабочих мест вне помещений, на которых выполняется конкретная работа (железнодорожные станции, аэропорты, карьеры и т.п.), основной нормируемой величиной является освещённость на рабочем месте. Величина нормируемой освещённости зависит, прежде всего, от характера выполняемой работы. При освещении улиц и дорог нормируемой величиной служит яркость дорожного покрытия. Она устанавливается в зависимости от категории лиц, интенсивности движения, характера окружающей обстановки.

Измерение освещённости рабочих мест проводят в соответствии с методикой, приведённой в СанПин 2.2.1/2.1.1.1278–03 (Гигиенические требования к естествен-

му, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий) и СНиП 23-05-95*. Контроль освещённости и коэффициента пульсации рабочих мест производился при помощи прибора ТКА-ПКМ.

Прибор предназначен для измерения: коэффициента пульсации источников излучения и освещенности в видимой области спектра (380...760 нм).

Объектом исследования является Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт садоводства имени И. В. Мичурина», находится в городе Мичуринске Тамбовской области, на улице Мичурина, дом 30.

В помещениях применены светильники «ЛВО13-4×18 – Астра – типа «Армстронг» с отражающей решёткой. Результаты измерений приведены в табл. 1.

1. Показатели освещённости и коэффициента пульсации

№ п/п	Наименование помещений	Нормы		Результаты		Отношение %	
		<i>E</i> , Лк	<i>K_п</i> , %, не более	<i>E</i> , Лк	<i>K_п</i> , %, не более	<i>E</i> , Лк	<i>K_п</i> , %, не более
1	Коридор № 1	75	15	117	0	156,0	0,0
2	Коридор № 6	75	15	56	8	25,3	46,7
3	Кабинет № 2	400	15	292	6	27,0	60,0
4	Кабинет № 5	400	15	310	6	22,5	60,0
5	Кабинет № 10	400	15	270	8	32,5	46,7
6	Кабинет № 18	400	15	284	7,3	29,0	51,3
7	Лестница №14	75	15	59	3,4	21,3	77,3
8	Лестница № 23	75	15	55	4,7	26,7	68,7
9	Лестница № 34	75	15	106	3	141,3	80,0
10	Архив № 38	75	15	53	7,8	29,3	48,0

Анализ полученных данных показал, что освещение ряда помещений не соответствует СанПин 2.2.1/2.1.1.1278–03 (Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий) в среднем на 26,7%. В некоторых помещениях показатель освещённости превышен в 1,5 раза. Коэффициент пульсации всех помещений находится в пределах допустимых значений.

Библиографический список

1. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 ; ДЕАН–Москва, 2003. – 876 с

2. **СНиП 23-05-95.** Естественное и искусственное освещение / Минстрой России. – М. : ГП «Информрекламиздат», 1995. – 35 с.
3. Прибор комбинированный «ТКА-ПКМ(08)». Руководство по эксплуатации. – СПб. – 8 с.
4. **СП 52.13330.2011.** Естественное и искусственное освещение: актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – М., 2011. – 74 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента А. Ю. Астапова*

АНАЛИЗ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РАЗМАТЫВАТЕЛЯ

А. С. Белоусов

Липецкий Государственный Технический Университет

В данной работе была рассмотрена структура агрегата продольной резки № 1 ПДС ПАО «НЛМК» и его системы управления. Агрегаты продольной резки были пущены в эксплуатацию более сорока лет назад и требуют ремонта и обновления. Электроприводы агрегата содержат двигатели постоянного тока и тиристорные преобразователи, система управления агрегатом построена на автоматах JSP и подвержена моральному и материальному износу.

Основным требованием, предъявляемым к данному агрегату, считается наличие возможности широкого регулирования скорости вращения двигателей. Именно оно побудило использовать двигатели постоянного тока. Однако у них присутствуют следующие недостатки:

- износ щёточно-коллекторного аппарата;
- износ подшипников;
- громоздкая система управления тиристорным преобразователем;
- моральное и материальное устаревание оборудования.

Эти неисправности и обуславливают необходимость дальнейшей полной замены на асинхронные двигатели с частотным управлением.

К системе автоматического управления агрегатом продольной резки предъявляют такие требования как: чёткость функционирования, надёжность передачи данных, простота обслуживания и небольшие габариты аппаратуры.

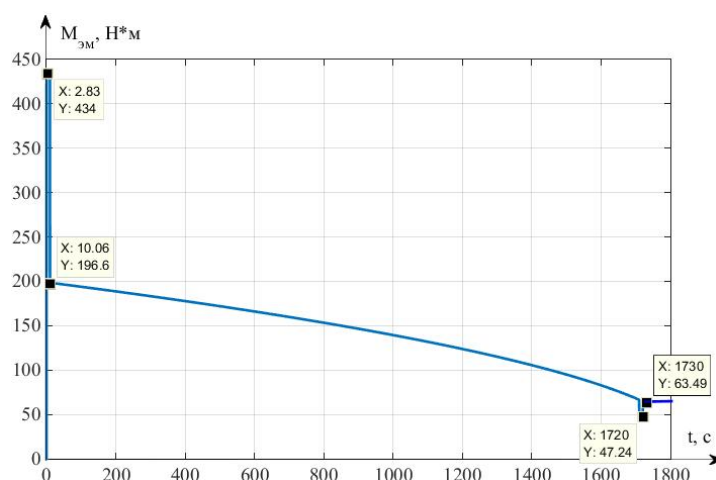
В рамках модернизации нами была предложена замена электроприводов, в частности, электропривода разматывателя на асинхронные электроприводы с преобразователем частоты и векторной системой управления, а также замена действующей системы управления агрегатом. По требованиям унификации оборудования в работе рассматривается установка продукции фирмы Siemens.

В качестве основы АСУТП входной части агрегата, к которой относится разматыватель, применим ПЛК семейства SIMATIC S7, оснащённый станциями распределённой

периферии ET-200. Была выбрана серия S7-400 и центральный процессор CPU 414-2. Каждая станция распределённой периферии комплектуется интерфейсными модулями IM 153, блоком питания и различным количеством сигнальных модулей серии S7-300, порядок их установки в корзину может быть произвольным. Так же была выявлена необходимость использования функционального модуля FM458-1 DP и нескольких модулей расширения. Связь между устройствами системы управления и контроллерами привода будет осуществляться по сети PROFIBUS. Для всего требуемого оборудования были определены заказные номера.

В качестве преобразователя частоты был выбран Sinamics S120, поскольку данный тип способен обеспечивать рекуперацию энергии в сеть. В данном преобразователе имеет место разделение силовой части и платы управления, которые соединяются через системный интерфейс DRIVE-CLiQ. Считается возможным установить по одному такому преобразователю на каждый технологический участок агрегата, т.е. осуществить разделение силовой части преобразователя на модуль питания Smart и нескольких двигательных модулей в виде инверторов.

Для преобразователя Sinamics S120 была составлена таблица параметризации, разработана схема подключения модулей, а также было проведено математическое моделирование работы выбранного асинхронного двигателя разматывателя с векторной системой управления, результаты которого выведены на рис. 1. В рамках моделирования были разработаны блоки расчёта задания по скорости и расчёта текущего момента нагрузки.



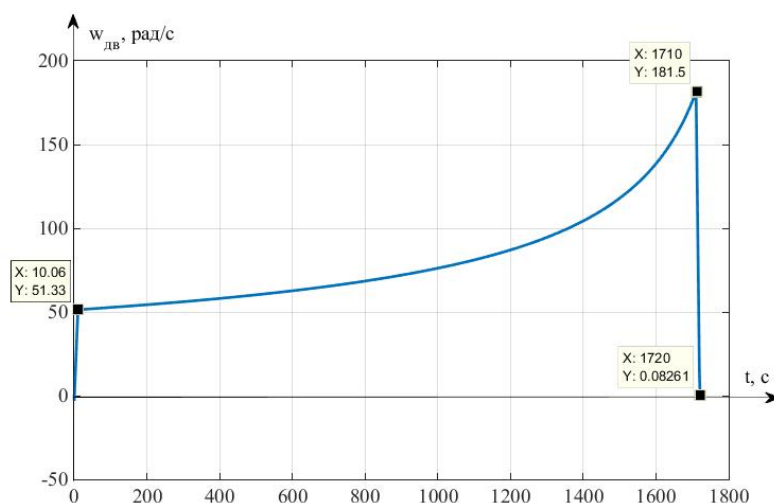


Рис. 1. Графики изменения момента и скорости

Библиографический список

1. **Мещеряков, В. Н.** Оптимизация взаимного положения векторов тока статора и магнитного потока асинхронного двигателя при векторном управлении / В. Н. Мещеряков, П. Н. Левин // Известия высших учебных заведений. – Электромеханика. – 2006. – № 1. – С. 25 – 27.
2. **Продукты SIMATIC** для комплексной автоматизации. – М. : SIEMENS, 2014. – 194 с.

РУЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА, ПРОВОДИМОГО НА СТЕНДЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИЁМНИКОВ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В. Е. Большев

Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина

Под качеством электроэнергии (КЭ) понимают совокупность её свойств, определяющих воздействие на электрооборудование, приборы и аппараты и оцениваемых показателями качества электроэнергии (ПКЭ) [1]. Качество электрической энергии является важным фактором, влияющим на энергоэффективность и надёжность электрооборудования [2, 3]. Одним из методов повышения КЭ является корректировка стоимости электроэнергии в зависимости от её качества, уровня и источника искажения, подразумевающая применение добавочных коэффициентов при расчёте стоимости электроэнергии [4]. Для точного определения коэффициентов необходимо знать, как искажения, вносимые одним потребителем, влияют на КЭ других потребителей, подключённых к той же точке общего присоединения. В статье [5] разработан стенд для исследования влияния электроприёмников на КЭ, который позволяет решить вышепоставленную задачу.

В данном стенде в качестве электроприёмника (ЭП), искажающего КЭ, использовался светильник с люминесцентной лампой 18 Вт, дросселем и стартером, из которого

был заранее демонтирован конденсатор, что позволило вносить такое искажение, как колебание напряжения. В качестве ЭП использовались 2 вида нагрузок: в первом случае – 3 лампы накаливания по 75 Вт, во втором – асинхронный электродвигатель АИРВ4У3 мощностью 180 Вт. Для фиксации искажений, полученных на блоке искажений ПКЭ и контрольном блоке, были использованы два одинаковых измерителя показателей качества электроэнергии Ресурс UF-2М. Для блока имитации линии электропередач (ЛЭП) применялись кабели ВВГнг 3×6 и ВВГнг 3×1,5 с длинами 10 и 40 м для каждого. Время проведения эксперимента с каждым сочетанием факторов составляло 2 минуты, после чего производилось изменение одного из них.

В ходе экспериментов было подтверждено, что отсутствие конденсатора в стартере в цепи запуска люминесцентной лампы вызывает колебание напряжения, которое было зафиксировано обоими анализаторами КЭ. Однако зафиксированные результаты получились хаотичными, что может быть объяснено следующими причинами:

1. Отсутствие синхронизации по времени между двумя анализаторами КЭ. Это обусловлено тем, что искажения качества электрической энергии составляют сотую, а то и тысячную долю секунды, и разница по времени в несколько секунд между анализаторами привела к затруднению определения одного конкретного искажения на двух блоках одновременно. Поэтому для решения данной причины необходимо использование анализатора КЭ, позволяющего проводить параллельное измерение КЭ в двух точках электрической сети. Так как на рынке приборов данный анализатор не представлен, то необходима его разработка.

2. Недостаточность времени проведения измерения для каждого сочетания факторов. В данном опыте она составила 2 минуты, что оказалось мало, так как одно конкретное искажение могло для первого анализатора войти в измерение одного сочетания факторов, а для второго анализатора в другое, что привело к разнице показаний. Решением данной проблемы является увеличение времени проведения эксперимента и нахождение среднего значения нужного параметра.

3. Невозможность использования анализаторов Ресурс UF-2М в качестве осциллографов. Данная характеристика прибора предоставила бы возможность не только фиксировать искажения, но и определять параметры конкретного искажения с последующим сравнением его в двух точках электрической сети.

Библиографический список

1. **Бородин, М. В.** Повышение эффективности функционирования систем электроснабжения посредством мониторинга качества электроэнергии : дис. ... канд. техн. наук / М. В. Бородин. – Орел, 2013. – 177 с
2. **Большев, В. Е.** Анализ качества электрической энергии в центральных районных больницах Орловской области / В. Е. Большев // Инновационная наука. – 2016. – № 3(3). – С. 56 – 59.
3. **Голиков, И. О.** Основные способы регулирования напряжения в энергосистемах / И. О. Голиков // Особенности технического и технологического оснащения со-

временного сельскохозяйственного производства : материалы Междунар. науч.-практ. конф. 4–5 апреля 2013. – Орел : Изд-во Орел ГАУ, 2013. – С. 333 – 336.

ВЛИЯНИЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ НА РАБОТУ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ

С. С. Васильев

Тольяттинский государственный университет

Заземление нейтрали определяет вид защиты, который уместно будет использовать, чтобы обеспечить основные требования, предъявляемые к релейной защите. В России в соответствии с ПУЭ: «...работа электрических сетей напряжением 3...35 кВ может предусматриваться как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземлённой через дугогасящий реактор или резистор».

Отсутствие рекомендаций по выбору заземления нейтрали в сетях 6...35 кВ в ПУЭ и других нормативных документах связано со сложностью формирования таких рекомендаций для большого разнообразия сетей указанного класса напряжения и учёта множества факторов. В ПУЭ указаны только граничные значения ёмкостных токов с которых должна применяться компенсированная нейтраль.

Следует отметить, что в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей, в сетях собственных нужд 6 кВ блочных электростанций допускается режим работы с заземлением нейтрали сети через резистор.

Каждое заземление нейтрали имеет свою особенность, и переходные процессы в режиме короткого замыкания будут отличаться. Поэтому при выборе видов защит необходимо учитывать особенности заземления нейтрали.

1.1. Изолированная нейтраль

Накопленный опыт эксплуатации сетей с данным видом заземления нейтрали выявил ряд существенных недостатков:

- перенапряжения, возникающие при однофазном коротком замыкании через перемежающуюся дугу замыкания, ведущие к пробое изоляции на первоначально неповреждённых фидерах и к возможности повреждения нескольких фидеров;
- быстрое старение изоляции в результате перенапряжений, возникающих при работе на однофазном коротком замыкании через перемежающуюся дугу;
- выход из строя трансформаторов напряжения в результате перемежающегося или однополярного дугового замыкания (однофазное замыкание).

Следует отметить тот факт, что в нормативных документах разрешается работа с однофазным коротким замыканием. Это в свою очередь ведёт к неправильной работе обслуживающего персонала с трансформаторами тока нулевой последовательности (ТТНП). В результате возникает повреждение ТТНП. В свою очередь, это ведёт к неправильной работе релейной защиты повреждённого ТТНП.

Проблемы отстройки релейной защиты при однофазных коротких замыканиях возникают при малых токах замыкания на землю. В результате малого тока замыкания обнаружение данного вида короткого замыкания становится сложной задачей. При возникновении однофазного короткого замыкания существует множество защит: по гармонической составляющей (содержащиеся в установившемся токе замыкания на землю); по направлению тока и мощности переходного процесса (направленная токовая защита нулевой последовательности) и устройства с наложением искусственно созданного тока определённой частоты (100 или 25 Гц) при замыканиях на землю. При изолированной нейтрали может применяться любой из вышеупомянутых видов защит с учётом особенностей потребителя и факторов, влияющих на селективность и чувствительность данных защит.

1.2. Заземление нейтрали через дугогасящий реактор (ДГР)

Заземление нейтрали через ДГР применяется при больших ёмкостных токах замыкания на землю. Все недостатки, которые существуют при изолированной нейтрали, представлены и здесь. В России множество реакторов, находящихся в эксплуатации, имеют старую конструкцию, без шунтирующего резистора. В сетях с данными ДГР не могут использоваться простые токовые защиты и направленные токовые защиты, потому что в первом случае не удаётся добиться требуемой чувствительности, во втором случае – требуемой селективности.

1.3. Заземление нейтрали через резистор

Заземление может быть высокоомное и низкоомное. Заземление нейтрали через резистор имеет ряд существенных преимуществ относительно заземления через ДГР и изолированной нейтрали:

- отсутствие дуговых перенапряжений;
- возможность реализации селективной и чувствительной работы релейной защиты;
- исключение повреждений измерительных ТН из-за феррорезонансных процессов;
- возможность работы с однофазным замыканием на землю (высокоомное заземление).

Выводы.

1. Выбор заземления нейтрали предопределяет возможные аварийные режимы и процессы, которые будут негативно влиять на электросеть и потребителя.
2. Выбор и отстройка видов защит релейной защиты усложняются в соответствии с выбором заземлений нейтрали, и в некоторых случаях ведёт к уменьшению эффективности.
3. Заземление нейтрали через резистор позволяет повысить эффективность действий релейной защиты.

Библиографический список

- 1 **Правила** устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 184 с.
- 2 **СО 153-34.20.501–2003.** Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей.

Работа выполнена под руководством С. В. Шаповалова

ВЕРОЯТНОСТИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Н. О. Виноградов

Липецкий государственный технический университет

Теория вероятностей построена на предпосылках аксиоматики. Она оперирует категориями, отличающимися от других математических наук. Исходным является случайное событие, рассматриваемое как первичное. В результате испытаний (опыта) оно может принять соответствующее значение, заранее не известно какое. Случайные величины могут быть прерывного (дискретного) и непрерывного типов. Описывается случайная величина законом распределения. Случайная величина описана, если известна её вероятность. Соотношение, определяющее взаимосвязь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями, называется законом распределения.

Случайная непрерывная величина характеризуется «распределением вероятностей», для построения такого распределения вероятностей пользуются не вероятностью значения $X = x$, а вероятностью события $X < x$, где x – текущая переменная. Вероятность собы-

тия $X < x$ зависит от текущей переменной x . Следовательно, она является функцией от x , называемой функцией распределения события $X < x$. Её обозначают через $F(x)$, т.е. [1],

$$F(x) = p(X < x).$$

Функция распределения имеет место как для непрерывных, так и для случайных непрерывных величин. Это самая универсальная характеристика случайной величины, являясь одной из форм закона распределения. Ей присущи следующие свойства:

- функция распределения $F(x)$ – неубывающая функция. Когда $x_2 > x_1$, то $F(x_2) \geq F(x_1)$;
- на минус бесконечности функция $F(x)$ равна нулю, т.е. $F(-\infty) = 0$;
- на плюс бесконечности функция распределения равна единице: $F(+\infty) = 1$.

Совместные события относятся к сложным событиям, потому что осуществление каждого из них обуславливается исходом ряда других событий. Появление одного события влияет на исход другого и наоборот.

Случайные процессы могут быть стационарными или нестационарными. Стационарным называют процесс, если его статистические характеристики, полученные в процессе опытов, не зависят от выбора начала времени. Исчерпывающей характеристикой случайной функции как для стационарных, так и для нестационарных процессов служит многомерный закон распределения.

Библиографический список

1. **Шпиганович, А. Н.** Случайные импульсные потоки : учебное пособие / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович, В. И. Бош. – Елец : ЕГУ им. И. А. Бунина, Липецк : ЛГТУ, 2004. – 292 с.

Работа выполнена под руководством

д-ра техн. наук, профессора А. Н. Шпигановича

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ НА ОПОРАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Д. О. Воронин

Орловский государственный аграрный университет им. Н. В. Парахина

В настоящее время, автотранспорт на углеводородном топливе является самым распространённым и востребованным во всех сферах жизни современного общества. Но несмотря на целый ряд преимуществ, он имеет один, но очень серьёзный недостаток – наносит основную долю (до 64%) экологического ущерба природной окружающей среде. Загрязнение происходит и на разных стадиях производства, и в процессе эксплуатации, а также при утилизации автомобилей и горюче-смазочных материалов, например, при сжигании бензина в атмосферу выбрасываются тонны оксидов серы и азота, вызывая кислотные дожди [1].

В последнее время, с повышением цен на углеводородное топливо, автомобили с двигателями внутреннего сгорания стали являться довольно затратным видом транс-

порта. Вышеперечисленные факты привели к тому, что прогрессивные страны стали проектировать и создавать менее расточительные и более экологичные транспортные средства – электромобили [2].

Учитывая большие расстояния, которые приходится в повседневной жизни преодолевать нашим гражданам, следуя через сельские населённые пункты, например, при поездках на работу, на отдых, на дачу, в случае использования электромобиля, возникает острая проблема – отсутствие возможности подзарядки в пути [3].

Для решения данной проблемы, на первом этапе, пока электромобили не получили широкого распространения, в сельской местности целесообразно было бы оборудовать отдельные опоры воздушных линий электропередачи (ЛЭП) стационарными зарядными станциями, преобразующими напряжение воздушной ЛЭП 0,4 кВ в напряжение 12, 24, 48 В, необходимое для подзарядки электромобиля.

В перспективе, при массовом использовании электромобилей в сельскохозяйственных районах, необходимо будет оборудовать зарядными станциями как можно больше опор воздушных ЛЭП 0,4 кВ, проходящих в сельской местности вдоль автомобильных дорог.

В состав стационарной зарядной станции будут входить следующие элементы: ответвительный спуск, специальный пускозащитный аппарат с дистанционным управлением по защищённому каналу мобильной связи, прибор учёта электрической энергии с возможностью автоматической передачи информации, преобразователь напряжения, выпрямитель, распределительное устройство низковольтного напряжения, а также влагозащищенная электрическая розетка.

Благодаря установке индивидуальных зарядных станций, на железобетонных опорах ЛЭП 0,4 кВ в сельской местности, обладатели электромобилей всегда будут уверены, что по пути их следования из пункта А в пункт В у них всегда будет иметься возможность подзарядить своё транспортное средство недалеко от автодороги.



Рис. 1. Концепт стационарной зарядной станции, выполненной на опоре воздушной ЛЭП, 0,4 кВ

Создание сети индивидуальных зарядных станций в сельской местности в значительной степени ускорит процесс повсеместного перехода на электромобили в России, что позволит в значительной степени снизить негативное воздействие автотранспорта на окружающую природную среду.

Библиографический список

1. **Трескова, Ю. В.** Электромобили и экология. Перспективы использования электромобилей / Ю. В. Трескова // Молодой учёный. – 2016. – № 12. – С. 563 – 565.
2. **Электромобиль.** Техника и экономика / В. А. Щетина, Ю. Я. Морговский и др. – 2015.
3. **Бусыгин, Б. П.** Электромобили : учебное пособие / Б. П. Бусыгин. – МАДИ, 2014. – 37 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента В. А. Чернышова*

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДБОРА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ К СБОРКЕ ИЗ СВЕТОДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ

Д. М. Гизатуллина

Тольяттинский государственный университет

Для обеспечения продолжительного срока службы, высокой надёжности и стабильности характеристик светильников светодиодам, которые используются в этих светильниках, необходим постоянный ток определённого значения. Такой ток может обеспечить специальное устройство – светодиодный источник питания или драйвер.

Подбор драйвера для комплекта светодиодных модулей выполняют исходя из соответствия характеристик комплекта и драйвера. Выходные характеристики светодиодного источника питания: ток, мощность и диапазон напряжения – должны соответствовать параметрам светодиодного комплекта, а именно: выходной ток источника должен быть равен току комплекта, а его максимальная выходная мощность – больше мощности этого комплекта, полное напряжение набора из светодиодных модулей должно входить в диапазон выходного напряжения драйвера.

В качестве примера выполнили подбор драйвера к сборке из четырёх светодиодных линеек, соединённых последовательно. В линейках светодиоды Samsung_LM561B в количестве 18 штук мощностью 0,5 Вт с рабочим током 150 мА были включены по следующей схеме: две группы из 9 последовательных полупроводника соединены между собой параллельно.

Рассчитали параметры линейки. Требуемый ток через линейку составил $150 \text{ мА} \cdot 2 = 300 \text{ мА}$. Определили, что полное напряжение на четырёх линейках находится в диапазоне 100,8...111,6 В. Максимальная мощность комплекта равна $300 \text{ мА} \cdot 111,6 \text{ В} = 33,48 \text{ Вт}$.

Для такой сборки подобрали источник питания ИПС 35-300Т IP20 со следующими выходными параметрами: выходной ток равен $0,3 \text{ А} \pm 5\%$, допустимый диапазон выходного напряжения от 40 В до 116 В, максимальная мощность 35 Вт.

При выборе драйвера также следует обращать внимание на производителя, коэффициент пульсаций, габариты и т.д. Критерии выбора зависят от того, с какой целью и где будет использоваться осветительный прибор. Например, для использования в офисных помещениях коэффициент пульсации светового потока согласно СП 52.13330.2011, не может превышать 10...20%, в зависимости от требований к освещению помещений [1]. Габариты источника питания подбираются в соответствии с конструкцией всего светильника.

Очень важным параметром светодиодных источников питания является коэффициент полезного действия (КПД). Он определяет процент потребляемой драйвером от сети энергии, которая идёт на нагрузку. КПД большинства используемых драйверов находится в пределах 85...95%.

Библиографический список

1. **СП 52.13330.2011.** Естественное и искусственное освещение. – Взамен Актуализированная редакция СНиП 23-05–95 ; Введ. 2011-05-20. – М. : Минрегион России, 2011.

*Работа выполнена под руководством
канд техн. наук, доцента В. А. Медведева*

АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

А. Ю. Головин

Липецкий государственный технический университет

В данной работе был проведён анализ устройства и работы вентильно-индукторного двигателя. Рассмотрены основные режимы управления двигателем и элементная база их реализации, выявлены недостатки и преимущества каждого из них. Осуществлён эксперимент по динамическому изменению зоны токового гистерезиса системы управления. Проведён анализ коммутирующих элементов с точки зрения частоты их коммутации и тепловых потерь в динамике. Вся работа была осуществлена с помощью программного обеспечения Matlab Simulink. В качестве модели для рассмотрения была принята базовая модель Switched Reluctance Drive из библиотеки программы. В ходе работы были сделаны выводы о возможности и целесообразности примене-

ния той или иной системы управления и проведён выбор оптимальных элементов системы управления.

На первом этапе работы были рассмотрены принцип работы вентильно-индукторного двигателя и устройство его системы, а также были сделаны выводы о различиях в типах конфигурации самих двигателей. В дальнейшем при рассмотрении системы управления в качестве основных режимов управления выделены:

- якорное управление (с помощью изменения частоты коммутации силовых элементов);
- адаптивное изменение угла управления (с помощью предварительного изменения углов управления датчика, установленного на якоре);
- изменение потока (с помощью управления потоком по отдельно выделенному каналу).

В самой работе непосредственно рассмотрены первые два метода. Экспериментально проверены теоретические предположения по реакции системы на изменение зон гистерезиса и углов управления. Отдельно рассмотрена элементная база, на которой построена система коммутирующих ключей управления. На базе предложенного в модели двигателя конфигурации 6/4 был проведён расчёт рабочих частот широтно-импульсной модуляции и частоты переключения коммутирующих элементов. Для решения этой задачи нами был предложен вариант автоматического расчёта частот, базирующийся на математических формулах, актуальных для несимметричного управления вентильными двигателями. Внешний вид моделей представлен на иллюстрациях ниже (рис. 1, 2).

С помощью вычисленных значений частот был произведён анализ тепловых потерь на различных видах коммутирующих элементов (таких как GTO-тиристоры, IGCT-тиристоры, IGBT-транзисторы). Был сделан вывод, что с учётом величин данных потерь, а также необходимой частоты коммутации – в рассматриваемой системе возможно управление лишь с применением IGBT-тириستоров. Так же, в ходе работы был

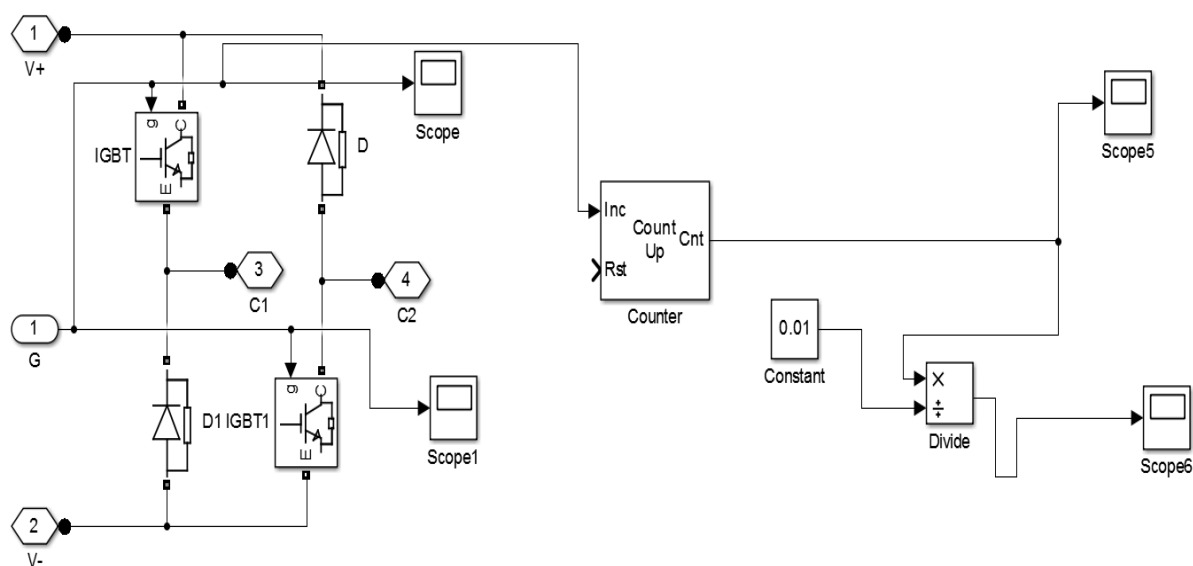


Рис. 1. Схема для определения частоты переключения ключей

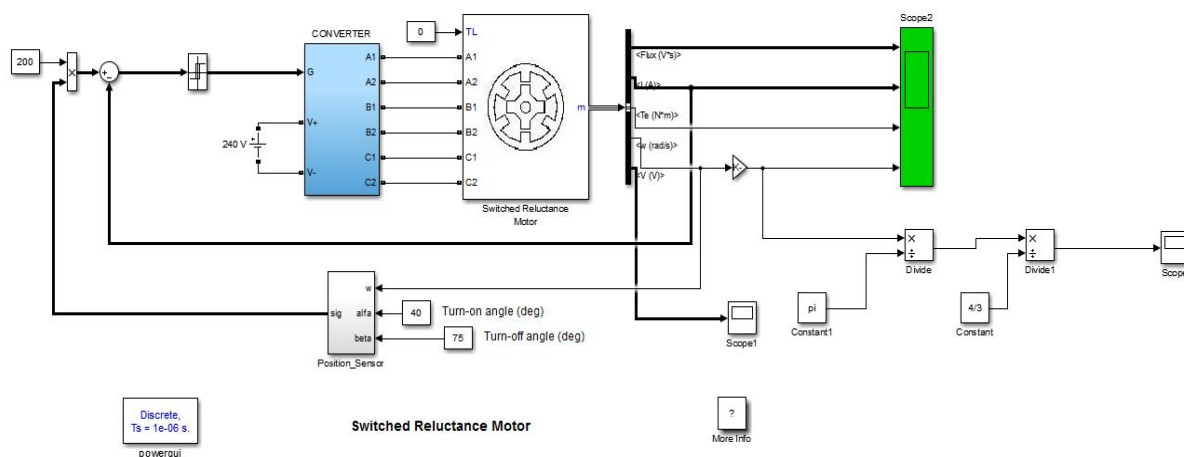


Рис. 2. Система управления ВИД с расчётом частоты ШИМ

осуществлён подбор оптимальной для данного двигателя зоны управления и был проведён опыт по динамическому изменению данной зоны с учётом частоты модуляции. По результатам данного опыта были сделаны выводы о целесообразности данного шага.

Библиографический список

1. **Мещеряков, В. Н.** Оптимизация взаимного положения векторов тока статора и магнитного потока асинхронного двигателя при векторном управлении / В. Н. Мещеряков, П. Н. Левин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2006. – № 1. – С. 25 – 27.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

А. С. Гутенев, А. С. Ломов

Тамбовский государственный технический университет

Режим работы электрической системы характеризуется значениями показателей её состояния, называемых параметрами режима. Все процессы в электрических системах можно охарактеризовать тремя параметрами: напряжением, током и мощностью. Для удобства расчётов и учёта электроэнергии в сетях переменного тока принято разделение полной мощности на активную и реактивную мощность. Активная мощность производит работу и идёт на потери в виде нагрева, реактивная мощность потребляется индуктивностями и электрическими ёмкостями для создания магнитного и электрического полей. Между нагрузкой и источником возникает обмен потоками энергии, суммарная мощность которого равна нулю, но при этом он вызывает дополнительные по-

тери активной энергии, потери напряжения и снижает пропускную способность электрических сетей. Так как избежать подобных негативных воздействий невозможно, необходимо свести их к минимуму. Для снижения потерь из-за циркуляции реактивной мощности применяются разного рода компенсирующие устройства.

Основным критерием оценки энергоэффективности распределительных электрических сетей является уровень потерь при транспортировке электрической энергии. Величина потерь электроэнергии характеризует существующее техническое состояние оборудования, уровень эксплуатации распределительных электрических сетей, состояние систем учёта электрической энергии.

В распределительных электрических сетях напряжением 6...10 кВ электросетевых организаций и промышленных предприятий основная доля от общей структуры технологических потерь приходится на нагрузочные потери в линиях электропередачи и потери на холостой ход трансформаторов. Что обусловлено, в общем случае, значительным износом основного оборудования распределительных сетей 6...10 кВ, низким уровнем автоматизации системы управления технологическим процессом передачи электрической энергии по распределительной сети, недостаточным уровнем организации эксплуатации распределительных сетей.

Основным условием работы распределительной электрической сети с минимальными потерями является её рациональное построение с оптимальным режимом работы сети по активной и реактивной мощности, напряжению.

Внедрение новых энергоэффективных технологий должно быть неразрывно связано с повышением уровня квалификации обслуживающего персонала.

С точки зрения экономии электроэнергии и регулирования напряжения, компенсацию реактивной мощности в распределительных сетях наиболее целесообразно осуществлять в точке её возникновения, а именно, непосредственно на шинах нагрузки.

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности как целенаправленная государственная политика вызваны к жизни целым рядом экономических тенденций, складывающихся в стране за последние два десятилетия. С одной стороны, это – реформирование электроэнергетики, ликвидация РАО ЕЭС, снижение влияния государства на тарифные отношения поставщиков и потребителей энергоресурсов и нарастание стоимости энергии и услуг по её поставке, с другой – замедление процессов развития производительных сил, экономического роста, затруднение, а порой, невозможность получить энергию в нужных объёмах, нужного качества, с нужной надёжностью и по приемлемым ценам. [2]

Модернизированная электроэнергетика страны, как в процессе осуществления, так и после завершения модернизации, станет серьёзным фундаментом для модернизации и развития экономики страны.

Библиографический список

1. **Ольшанский, А. И.** Основы энергосбережения : курс лекций / А. И. Ольшанский, В. И. Ольшанский, Н. В. Беляков ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2007. – 223 с.

2. **Литвак, В. В.** Реформирование электроэнергетики России и эффективное энергосбережение / В. В. Литвак // itech-журнал интеллектуальных технологий. – Томск, 2011. – № 18.

3. **Зарандия, Ж. А.** Энергоаудит – элемент современных энергосберегающих технологий в электроэнергетике / Ж. А. Зарандия, Е. А. Иванов // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : тез. докл. 2-й Междунар. конф. с элементами научной школы; Тамбовский государственный технический университет ; отв. ред. Т. И. Чернышова. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2015. – С. 242 – 244.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента Е. А. Печагина*

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕВОГО ДАТЧИКА ХОЛЛА НА ОСНОВЕ КНИ-СТРУКТУР ПРИ ВЫСОКОЙ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

С. С. Девликанова

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

В настоящее время появились работы, описывающие датчики Холла на основе КНИ-структуры (КНИ ПДХ), т.е. ДХ, изготовленные по технологии «кремний – на – изоляторе» и имеющие управляющие полевые электроды. Такой прибор обладает рядом преимуществ, описанных в работах [1, 2].

Измерения экспериментальных образцов КНИ ПДХ [2] продемонстрировали наличие узкой области аномального скачка ЭДС Холла, определяющую магниточувствительность датчика Холл-затворной характеристики прибора (рис. 1), но авторы не объяснили причину возникновения этого эффекта.

Как было отмечено в работах [3, 4], эффект аномальной подпороговой чувствительности (рис. 1) связан с работой прибора в области обеднения, в которой тело пред-

ставляет собой слой кремния, который изолирован от двух границ областью пространственного заряда (ОПЗ), что обеспечивает минимизацию захвата носителей заряда и, соответственно, их высокую подвижность. Вследствие чего наблюдается высокая магнитная чувствительность.

Для исследования в данной работе были использованы математическая модель КНИ ПДХ и методика математического моделирования, изложенные в работе [3].

В работе [4] было определено влияние толщины рабочего слоя прибора на ток стока и сделан вывод, что толщина тела определяет напряжение отсечки внутреннего канала и, соответственно, влияет на динамический диапазон функционирования датчика, который определим как разность напряжений на затворе начала режима обогащения и режима отсечки канала.

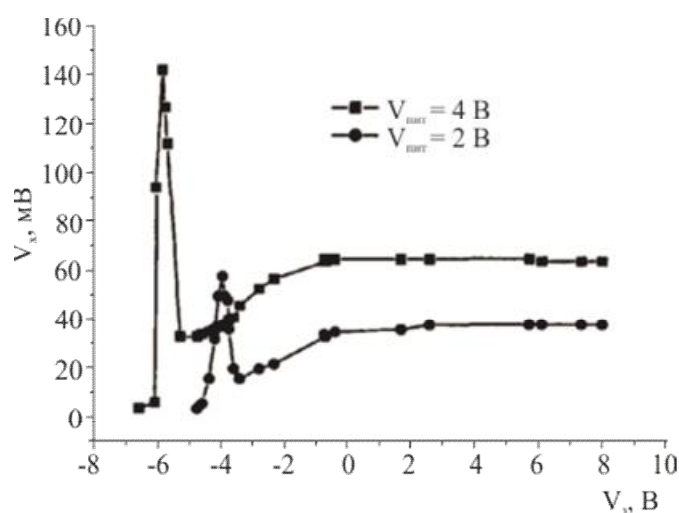


Рис. 1. Холл-затворные характеристики КНИ ПДХ при различных значениях напряжения питания [2]

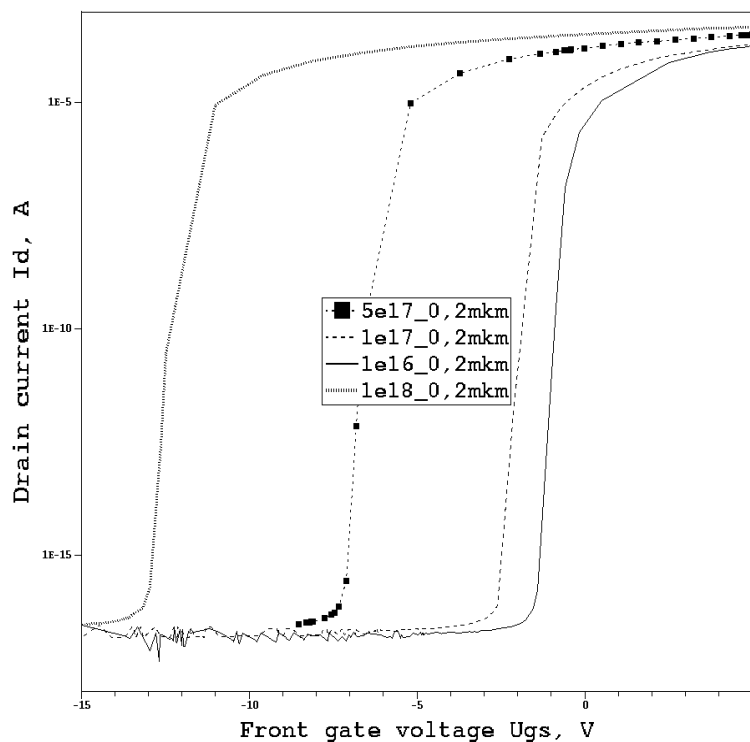


Рис. 2. Семейство передаточных ВАХ при разной концентрации примеси при $d_{si} = 0,2$ мкм, $V_{сн} = 2$ В

Так как чувствительность КНИ ПДХ обратно пропорциональна концентрации носителей, проводился расчёт зависимости тока стока I_d (А) от напряжения на верхнем затворе U_{gs} (В) при разных концентрациях примеси (рис. 2).

Как следует из рис. 2, динамический диапазон при концентрации примеси 10^{16} см^{-3} равен 2 В, а при 10^{18} см^{-3} равен 10 В. Таким образом, увеличение концентрации примеси существенно расширяет динамический диапазон работы прибора в режиме обеднения, когда обеспечивается более высокая чувствительность датчика.

Библиографический список

1. **Some** Features of Magnetometric and Sensor Devices Based on the Field Effect Hall Sensor / М. L. Baranochnikov, A. V. Leonov, V. N. Mordkovich et al. // Advanced Electromagnetics Symposium. Proceedings. – Paris, France, 2012. – P. 455 – 459.
2. **Полевой** датчик холла – новый тип преобразователя магнитного поля / В. Н. Мордкович, М. Л. Бараночников, А. В. Леонов и др. // Датчики и системы. – 2003. – Вып. 7. – С. 33 – 38.
3. **Козлов, А. В.** Математическое моделирование влияния концентрации примеси на ток стока КНИ полевого датчика Холла / А. В. Козлов, М. А. Королев, С. С. Петрунина // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2015. – № 4. – С. 377 – 381.
4. **Королев, М. А.** Особенности функционирования полевого датчика Холла на основе КНИ-структур, предназначенного для работы в телекоммуникационных сетях / М. А. Королев, А. В. Козлов, С. С. Петрунина // Труды МФТИ. – 2015. – Т. 7, № 3. – С. 91 – 95.

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

А. А. Докалина

Тольяттинский государственный университет

Возобновляемые источники электроэнергии (ВИЭ) являются одним из основных путей решения проблем энергоэкологического кризиса. Россия обладает большими запасами ВИЭ, что обусловлено её географическим положением, размерами, особенностями ландшафта, климатическими условиями.

Четвёртую часть всех запасов ВИЭ составляют ветроэнергетические ресурсы, значительная часть которых сосредоточена на Дальнем Востоке (30%), Западной (16%) и Восточной Сибири (16%) в неэлектрифицированных районах. Территориальное распределение ветроэнергетических ресурсов даёт возможность эффективно использовать их как в составе единой энергетической системы России, так и в качестве автономных ветроэнергетических установок (ВЭУ) для электроснабжения малых изолированных потребителей [3, с. 37].

Строительство ВЭУ включает в себя несколько этапов: выбор месторасположения ВЭУ; проектирование; строительство; эксплуатацию; демонтаж и восстановление ландшафта. На этапе проектирования ВЭУ осуществляется оценка перспектив проекта в целом, поэтому этот этап является наиболее важным.

В большинстве случаев эффективность проекта ВЭУ обусловлена только экономическими аспектами. Одним из наиболее значимых этапов экономической оценки проекта является технико-экономическое обоснование, в котором рассматривается возможность строительства ВЭУ с учётом затрат и экономического эффекта. Основные показатели для оценки стоимости проекта ВЭУ формируют две группы:

- первоначальные капитальные затраты – затраты на предварительные исследования, капиталовложения в оборудование ВЭУ, затраты на обслуживание (установка оборудования, доставка), дополнительные затраты (подключение к сети энергоснабжения, гарантийный ремонт), юридические затраты;
- годовые эксплуатационные затраты – страховка, рента, затраты на техническое обслуживание, размер амортизационных отчислений [2, с. 32].

К основным экономическим показателям при проектировании объектов ВЭУ также относятся: сроки окупаемости, чистая прибыль, стоимость генерируемой электроэнергии.

Возможность реализации проекта ВЭУ часто исходит только из его рентабельности, но при этом не учитываются экологические и социальные аспекты.

Современные тенденции развития электроэнергетики выводят на первое место экологическую составляющую в проектировании объектов энергосистем. При оценке проектов ВЭУ важно учитывать не прямые, а косвенные результаты деятельности: сокращение потребления ископаемого топлива (ВЭУ мощностью 1 МВт за 20 лет экономит 92 тыс. баррелей нефти); снижение уровня негативного воздействия на окружающую среду (сокращение объёма вредных выбросов в атмосферу, водоёмы, почву); снижение уровня

негативного воздействия на флору и орнитофауну по сравнению с другими видами электрических станций [1, с. 12].

Оценка социальной эффективности проекта ВЭУ состоит в оценке воздействия работы ВЭУ на здоровье человека, а также оценке социальных рисков и должна учитывать такие показатели, как: снижение уровня безработицы, сокращение социальных выплат государства по безработице, повышение уровня платёжеспособности населения.

Таким образом, методы оценки перспективности реализации проектов ВЭУ должны быть комплексными и учитывать все три аспекта: экономический, социальный, экологический.

Библиографический список

1. **Ермоленко, Б. В.** Экологические аспекты ветроэнергетики [Электронный ресурс] / Б. В. Ермоленко, Г. В. Ярмоленко, М. А. Рыженков. – URL : <http://www.wes-south.ru/Ecology.pdf>
2. **Ветроэнергетика** руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности / В. М. Каргиев, С. Н. Мартиросов, В. П. Муругов и др. – М. : Интер СоларЦентр., 2001. – 62 с.
3. **Кулаков, А. В.** Ветроэнергетика в России: проблемы и перспективы развития / А. В. Кулаков // Энергосовет. – 2011. – № 5(18). – С. 37 – 39.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ КОММЕРЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 КВ

М. А. Дробышев

Тамбовский государственный технический университет

Потери электроэнергии являются серьёзным финансовым убытком энергетических предприятий. Они подвержены проявлению «человеческого фактора», отвлекают денежные средства сетевых компаний от решения других задач в области электроснабжения и имеют под собой организационные, экономические и юридические корни.

Структура потерь электроэнергии в электрических сетях представлена на рис. 1.

Отчётные потери являются величиной, состоящей только из двух составляющих – технических и коммерческих потерь [1]. При этом к техническим потерям отнесены собственно технические потери и расход электроэнергии на собственные нужды подстанций, а к коммерческим – всё остальное. Рассмотрение коммерческих потерь через призму инструментальных потерь позволяет энергосбытовым организациям: во-первых, обеспечить лёгкую отчётность при обосновании потерь, а во-вторых, объявить в качестве основной меры борьбы с коммерческими потерями замену приборов учёта на более точные.

Результаты исследований в этой области изложены в работах [2, 3].

В общем случае составляющие коммерческих потерь электроэнергии здесь предлагается объединить в три группы:

- обусловленные погрешностями измерений отпущенной в сеть и полезно отпущенной электроэнергии потребителям;
- обусловленные занижением полезного отпуска из-за недостатков энергосбытовой деятельности и хищений электроэнергии;
- обусловленные задолженностью по оплате за потреблённую электроэнергию.

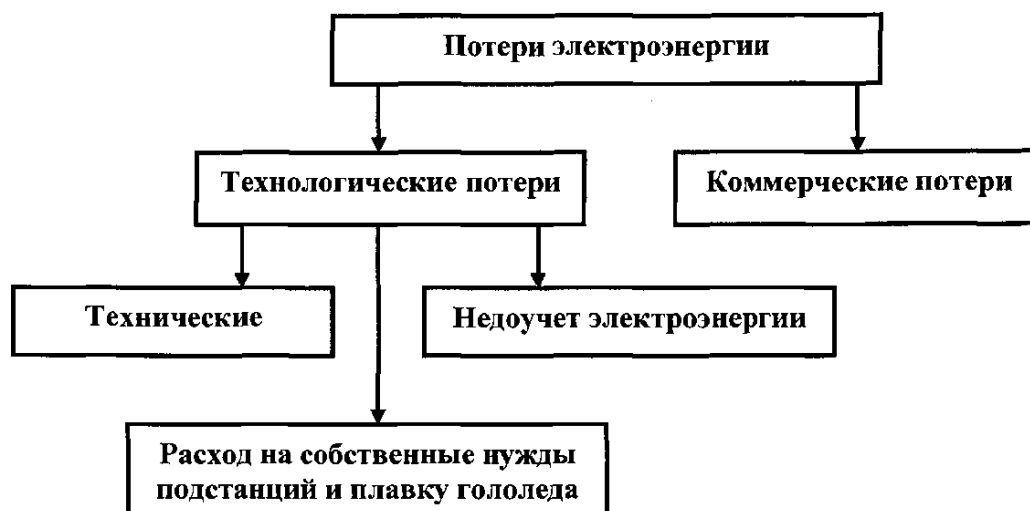


Рис. 1. Структура потерь электроэнергии

В то же время первую группу потерь, как было показано выше [1], предлагается классифицировать отдельно (инструментальные потери), так как она не находится в прямой зависимости от воздействия «человеческого фактора».

Коммерческие потери, обусловленные занижением полезного отпуска электроэнергии из-за недостатков в энергосбытовой деятельности, согласно [2, 3] включают несколько составляющих:

- потери при выставлении счетов;
- потери из-за несоответствия дат снятия показаний расчётных счётчиков с расчётным периодом;
- потери из-за расчётов потреблённой электроэнергии абонентом на основе договоров безучётного электропотребления;
- потери из-за наличия бесхозных потребителей;
- потери от хищения электроэнергии.

Знание структуры потерь позволяет на основе последующего её анализа выявить «очаги потерь» и наметить эффективные методы их устранения.

Библиографический список

1. **Железко, Ю. С.** Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчётов / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. – 280 с.: ил.
2. **Воротницкий, В. Э.** Коммерческие потери электроэнергии в электрических сетях. Структура и мероприятия по снижению / В. Э. Воротницкий, В. Н. Апрыткин // Новости электротехники. Информационно-справочное издание. – 2002. – № 4.
3. **Снижение** потерь электроэнергии в электрических сетях. Динамика, структура, методы анализа и мероприятия / В. Э. Воротницкий, М. А. Калинкина, Е. В. Комкова, В. И. Пятигор // Энергосбережение. – 2005. – № 2, 3.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора В. Ф. Калинина*

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕКОНТРОЛИРУЕМОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

М. А. Дробышев

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время энергосбыт ведёт активную работу по обнаружению и борьбе с хищениями электроэнергии. Для выявления хищений электроэнергии контролеры предприятий энергосбыта планомерно обходят потребителей с проверками (не реже одного раза в год), в ходе которых проверяется правильность включения приборов учёта электроэнергии, целостность мест пломбировки, правильность показаний и др. Однако эффективность таких проверок низка. Это обусловлено невозможностью изначального оперативного определения места и объёма хищения электроэнергии. Кроме того, в силу существующей технологии электроснабжения и законодательства РФ оперативный доступ контролера к приборам учёта электроэнергии может быть намеренно затруднён самими потребителями.

Методы выявления неконтролируемого (несанкционированного) потребления электроэнергии (НПЭ) можно разделить на расчётные и измерительные.

К расчётным методам относятся:

- статистический метод [1];
- приближённый метод расчёта;
- балансный метод, который основан на сравнении суммарных за некоторый интервал времени показаний приборов учёта, установленных у потребителей электроэнергии, и показаний трёхфазного счётчика электроэнергии, установленного в начале линии электроснабжения. Расчётная разность интерпретируется как коммерческие потери в линии электроснабжения от НПЭ.

К измерительным методам выявления НПЭ относятся:

- использование приборов для обнаружения скрытой электропроводки. Данные приборы регистрируют электрическое поле проводника, находящегося под напряжением. С помощью этого прибора контролеры легко могут обнаруживать скрытую электропроводку;
- использование счётчиков электроэнергии (СЭ) с защитой от хищений [2]. Такие счётчики формируют суммарный сигнал из сигналов, пропорциональных соответственно разности и сумме токов фазного и нулевого проводов цепи нагрузки. Затем формируют сигнал мощности из сигнала напряжения нагрузки и сигнала, характеризующего ток нагрузки. Далее преобразуют сигнал мощности нагрузки в сигнал тока или напряжения, а затем в частоту импульсного сигнала. Подсчёт числа импульсов является результатом измерения. При этом преобразование в частоту импульсного сигнала выполняется независимо от направления мощности нагрузки;
- использование устройств для измерения электрической энергии с защитой от хищений. Эти устройства содержат внешний датчик мощности, подключённый до ввода в дом (например, на столбе ВЛ), и базовый блок (счётчик электроэнергии), подклю-

чёрный после ввода в дом. Датчик мощности и базовый блок измеряют потребляемую мощность до ввода в дом и после ввода в дом. Путём сравнения мощностей определяется мощность НПЭ. В случае небаланса счётчик электроэнергии формирует сигнал на отключение нагрузки, либо переходит на учёт электроэнергии по большему из двух показаний измерительных блоков. Связь между базовым блоком и внешним датчиком мощности осуществляется по проводам с помощью сигнала, передаваемого на фиксированных высоких частотах.

Анализ существующих методов выявления НПЭ позволяет сделать вывод, что вышеуказанные методы и выпускаемые электротехнической промышленностью приборы для выявления хищения электроэнергии недостаточно эффективны и поэтому дальнейшая разработка эффективных способов выявления НПЭ и защиты от хищения электроэнергии является актуальной.

Библиографический список

1. **Инструкция** по расчёту и анализу технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений. И 34-70-030–87. – М. : СПО Союзтехэнерго, 1987. – 34 с.

2. **Пат. 2212673** Рос. Федерация. МПК⁷ G01R11/24. Способ измерения электрической энергии в двухпроводных сетях с защитой от хищения и устройство для его осуществления / Порватов С. П., Осипов Ю. В., Кашков Г. С., Букреев Е. В. ; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Радио- и микроэлектроника». – № 2001130420/09 ; заявл. 26.10.01 ; опубл. 20.09.03.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора В. Ф. Калинина*

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С РЕЛЕЙНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ТОКА ДЛЯ DSP TMS320F28035 В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MATLAB SIMULINK

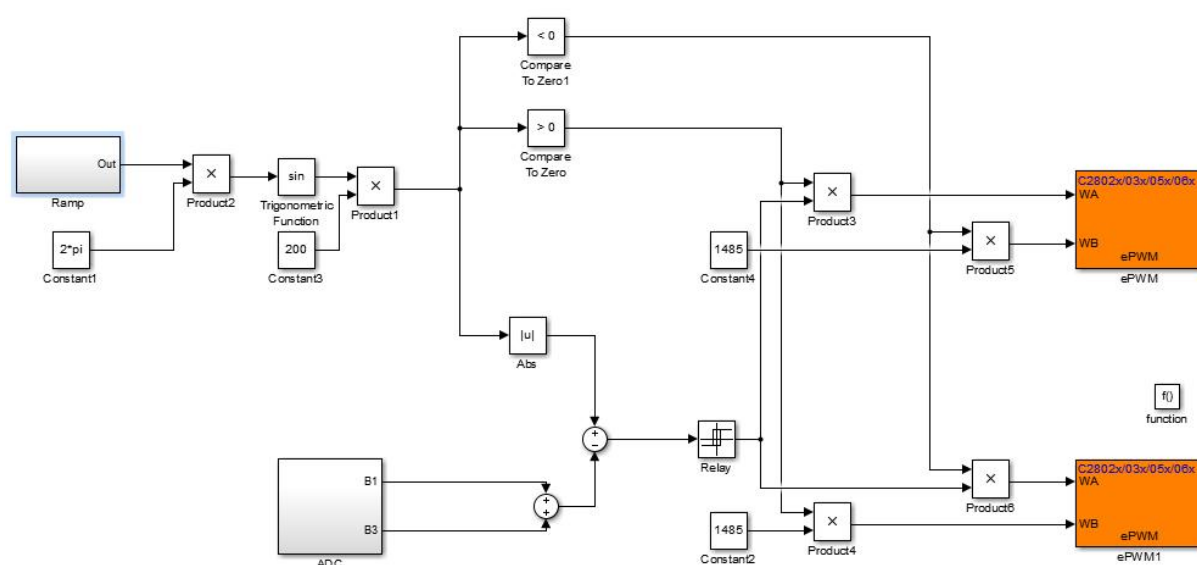
А. М. Евсеев, В. В. Пикалов, А. А. Пожидаев

Липецкий государственный технический университет

Как известно, преимущества построения системы управления асинхронным электрическим двигателем с применением релейного (гистерезисного) регулятора тока состоят в наиболее простом методе построения системы и возможности управления фазными токами напрямую. Основываясь на сравнении сигналов задания на ток и токовых сигналов обратных связей, регулятор выдаёт результирующие сигналы на управление ключами. При построении данной системы на исполняющем устройстве (микроконтроллере, цифровом сигнальном процессоре) возникает вопрос перенастройки модулей ШИМ, сконфигурированных под работу модулей синусоидальной и векторной широтно-импульсной модуляции [1].

Предлагаемый способ построения системы управления в программной оболочке MATLAB Simulink отличается возможностью производить моделирование, редактирование, отладку и компиляцию созданного проекта в одной среде. Также он позволяет минимизировать затраты времени и вероятность появления ошибок при переводе смоделированного проекта в исполняемый файл [2].

Построение программы заключается, в первую очередь, в настройке модулей прерываний, ШИМ и обработки сигналов обратных связей. Блоки ШИМ настраиваются таким образом, чтобы период модуляции был равен половине минимального для используемого инвертора периода коммутации ключей. Это позволяет корректно воспроизводить отработку импульсов с использованием релейного регулятора тока и при этом обеспечивать защиту от перегрева инвертора. Программа, построенная для одной из фаз двигателя, приведена на рис. 1.



**Рис. 1. Программа системы управления асинхронным приводом
с релейным регулятором тока для фазы А**

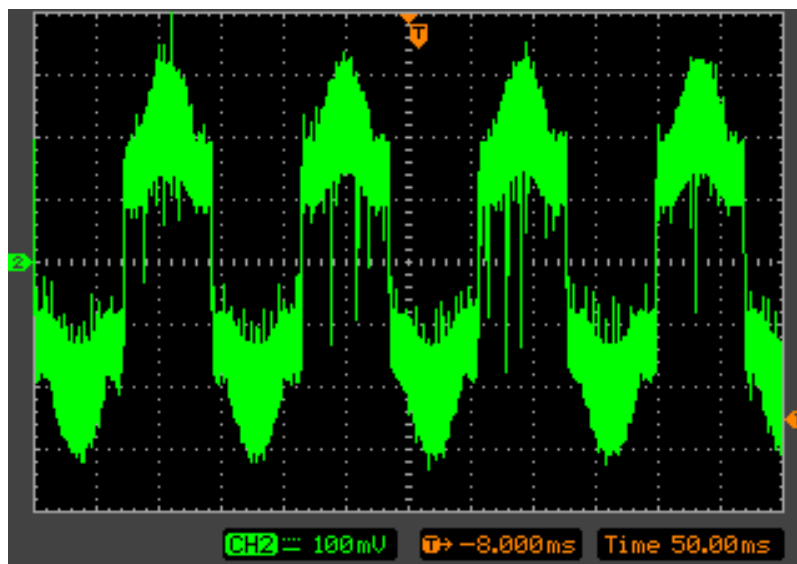


Рис. 2. Осциллограмма измеренного токового сигнала фазы А.

Описанная выше программа, выполняемая на DSP TMS320F28035, обрабатывает задание на синусоидальный ток фаз с погрешностью в 0,1%. Осциллограмма фазного тока приведена на рис. 2.

Библиографический список

1. **Мещеряков, В. Н.** Компенсация гармонических искажений и реактивной мощности в однофазных электрических сетях посредством параллельного активного фильтра электроэнергии на базе релейного регулятора тока / В. Н. Мещеряков, М. М. Хабибуллин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2013. – № 4. – С. 54 – 57.
2. **Евсеев, А. М.** Разработка алгоритма сопряжения программной среды MATLAB Simulink со средой генерации кода контроллера TMS320C2000 F28069 / А. М. Евсеев // Энергетика. Проблемы и перспективы развития : тезисы докл. Первой региональной студенческой конф., 21–22 дек. 2015 г., Тамбов / ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – С. 52–53.

*Работа выполнена под руководством
ассистента А. И. Бойкова*

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ БЫТОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Д. А. Джапарова, А. Н. Кагдин

*Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир Хана
Тамбовский государственный технический университет*

Современные жилые здания насыщены большим количеством электроприёмников (бытовое и силовое электрооборудование), влияющих на качество электрической энергии [1]. В последнее время всё чаще встречаются дома с умными технологиями, позволяющих эффективно потреблять энергию.

В настоящее время для расчёта электрической нагрузки жилых зданий используют методику, изложенную в СП 31-110–2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий». Однако она разрабатывалась с учётом уже устаревших для нашего времени стандартов, существующих в 70-х – 80-х годах прошлого столетия. Таким образом, существующие методы расчёта не обеспечивают необходимую точность, что делает актуальным проведение научных исследований по уточнению и корректировке имеющихся методик.

Удельное электропотребление в домах с централизованным теплоснабжением ниже, чем в домах, где оно отсутствует. Для современного уровня электрификации быта зависимость между средним электропотреблением W , кВт·ч, и средней установленной мощностью $P_{\text{уст}}$ выражается уравнением

$$W = a + b\bar{P}_{\text{уст}}, \quad (1)$$

где $\bar{P}_{\text{уст}}$ – средняя установленная мощность электроприёмников в квартире, без учёта мощности электроплиты, кВт; $a = 617$ для газифицированных квартир, $a = 1395$ для квартир с электроплитами; $b = 159$ для газифицированных квартир, $b = 280$ для квартир с электроплитами.

В качестве объекта исследования был выбран одноподъездный шестиэтажный многоквартирный жилой дом (МКД) типовой конструкции: Домкон-1, годовое потребление электроэнергии которого представлено на рис. 1. Электроснабжение дома осуществляется от трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ с трансформатором 1250 кВА. Расчётную электрическую нагрузку квартир ($P_{\text{кв}}$) можно определить в соответствии с СП 31-110–2003 по формуле (2)

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв. уд}} n = 2 \cdot 16 = 32 \text{ кВт}, \quad (2)$$

где $P_{\text{кв. уд}}$ – удельная нагрузка электроприёмников квартир, кВт/квартиру; n – число квартир.

Однако фактические значения электрических нагрузок квартир в день наблюдения максимумов нагрузок по МКД составили 14,54 кВт, что 2,2 раза меньше по сравнению с фактическими данными.

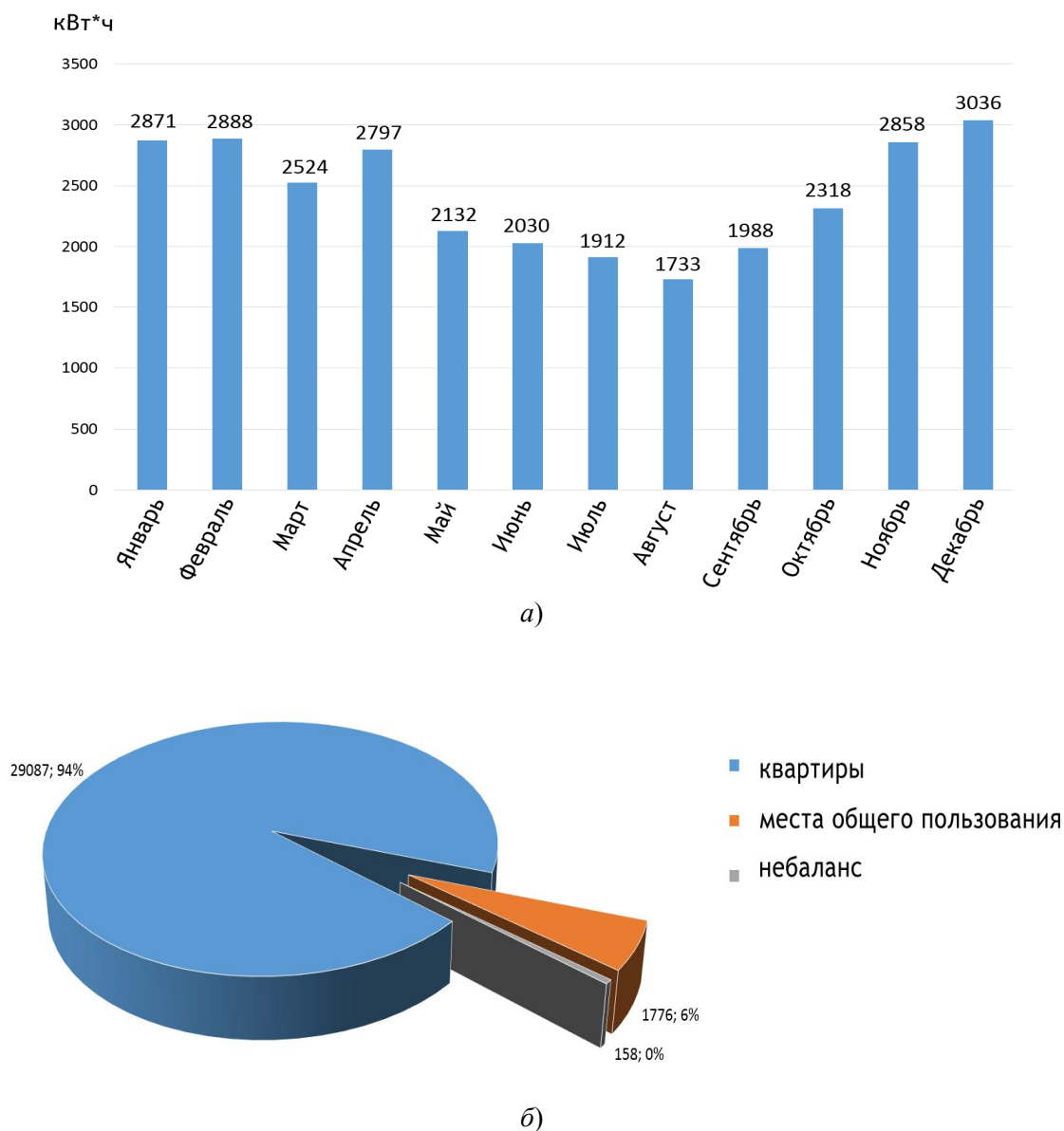


Рис. 1. Измеренные показания потребленной электроэнергии за 2015 год

В реальности завышение расчётной электрической нагрузки оказывается выше, так как суммарная фактическая нагрузка определяется не сложением максимумов нагрузок отдельных нагрузок, а их мгновенных значений, максимумы которых не всегда совпадают. В связи с вышесказанным, актуальным является проведение дополнительных научных исследований режимов нагрузки жилых зданий.

Библиографический список

1. **Калинин, В. Ф.** Влияние характера нагрузки на качество электрической энергии / В. Ф. Калинин, С. В. Кочергин, А. Н. Кагдин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 52. – С. 71 – 74.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Д. А. Джапарова, А. Н. Кагдин

*Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир Хана,
Тамбовский государственный технический университет*

Отличительной особенностью электроэнергетического комплекса является непрерывность производства и потребления электрической энергии и невозможность её запасать в значительном количестве. Управление режимами функционирования электроэнергетических систем затруднительно без применения методов прогнозирования электрической нагрузки. Прогнозирование, основанное на различных факторах (табл. 1), позволяет осуществлять оптимизацию и планирование потребления электроэнергии [1].

Существующие методы прогнозирования можно разделить на следующие: классические (аналитические методы, статистические методы, вероятностные методы) и интеллектуальные (экспертные системы; искусственные нейронные сети; клеточные автоматы; метод опорных векторов, метод группового учёта аргументов; хаотические методы; метод информационный проходки). При этом недостатком классических методов является низкая точность, а также трудоёмкость и сложность вычислений, так как необходимо получение наиболее полного описания всех параметров электроэнергетической системы, а также их влияния друг на друга. В то время как интеллектуальные методы обладают рядом преимуществ – это более высокая точность вычисления

1. Факторы, влияющие на график нагрузки электропотребления

Факторы	Социально-экономические	Метеорологические
Циклические	Время (час суток). День недели. Тип дня недели	Температура воздуха. Продолжительность светового дня. Время восхода и захода солнца
Естественные	Индивидуальная производственная программа работы крупных промышленных объектов. Продолжительность отопительного периода. Использование альтернативных источников электроснабжения. Ввод в эксплуатацию крупных энергоёмких объектов	Атмосферное давление. Относительная влажность воздуха. Направление ветра. Скорость ветра. Облачность. Осадки. Горизонтальная дальность видимости
Случайные	Аварии на крупных промышленных объектах	Резкие кардинальные изменения погодных условий

прогнозных показателей; возможность использования неполных и искажённых данных; возможность учёта дополнительных факторов.

Наибольшее распространение в прогнозировании электроэнергетической нагрузки в последнее время находят методы, основанные на искусственных нейронных сетях.

Простейшую схему нелинейной модели нейрона можно представить в следующем виде:

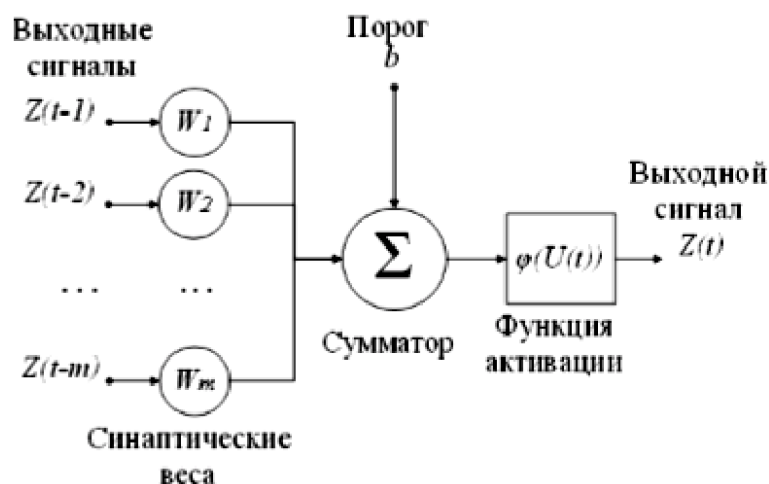


Рис. 1. Нелинейные модели нейрона

При выборе модели нейронной сети при решении задач прогнозирования электроэнергетических нагрузок необходимо учитывать её размерность, а точнее, количество слоёв и количество нейронов в слоях. Низкая точность расчётов связана с недостаточным размером сети, в то же время бóльшая размерность увеличивает длительность обучения и повышает сложность решаемой задачи. В этой связи каждая конкретная задача решается экспериментальным путём, а критерием является погрешность прогноза [2].

Библиографический список

1. **Тихонов, Э. Е.** Методы прогнозирования в условиях рынка : учебное пособие / Э. Е. Тихонов. – Невинномысск, 2006.
2. **Кочергин, С. В.** Нейронные сети и фрактальное моделирование электроэнергетических систем / С. В. Кочергин, А. В. Кобелев, Н. А. Хребтов // Fractal Simulation. – 2012. – № 1(3). – С. 6 – 15.

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

О. Н. Кайо

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время наблюдается рост потребления электроэнергии в городах и крупных населённых пунктах на всей территории Российской Федерации. Во многом данная тенденция является следствием роста количества бытовых электроприборов у населения. Увеличение потребления мощности приводит к росту технических потерь электроэнергии, что отрицательно сказывается как на показателях качества электроэнергии, так и на надёжности системы электроснабжения. Для снижения технических потерь электроэнергии и повышения энергоэффективности энергокомпаний используются различные мероприятия и дополнительные технические средства.

За последнее время наметилась тенденция значительного изменения и структуры электропотребления городской нагрузки [1]. В настоящее время в городе потребляемая реактивная мощность составляет около 60...70% от максимальной потребляемой активной мощности нагрузки и имеет тенденцию дальнейшего роста. В структуре городских электрических сетей напряжений 0,4...110 кВ основная часть ЛЭП приходится на протяжённые распределительные линии 610/0,4 кВ более 80% [2]. В связи с относительно большой протяжённостью основная доля нагрузочных потерь приходится на сети именно данного класса напряжения [2].

При фактических потерях выше проектного уровня целесообразным будет предположение, что существует отставание в темпах роста пропускной способности сети по сравнению с существующей схемой электроснабжения. В этом случае необходимо разработать и внедрить в структуру существующей энергосистемы эффективные технические мероприятия по уменьшению потерь в сетях, что приведёт к последующей реконструкции сети. Так как мероприятия по реконструкции сети выполняются с целью повышения надёжности и экономичности работы сети и приводят к повышению качества электроэнергии, отпускаемой потребителям, то при определении их эффективности следует учитывать все составляющие данных мероприятий.

Мероприятия по снижению потерь мощности можно разделить на 4 категории [3]:

1. Мероприятия по оптимизации режимов электрических сетей.
2. Мероприятия реконструкции электрических сетей.
3. Мероприятия по совершенствованию системы учёта электроэнергии.
4. Мероприятия по снижению хищений электроэнергии.

Отдельным мероприятием по снижению потерь в ГРС можно выделить внедрение компенсирующих устройств. В большинстве рекомендаций по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях рассматривается, как правило, установка нерегулируемых конденсаторных батарей и оптимизируется их размещение в узлах сложной замкнутой сети. Расчёты производятся для минимального и максимального режимов с проверкой соответствия уровней напряжения у потребителей нормируемым значениям. Такой подход не позволяет обеспечить однозначного решения задачи и требует постоянных пересчётов, особенно при изменении схемы сети [3].

Установка конденсаторных батарей на шинах 0,4 кВ ТП является наиболее реализуемой мерой, так как энергоснабжающая организация заинтересована в снижении технических потерь, несложно осуществляется выбор мощности конденсаторных батарей, а также их дальнейшее обслуживание и ремонт. В свете возрастающих требований к качеству, мощности и надёжности систем электроснабжения городов необходимо формировать новые подходы к выбору мероприятий по снижению технических потерь и оценке их сравнительной эффективности. В условиях акционирования энергетики, когда решения по вложению средств принимаются уже не с целью достижения максимума «народнохозяйственного эффекта», а получения максимума прибыли, оптимизация процессов производства и распределения электроэнергии являются крайне актуальными и востребованными.

Библиографический список

1. **Управление** качеством электроэнергии / И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов и др. – М. : Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с.
2. **Филатов, А. Н.** Управление режимами реактивной мощности и напряжения промышленного предприятия / В. И. Пантелеев, А. Н. Филатов. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. – 123 с.
3. **Кудрин, Б. И.** О теоретических основах и практике нормирования и энергосбережения / Б. И. Кудрин // Промышленная энергетика. – 2000. – № 6. – С. 33 – 36.

МЕТОД АНАЛИЗА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НАДЁЖНОСТИ СЭС

С. В. Ключенков

Липецкий государственный технический университет

Для решения практических задач на производстве можно представить функционирование оборудования импульсным потоком. Оборудование в системе энергоснабжения соединяется как последовательно, так и параллельно.

Импульсы и паузы любого импульсного потока связаны между собой временем. Вероятность появления импульсов рассчитывается параметр пауз. Используя среднюю частоту пауз и вероятность их появления, определяется математическое ожидание длительности паузы [1]:

$$p_{n.k}(t) = 1 - \left(1 - \prod_{s=1}^k \bar{\mu}_s \bar{\tau}_s \right) e^{-\frac{t}{\bar{\theta}_{n.k}}}, \quad (1)$$

где $\bar{\mu}_s$ и $\bar{\tau}_s$ – средняя частота и математическое ожидание длительности импульсов слагаемого потока $X_s(x)$; $\bar{\theta}_{n.k}$ – математическое ожидание длительности паузы потока $Y_n(z)$.

Образование импульсов совпадений от детерминированных потоков обладает целым рядом особенностей. Для иллюстрации рассмотрим самый простой случай образования совпадений от двух детерминированных потоков $X_1(z)$ и $X_2(z)$, представленный на рисунке.

Целесообразность выяснения таких особенностей связана с широким использованием детерминированных потоков в практике для описания функционирования технических систем и их оборудования. Одной из основных характеристик служит вероятность совпадения импульсов. Результаты могут отнесены к стационарным и независимым импульсным потокам, хотя для детерминированных суммарных потоков частота следования и длительность импульсов совпадений являются зависимыми от момента появления импульсов слагаемых потоков [1].

Очень часто для анализа производственных процессов необходимо использование зависимых потоков. В математической части такие задачи сводятся к определению параметров импульсов совпадений [2]. Для полной характеристики необходимо знать распределение длительности импульса совпадения. Плотность вероятностей их длительности

$$\alpha_{n.n}(\tau | t_1, t_2, t_3, \dots, t_n) = \frac{\frac{\partial^2}{\partial \tau^2} p_{n.n}}{\sum_{s=1}^n \frac{\partial}{\partial \tau} p_{n.n}}, \quad (2)$$

где $p_{n.n}$ – вероятность появления неукороченных импульсов совпадений; $\alpha_{n.n}(\tau | t_1, t_2, \dots, t_n)$ – плотность вероятностей длительности неукороченных импульсов.

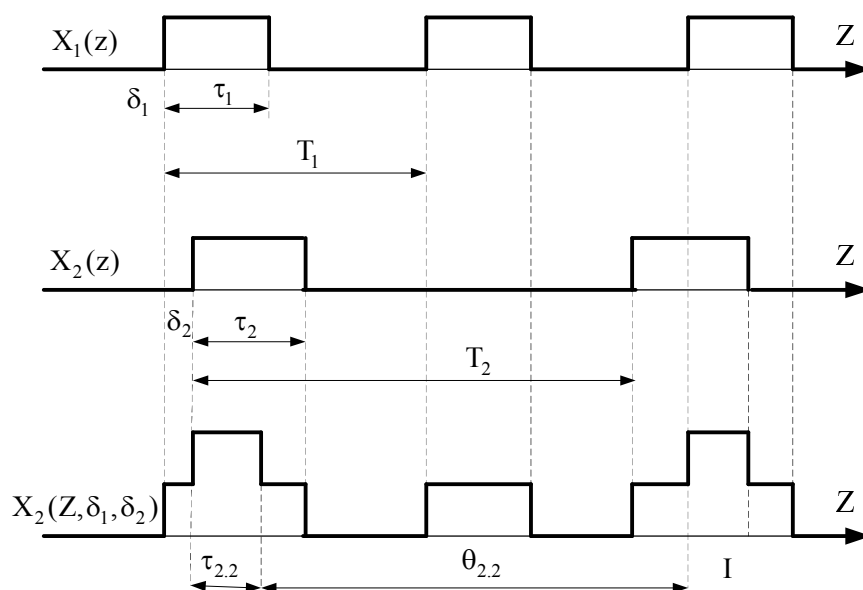


Рис. 1. К определению параметров импульсов совпадения от двух детерминированных потоков

Зная полную характеристику импульса и его длительность, появляется возможность оценить работу оборудования.

Библиографический список

1. **Шпиганович, А. Н.** Случайные импульсные потоки : учебное пособие / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович, В. И. Бош. – Елец : УГУ им. И. А. Бунина, Липецк : ЛГТУ, 2004. – 292 с.
2. **Седакин, Н. М.** Элементы теории случайных импульсных потоков / Н. М. Седакин. – М. : Сов. радио, 1965. – 263 с.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук А. Н. Шпигановича*

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

В. Крючков, Ю. Ю. Терехов

Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина

Ветроэнергетика – это отрасль энергетики, специализирующаяся на использовании энергии ветра – P , кинетической энергии воздушных масс в атмосфере. Так как энергия ветра является следствием деятельности солнца, то её относят к возобновляемым видам энергии [1].

Перспективы развития ветроэнергетики в России. Нет сомнения, что большие и малые ВЭС могли бы работать на огромных пространствах России высокоэффективно, ведь наша страна обладает мощным ветроэнергетическим потенциалом, оцениваемым в 40 млрд кВт·ч электроэнергии в год. Такие районы, как Обская губа, Кольский полуостров, большая часть прибрежной полосы Дальнего Востока, по мировой классификации относятся к самым ветреным зонам. Среднегодовая скорость ветра на высоте 50...80 м, где располагаются ветроагрегаты современных ВЭС, составляет 11...12 м/с.

Существуют также аномальные локальные зоны, в которых ветер значительно сильнее. Это, например, район Владивостока, где воздушные массы устремляются из Приханкайской равнины в разрыв между Северо-Корейскими горами и хребтом Сихотэ-Алинь и далее – по акватории Амурского залива. На островах близ Владивостока среднегодовая скорость ветра на высоте 150 м (50-метровая ВЭС на холме высотой 100 м) не бывает ниже 11 м/с (для континентальной Европы параметр недостижимый) [2].

Сегодня в России суммарная установленная мощность ВЭУ составляет около 16 МВт. В стране действуют 9 ветроэнергетических станций установленной мощностью от 0,2 до 5,6 МВт. Среднегодовая выработка электроэнергии всеми ВЭУ составляет 12,8 кВт·ч/год. В отношении ресурсов ветровой энергии в России наиболее перспективны такие районы, как Побережье Северного Ледовитого океана, Камчатка, Сахалин, Чукотка, Якутия, а также побережье Финского залива, Чёрного и Каспийского морей. Высокие среднегодовые скорости ветра, малая обеспеченность централизованными электросетями и обилие не используемых в хозяйстве площадей делает эти местности практически идеальными для развития ветровой энергетики [3].

Проблемы реализации ветроэнергетики в России. В России возможности ветроэнергетики до настоящего времени остаются практически нереализованными. Консервативное отношение к перспективному развитию топливно-энергетического комплекса практически тормозит эффективное внедрение ветроэнергетики, особенно в Северных районах России, а также в степной зоне Южного Федерального Округа, и в частности, в Волгоградской области. Ветроэнергетика является нерегулируемым источником энергии. Выработка ветроэлектростанции зависит от силы ветра – фактора, отличающегося большим непостоянством. Соответственно, выдача электроэнергии с ветрогенератора в энергосистему отличается большой неравномерностью как в суточном, так и в недельном, месячном, годовом и многолетнем разрезе. Учитывая, что энергосистема сама имеет неоднородности нагрузки (пики и провалы энергопотребления), ре-

гулировать которые ветроэнергетика, естественно, не может, введение значительной доли ветроэнергетики в энергосистему способствует её дестабилизации. Ветроэнергетика требует резерва мощности в энергосистеме (например, в виде газотурбинных электростанций), а также механизмов сглаживания неоднородности их выработки (в виде ГЭС или ГАЭС). Данная особенность ветроэнергетики существенно удорожает получаемую от них электроэнергию. Основная причина – отсутствие инвестиций [4].

И всё же дело, кажется, сдвинулось с мёртвой точки. Сейчас в стране строится несколько ветроэнергетических комплексов, в том числе и демонстрационных. Последней в ноябре 2002 г. начала работать на сеть ВЭС в маловетреной Башкирии (мощность 2,2 МВт). После ввода её в строй общая установленная мощность всех российских ветроэлектростанций едва превысила 8 МВт – в 1000 с лишним раз меньше, чем в относительно небольшой по площади Германии. Это означает, что отечественная ветроэнергетика, в своё время задававшая тон в мире, сегодня едва ли не безнадежно отстаёт от Запада. Но путь у нас только один: приложить усилия и последовать примеру мировых лидеров ветроэнергетической отрасли [5].

Библиографический список

1. <http://auditenergy.ru/windenergy.html>
2. <http://nauka.relis.ru/06/0403/06403006.htm>
3. http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=213
4. <http://festival.1september.ru/articles/646907/>
5. <http://www.science-techno.ru/nt/article/vetroenergetika/page/4>

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ТЕПЛОВЫМИ АППАРАТАМИ

Р. Р. Кузьяев

Тамбовский Государственный Технический Университет

В последнее время всё более остро встаёт вопрос проблемы энергосбережения в связи с истощением запасов топлива и повышением тарифов на энергию. Одними из самых активных потребителей энергии в нашей стране является тепловые аппараты. В данной статье рассмотрены проблемы энергосбережения в сфере электрического нагрева на производстве и предложены основные направления их решения.

Электрический нагрев является основным как в теплоэнергетике, так и в самых разнообразных технологических процессах, в том числе и при производстве радиокомпонентов. Он является наиболее энергоёмким и получил широкое распространение. Затраты на электроэнергию для большинства предприятий носят серьёзный характер и существенно влияют на показатели эффективности и конкурентоспособности.

В электрических тепловых аппаратах основным элементом является электронагреватель, в котором электрическая энергия преобразуется в тепловую или энергию электромагнитного поля. Зачастую повышение температуры детали осуществляется без наличия нагреваемого пространства печи. Почти все потери, неизбежные при обычных способах передачи тепла, отпадают, а излучение и утечки тепловой энергии весьма малы, то получается значительное повышение КПД и находится в пределах 60...85%, в то время как аналогичные пламенные печи – 25...40%.

Ещё одним преимуществом электрических нагревательных установок является то, что им не требуется времени для разогрева перед пуском в эксплуатацию. Это позволяет избежать потерь энергии и времени на пуск и охлаждение печи. Аппарат готов к эксплуатации в любое время, независимо от длительности перерыва в работе. Электроустановки более удобны в эксплуатации и допускают точный контроль температуры детали без передержек и перегрева. Благодаря такому нагреву получается улучшить качество продукции.

Все аппараты можно разделить на прямые и косвенные по методу преобразования электрической энергии в тепловую.

При прямом электронагреве преобразование в тепловую происходит в результате прохождения электрического тока непосредственно по нагреваемому телу или среде. При косвенном электрический ток проходит по нагревательному элементу системы, от которого впоследствии тепло и передаётся к нагреваемому телу посредством теплопроводности, конвекции или излучения.

Важным резервом снижения энергопотребления печей является оптимальное управление переходными режимами с учётом начальных условий и запаздывания. Большинство существующих алгоритмов управления не учитывает теплоаккумулирующие способности аппаратов с электронагревом и неточность задания начальных условий, всё это ведёт к перерасходу энергии в динамических режимах. Теоретические

исследования показывают, что при оптимальном управлении спад энергозатрат может достигать 25% и более при условии, что используются алгоритмы синтеза оптимального управления, выполненными простыми и дешёвыми микропроцессорными устройствами. Энергосберегающее управление характеризуется плавным протеканием тепловых процессов, что ведёт к повышению долговечности и безопасности эксплуатации.

Наибольший эффект энергосбережения при оптимальном управлении достигается вследствие следующих факторов:

- 1) оптимальное управление динамическими режимами при нагреве объектов;
- 2) обеспечение достижения необходимой температуры точно в назначенное время;
- 3) устранение отклонений регулируемой величины от исходного значения с минимальным значением энергопотребления;
- 4) использование резервов своевременного отключения энергоносителей.

Библиографический список

1. **Матвейкин, В. Г.** Теоретические основы энергосберегающего управления динамическими режимами установок производственно-технического назначения : монография / В. Г. Матвейкин, Д. Ю. Муромцев. – М. : Издательство Машиностроение-1, 2007. – 116 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента Н. А. Кольтюкова*

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НА ПРИМЕРЕ СКАЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Д. Ю. Кукишев

Липецкий государственный технический университет

На сегодняшний день на НЛМК более 2000 подъёмно-транспортных механизмов, из них немалую долю составляют крановые механизмы. Большинство конвейеров характеризуются повторно-кратковременным режимом ($PB = 25...40$), частыми пусками и торможениями, широким изменением нагрузок, а значит, двигатель может работать в недогруженном состоянии, а значит с меньшим КПД.

Цель: моделирование типовой скалярной системы управления, поддерживающей оптимальное значение угла между током статора и потокосцеплением ротора АД КЗ. Данная система управления позволит существенно уменьшить ток статора, обеспечивающий заданный момент двигателя за счёт поддержания угла между током статора и потокосцеплением ротора неизменным и равным 45 градусов.

Ключевые слова: скалярная система управления, ток статора, потокосцепление ротора, АД КЗ.

В типовой скалярной системе управления при изменении нагрузки на валу двигателя угол между током статора и потокосцеплением ротора изменяется в широком диапазоне, в зависимости от нагрузки.

Оптимальное значение угла в предлагаемой системе может обеспечиваться тремя способами:

№ 1 за счёт увеличения или уменьшения потокосцепления ротора, пропорционально изменению тока статора, т.е. нагрузки;

№ 2 за счёт регулирования частоты тока статора;

№ 3 за счёт кратковременного смещения синусоиды тока статора.

Исследования показали, что в системах с коррекциями № 1 и № 2 ток статора меньше, чем в системе с коррекцией № 3 и в системе без коррекции. Причем, чем меньше нагрузка на валу двигателя, тем больше разница в токах. В таблице 1 представлены значения тока статора при различной нагрузке на валу.

1. Значения тока статора

Вид коррекции	$M_c = 0,5 \text{ Мн}$	$M_c = 0,3 \text{ Мн}$
Без коррекции	$I_1 = 74$	$I_1 = 68$
1	$I_1 = 67$	$I_1 = 52$
2	$I_1 = 67$	$I_1 = 52$
3	$I_1 = 150$	$I_1 = 150$

На основе таблицы 1 можно сделать вывод, что применение систем коррекции № 1 и № 2 позволит существенно уменьшить ток статора, обеспечивающий заданный момент двигателя, в зависимости от нагрузки на валу, от 9 до 23%.

Библиографический список

1. **Левин, П. Н.** Частотный асинхронный электропривод с поддержанием взаимного положения векторов тока статора и потокосцепления ротора : дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Левин П. Н. – Липецк : ЛГТУ, 2005. – 125 с.
2. **Синюкова, Т. В.** Системы частотного асинхронного электропривода с корректирующими элементами и прямым управлением моментом : дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Синюкова Т. В. – Липецк : ЛГТУ, 2015. – 166 с.
3. **RU 2528612 С2.** Электропривод переменного тока с использованием преобразователей постоянного тока в переменный или инверторов / В. Н. Мещеряков, А. И. Бойков, О. А. Мещерякова.

*Работа выполнена под руководством
профессора В. Н. Мещерякова*

КАК ЗАРЯДИТЬ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ

Курди Салим Х. К., И. С. Попов

Тамбовский государственный технический университет

В ходе мартовской Всемирной конференции по климату COP, которая состоялась в Париже и была организована ООН, было сделано действительно сенсационное заявление. Как выяснилось, Германия, Норвегия, Великобритания, Нидерланды и несколько штатов США с 2050 г. хотят ввести запрет на реализацию и использование бензиновых и дизельных автомобилей.

В том случае, если это заявление будет воплощено в жизнь, то тогда станет актуальным вопрос: на чём же мы будем ездить? Так, передвигаться мы сможем на электромобилях, а также велосипедах.

Действительно, сложно не согласиться с тем, что электромобили являются транспортом будущего. При этом они окружены большим числом мифов, среди которых наиболее актуальным является миф, касающийся того, что для всех электромобилей в мире будет недостаточно электричества, т.е. не все смогут их заряжать.

На практике основной проблемой при использовании электромобиля становится подзарядка его аккумуляторов. Как правило, обычно, кары на электрической тяге заряжаются в течение ночи в гараже автовладельца. У такой схемы есть как свои достоинства, так и недостатки. Преимуществом является независимость владельца электромобиля от городских станций зарядки электрокаров, главным недостатком становится низкая скорость зарядки аккумуляторов. Последнее обусловлено исключительно невысокой мощностью электрической сети, в квартирах и домах горожан она редко превышает 5...10 кВт, тогда как для быстрой зарядки (порядка 30 минут) необходима мощность не менее 50 кВт.

Большой проблемой для владельца электромобиля становится и разрядка аккумуляторов во время поездки. Отсутствие сети станций заправки электрокаров может привести к тому, что машина просто остановится, исчерпав заряд аккумуляторных батарей. Понимая это, власти крупных мегаполисов способствуют созданию заправочных станций для электромобилей.

Основным требованием, предъявляемым к таким станциям, является компактность. Каждая станция представляет собой столбик высотой около двух метров с несколькими разъёмами, рассчитанными на разные типы электромобилей. Время зарядки составит от 20 минут до нескольких часов, в зависимости от типа электрокара.

Развитие сети заправочных станций будет способствовать быстрому росту количества электрокаров. Это особенно актуально для крупных мегаполисов с их высокой загазованностью – чем больше автомобилей перейдёт на электрическую тягу, тем чище станет столичный воздух.

Библиографический список

1. **Транспорт** будущего – электромобиль (<http://www.pravda-tv.ru/2016/07/25/244095/transport-budushhego-elektromobil>)

Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента А. В. Кобелева

СЕЛЕКТИВНОСТЬ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В СЕТЯХ 0,38 кВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО СЕКЦИОНИРОВАНИЯ И РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Ю. И. Лукьянов

Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина

Аннотация. Рассмотрена проблема селективности релейной защиты в линиях электропередачи 0,38 кВ, с применением средств автоматического секционирования и резервирования. Намечен план исследований селективности релейной защиты потребителя электрической энергии и средств автоматического секционирования и резервирования ЛЭП 0,38 кВ, для создания рекомендаций по проектированию селективной релейной защиты в данных сетях.

Ключевые слова: селективность, релейная защита, средства автоматического секционирования и резервирования ЛЭП 0,38 кВ.

Введение. Селективность – свойство релейной защиты, характеризующее способность выявлять именно повреждённый элемент электрической сети и отключать этот элемент от исправной части сети [1]. Применение средств секционирования и резервирования в сетях 0,38 кВ влечёт за собой усложнение всей системы релейной защиты, а значит, возникает проблема в обеспечении её селективности. Решение данной проблемы имеет очень большее значение в обеспечении надёжности электроснабжения потребителей сетей 0,38 кВ, с применением средств автоматического секционирования и резервирования. Для решения данной проблемы необходимо провести ряд исследований и экспериментов.

Ранее были проведены исследования селективности работы релейной защиты средств автоматического секционирования и резервирования ЛЭП 0,38 кВ, с релейной защитой трансформаторных подстанций, как на стороне 0,4 кВ, так и на стороне 10 кВ. В ходе исследований, а также в ходе практического применения средств автоматического секционирования и резервирования, селективность была подтверждена срабатыванием релейной защиты в средствах автоматического секционирования и резервирования, до срабатывания релейной защиты на трансформаторных подстанциях [2].

Но, ранее в исследованиях, не учитывались средства релейной защиты, установленные непосредственно у потребителей электрической энергии. Данное упущение может повлечь за собой не селективность работы релейной защиты у потребителя и в средствах автоматического секционирования и резервирования ЛЭП 0,38 кВ, что в случае аварийной ситуации на линии электропередачи приведёт к материальному ущербу потребителя [3]. Поэтому необходимо провести дополнительно исследования селективности работы релейной защиты в средствах автоматического секционирования и резервирования и непосредственно у потребителя [4]. Для исследования в лабораторных условиях потребуется создать участок линии электропередачи 0,38 кВ от средств автоматического секционирования и резервирования до потребителя и имитировать на нём аварийные ситуации. В случае неселективной работы релейной защиты при аварийной

ситуации на ЛЭП, будут меняться параметры средств релейной защиты, пока не будет достигнута их селективность. После исследований будут созданы рекомендации для проектирования релейной защиты ЛЭП 0,38 с применением средств автоматического секционирования и резервирования, исполнение которых обеспечит селективную работу всех средств релейной защиты данной ЛЭП.

Заключение. Данные исследования имеют как теоретическую, так и практическую значимость. Потому что только с наиболее точной и высокой селективностью релейная защита совместно со средствами автоматического секционирования и резервирования может обеспечить должную надёжность электроснабжения.

Библиографический список

1. **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебник для вузов по спец. «Электроснабжение» / В. А. Андреев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2006. – 639 с.
2. **Виноградов, А. В.** Повышение надёжности электроснабжения сельских потребителей посредством секционирования и резервирования линий электропередачи 0,38 кВ : монография / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова. – Орел : Изд-во ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ», 2016. – 224 с.
3. **Виноградова, А. В.** Применение секционирования линий электропередачи 0,38 кВ для повышения надёжности электроснабжения сельских потребителей / А. В. Виноградова, А. В. Виноградов, А. В. Константинов // Теоретический и научно-практический журнал «Инновации в АПК: проблемы и перспективы». – 2016. – № 2(10). – С. 12 – 27.
4. **Рекомендации** по обеспечению селективности защиты в сетях напряжением до 1000 В переменного тока. – М. : ЦБНТИ, 2002.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОТОТЕХНИКИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНО-ВЫЕЗДНОЙ РАБОТЫ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАЙОНАХ

К. В. Мальцев

*Орловский государственный аграрный университет им. Н. В. Парахина,
Тамбовский государственный технический университет*

Ни для кого не секрет, что мототехника является относительно дешёвым и удобным способом передвижения, она не только не утратила своей значимости среди других видов транспорта, но и сохранила большой потенциал как в плане дальнейшего совершенствования своей конструкции, так и в плане расширения области применения.

В настоящее время мототехника используется: спасателями, пожарными, полицейскими, военными, медиками и другими службами.

Идея применения мототехники находит всё более проникающее влияние на все сферы нашей повседневной жизни.

Для мониторинга технического состояния воздушных линий электропередачи (ЛЭП), а также для отыскания на них аварийных повреждений широко используются следующие мероприятия: пешие обходы ЛЭП, выезды оперативно-выездной бригады (ОВБ), применение беспилотных летательных аппаратов [1], а также применение различных дистанционных устройств автоматики и телемеханики [2].

Несмотря на существующие достоинства перечисленных мероприятий, все они имеют те или иные недостатки, что не позволяет в полной мере обеспечивать высокую надёжность электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

В последние годы, в связи с активизацией политики энергоэффективности и энергосбережения во всех сферах жизнедеятельности нашего общества, энергетики всё чаще стали задумываться над необходимостью смены ориентиров и признании предпочтительным более экономичных способов обслуживания электросетевого хозяйства.

В этой связи весьма перспективным направлением, позволяющим оперативно производить оценку технического состояния воздушной ЛЭП и значительно сокращать время отыскания мест возникновения аварийных повреждений, может являться использование, наряду со спецавтомобилями ОВБ, высокоманёвренной среднекубатурной мототехники, оснащённой специализированными аппаратными средствами и специальными инструментальными принадлежностями.

По сравнению со спецавтомобилями, мототехника имеет целый ряд выгодных преимуществ, таких как: лучшая проходимость, меньший вес в сравнении с полезной нагрузкой, большая мощность на единицу веса, более высокая манёвренность, более высокая динамика разгона, более низкий удельный расход топлива, более простой сервис и техническое обслуживание. На сегодняшний день в энергетике известны успешные примеры использования мототехники, в частности, филиал ПАО «МРСК Центра» – «Тамбовэнерго» использует снегоходы для осмотра воздушных линий (см. рис. 1) [3].



Рис. 1. Использование снегохода для осмотра ЛЭП

Однако для адаптации мототехнического транспортного средства для нужд электроэнергетики необходимо решить целый ряд сложных вопросов, таких как обоснование выбора типа и марки мототранспортного средства для выполнения конкретно поставленной задачи, обоснование и внесение соответствующих изменений и доработок в его конструкцию, а также дооснащение его необходимым электрооборудованием и инструментом. Отдельным вопросом является разработка, согласование и утверждение специальных должностных инструкций по охране труда для электротехнического персонала, выполняющего работы на ЛЭП с использованием мототехники.

Развитие оперативной службы мототехники в электроэнергетике потребует решения ещё многих, не рассмотренных в данной публикации, вопросов. Это и разработка нормативной базы, и оптимизация технических решений по выбору и оборудованию мототехники, кадровые и финансовые вопросы. Но несмотря на все трудности и «подводные камни», применение мототехники в электроэнергетике имеет широкие перспективы и будет активно развиваться.

Библиографический список

1. Способ мониторинга технического состояния элементов воздушной линии электропередачи / А. В. Виноградов, В. А. Чернышов, А. Е. Семенов, А. О. Мороз // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – № 3. – С. 64 – 69. – [http://www.agrotech-orel.ru/releases/magazine/3-\(3\)-2014.pdf](http://www.agrotech-orel.ru/releases/magazine/3-(3)-2014.pdf)
2. Самарин, А. В. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП / А. В. Самарин, Д. Б. Рыгалин, А. А. Шкляев // Естественные и технические науки. – 2012. – № 1, 2. – <http://naukarus.com/sovremennye-tehnologii-monitoringa-vozdushnyh-elektrosetey-lep>
3. Тамбовские энергетики заменили лыжи снегоходами. – <http://elektroas.ru/tambovskie-energetiki-zamenili-lyzhi-snegoxodami>.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента В. А. Чернышова,
канд. техн. наук, доцента Е. А. Печагина*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

А. Ю. Митрохин

Тамбовский государственный технический университет

Современная хозяйственно-экономическая деятельность человека во многих сферах (экономика, промышленное производство, здравоохранение, электроэнергетика) невозможна без принятия решений, основанных на прогнозировании развития текущей ситуации.

Автоматизация сбора данных о потреблении электрической энергии, широкое использование информационных технологий и вычислительных средств обработки числовой информации связаны с накоплением и обработкой значительных объёмов наблюдений. Временные ряды (значения сигналов) при этом получают значительной длины с высокой степенью дискретизации, что позволяет рассматривать их как эволюционные. Для сложных стохастических нестационарных сигналов сам источник можно рассматривать как нелинейную динамическую систему (ДС) с неизвестными уравнениями фазовой траектории движения («чёрный ящик»), где сам сигнал является наблюдаемой реализацией данной системы.

Среди основных моделей и технологий прогнозирования можно выделить: авторегрессионные модели, нейронные сети, методы классификации в контексте прогнозирования, метод группового учёта аргументов, метод Гусеница, вейвлет-анализ. Данные и другие разработки применяются при построении прогнозов, однако в области применения их к стохастическим, нестационарным эволюционным рядам трудно выделить наиболее подходящий метод.

Так как все известные методы прогнозирования основываются на анализе прошлых значений сигнала, встаёт вопрос выбора объёма ретроспективы, которая, с одной стороны, не будет учитывать явно устаревшие значения, а с другой, – будет достаточно длинной, чтобы уловить глобальную тенденцию движения сигнала. Поэтому наряду с разработкой методов прогнозирования остро стоит проблема разработки метода математически обоснованного выбора ретроспективного объёма данных для использования их в прогнозирующем аппарате [1].

Как ни странно, многим физическим объектам присуща не целочисленная, а дробная размерность, за что они называются фракталами (от английского слова Fractional – дробный). Классическим примером фрактала из области геофизики является береговая линия островов. Примером аналитического задания фрактала является функция Вейерштрасса:

$$W(a, b, x) = \sum_{n=1}^{\infty} a^n \cos(b^n \pi x).$$

Алгоритм построения прогноза на основе фрактальных свойств выглядит следующим образом:

1) для каждого значения временного ряда, начиная с 33 значения, рассчитывается индекс фрактальности $\mu(t)$ и коэффициент регрессии $K_t(t)$;

- 2) задаются счётчики длительности трендов n_1 и n_2 ;
- 3) по значениям $\mu(t)$ и $K_t(t)$ и по длительности трендов n_1 и n_2 делается вывод о состоянии ряда $S(t)$:

- если $S(t) = 0$, то временной ряд находится в состоянии хаотического движения и прогнозное значение доходчивости будет равно значению доходности в предыдущей точке;

- если $S(t) = \pm 1$, то прогнозное значение получим, используя регрессию по четырём предыдущим точкам [2].

Использование фрактальных методов в электроэнергетике нашло в работе [2], где было доказано, что область устойчивости электроэнергетических систем имеют в полярных координатах фрактальную структуру и при их изучении и анализе можно использовать методы и алгоритмы теории фракталов. В заключении можно отметить, что использование методов фрактального моделирования в электроэнергетике имеет большую перспективу, о чём свидетельствует рост публикаций в мировой печати. Они могут также найти своё достойное место в моделировании распределённых источников энергии и оптимизации режимов их работы.

Библиографический список

1. **Анализ** и прогнозирование сложных стохастических сигналов на основе методов выделения границ реализаций динамических систем : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ерошин А. В.; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики. – СПб., 2009.
2. **Журавлева, Ю. Н.** Построение инвестиционной стратегии на основе математических моделей и фрактальных свойств / Ю. Н. Журавлева, В. С. Микшина // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. – С. 229.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА В ТАМБОВЕ

А. Ю. Митрохин, И. А. Бортников, В. В. Позднякова

Тамбовский государственный технический университет

Проблема современного городского электрического транспорта в г. Тамбове требует особого внимания. По данным управления транспорта Тамбовской области, настоящее состояние городского электротранспорта оценивается, как близкое к коллапсу. Продолжается устойчивый процесс износа контактных сетей троллейбуса, тяговых подстанций и непосредственно транспорта. Прибыль от перевозок не покрывает и 65% эксплуатационных расходов предприятия, обслуживающего электротранспорт.

В настоящее время на государственном уровне утверждена федеральная программа, в которой имеется подпрограмма «Реформирование общественного пассажирского транспорта». Однако в реальной ситуации финансирования категорически не хватает. По официальным подсчётам управления транспорта, на полную реконструкцию тяговых подстанций, контактной сети и замены троллейбусного парка потребуется порядка 650 миллионов рублей. В период экономического кризиса в стране эта цифра выглядит фантастической.

Администрация г. Тамбова задумывается о нерентабельности поддержки электротранспорта, который в городе финансируется на муниципальной основе. В будущем неизбежна полная ликвидация троллейбусного парка и закрытие тяговых подстанций, которые запитывают контактную сеть троллейбуса. На основании этого появляется экологическая составляющая вопроса.

В 2015 году г. Тамбов признан самым экологически чистым областным центром в России. Стоит отметить, что в городе, где химическая промышленность являлась и является передовой, необходимо постоянно сокращать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Процесс урбанизации неуклонно растёт, с ним повышается и количество автотранспорта. Данная статистика отражает негативное влияние на атмосферу. На рисунках 1 и 2 представлены показатели роста городского населения и количество легковых автомобилей в собственности населения.

Для поддержания статуса экологически чистого города необходима модернизация городского электротранспорта. На полную реконструкцию рассчитывать не стоит, но планомерный и постепенный ремонт необходим в самые ближайшие сроки.

Износ контактной сети в городе составляет порядка 80%, тяговых подстанций – 60...65%. Троллейбусный парк сократился до 40 троллейбусов.

Полностью заменить весь дизельный общественный транспорт на электрический не представляется возможным, но возможна по совместительству замена на газовый, например, метановый.

Современной идеей является появление троллейбусов на литий-ионных аккумуляторах, способных передвигаться не только от контактной сети, но и от автономного источника питания. Подобные троллейбусы появились в Новосибирске, они способны преодолеть расстояние до 25 км.

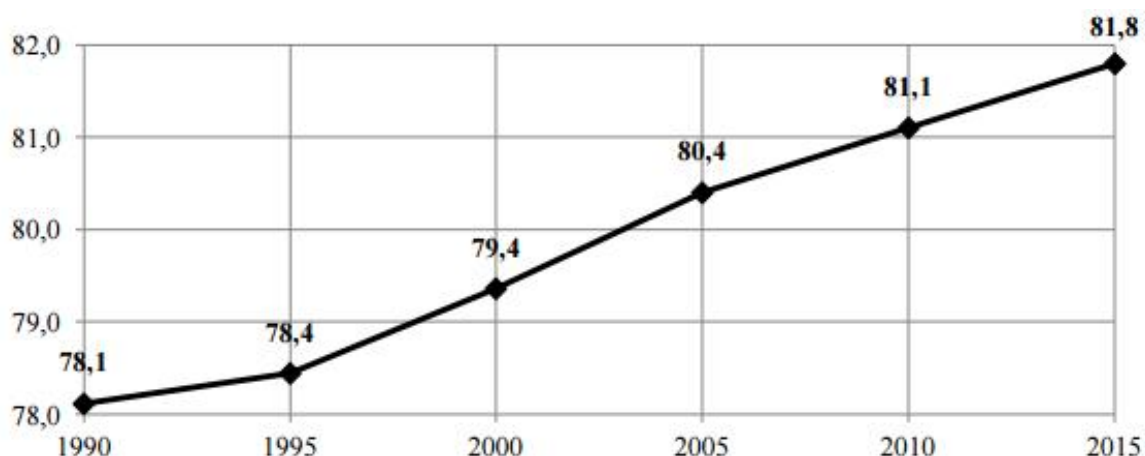


Рис. 1. Доля городского населения в общей численности населения (процент)

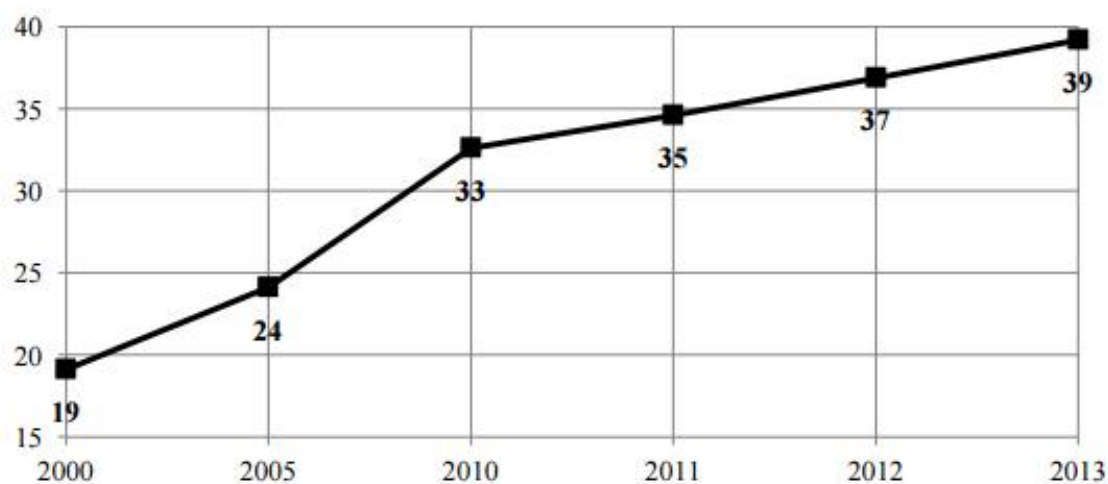


Рис. 2. Легковые автомобили в собственности граждан, млн.

На основании представленного выше материала можно сделать следующие выводы:

1. для поддержания экологической составляющей города необходима, как минимум, частичная реконструкция сетей электрического транспорта;
2. основной проблемой является финансовая составляющая проблемы в непростое для российской экономики время.

Библиографический список

1. Милова, Е. А. Проблемы и тенденции развития городского электрического транспорта в России, сравнение с международным опытом / Е. А. Милова // Научный альманах. – 2016. – № 5-1. – С. 159 – 164.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

А. Ю. Митрохин

Тамбовский государственный технический университет

Электроэнергетика, как отрасль, является базовой для большинства отраслей народного хозяйства. Однако в условиях техногенных катастроф или терроризма весьма уязвима. Эта уязвимость электроэнергетики, как технической системы, обусловлена несоблюдением принципа разнообразия и неоднородности, присущего живой природе.

В настоящее время электроэнергетика представлена крупными электростанциями, которые достались в наследство от СССР, и в настоящее время практически выработали свой ресурс.

Если смотреть на текущее состояние состояние распределённой энергетики в соотношении с большой генерацией, то распределённая энергетика занимает лишь 1,57% от общей установленной мощности:



Рис. 1. Современное состояние распределённой энергетики в России

Однако географические особенности нашей страны, специфика её расселения представляют большую перспективу для развития распределённой энергетики, о чём говорят цифры ввода новых мощностей:

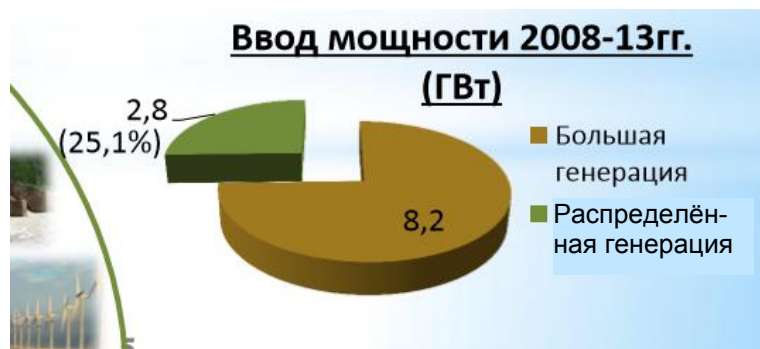


Рис. 2. Ввод новых генерирующих мощностей на территории России

Таким образом, четверть вводимых генерирующих мощностей приходится на долю распределённой генерации. Эффективность функционирования распределённой генерации будет зависеть от использования интеллектуальных систем: активно-адаптивных электрических сетей или SMART GRID.

На уровне правительства решается вопрос о модернизации, а в ряде случаев, строительстве новых электростанций, в связи с этим разрабатывается новая концепция, учитывающая развитие распределённых источников энергии.

По состоянию на осень 2011 г. Правительственной комиссией по высоким технологиям и инновациям утверждено 27 технологических платформ, из них 8 относятся к энергетическому сектору:

1. Интеллектуальная энергетическая система России.
2. Малая распределённая энергетика.
3. Перспективные технологии возобновляемой энергетики.
4. Экологически чистая тепловая энергия высокой мощности.
5. Биоэнергетика.
6. Технологическая платформа твёрдых полезных ископаемых.
7. Технологии добычи и использования углеводородов.
8. Глубокая переработка углеводородных ресурсов.

Пять из них: Интеллектуальная энергетическая система России, Малая распределённая энергетика, Перспективные технологии возобновляемой энергетики, Экологически чистая тепловая энергия высокой мощности, Биоэнергетика – отвечают задачам реализации национального приоритета, связанного с обеспечением энерго- и ресурсосбережения, энергоэффективного потребления и развития использования ВИЭ.

Одним из основных вопросов внедрения распределённой генерации с активно-адаптивной электрической сетью является решение задач оптимизации топологии систем электроснабжения с учётом особенностей районных распределительных электрических сетей. С научной точки зрения, перспективными являются исследования по оценке эффективности использования распределённых источников энергии на территории Тамбовской области с учётом применения биоэнергетических источников энергии.

Библиографический список

1. **Использование** биогазовых установок в электроснабжении сельскохозяйственных предприятий Тамбовской области / А. Н. Зазуля, А. В. Кобелев, С. В. Кочергин, Н. А. Хребтов // Наука в центральной России. – 2013. – № 4. – С. 66 – 70.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ АВАРИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И СПОСОБЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

И. А. Бортников, А. Ю. Митрохин, В. В. Позднякова

Тамбовский Государственный Технический Университет

Современная электроэнергетическая система (ЭЭС) России охватывает огромную территорию. Такое количество элементов электроэнергетической системы не может работать продолжительное время безотказно из-за износа, природных условий, человеческого фактора. Тысячи крупных нарушений ежегодно устраняются устройствами релейной защиты и автоматики. Однако несмотря на производительность средств защиты, порой случаются достаточно крупные серии аварий, называемые каскадными.

Главной проблемой таких аварий является отключение многих потребителей. Инженеры-электрики полагают, что риски обесточивания систем можно существенно снизить. Для представления проблемы воспользуемся схемой протекания аварии (рис. 1).

Здесь сначала режим системы не переходит границу зоны необратимых последствий; РЗА, а также оперативный персонал обеспечивают достаточно быстрое восстановление режима. Однако существует такое событие (триггерное), при котором режим переходит через указанную границу [9].

Ряд исследователей делит причины рассматриваемых крупных аварий на неизбежные и те, которых можно избежать [1]. К первым относят случайные события, природные явления и т.п., ко вторым – неправильные действия РЗА, дежурного персонала.

Задача автоматики – принять меры к недопущению триггерного возмущения с помощью операций изменения балансов активной и реактивной мощностей.

Деление системы (ДС) относится к средствам противоаварийного управления с воздействием коммутационного типа и осуществляется во время переходного процесса. По цели различаются три вида деления: для предотвращения нарушения устойчивости (упреждающее), для прекращения асинхронного хода (автоматика ликвидации асинхронного режима), для предотвращения потери собственных нужд электрических станций при недопустимом снижении частоты в энергосистеме в результате развития аварии.

Из-за скоротечности аварии нельзя полагаться на человеческий фактор, следовательно, для деления системы и поиска оптимальной линии сечения используется программно-аппаратный комплекс централизованной системы противоаварийного управления (ЦСПА), располагающийся в диспетчерском центре.

Внедрение подобных комплексов поможет решить проблему каскадных аварий, снизить ущерб от различных аварийных факторов, снизить экономические потери как на повреждённое оборудование, так и на потери от обесточивания, снизить человеческие жертвы во время аварий.

Однако внедрение данных комплексов требует достаточной обеспеченности коммутационной аппаратуры телеуправлением.

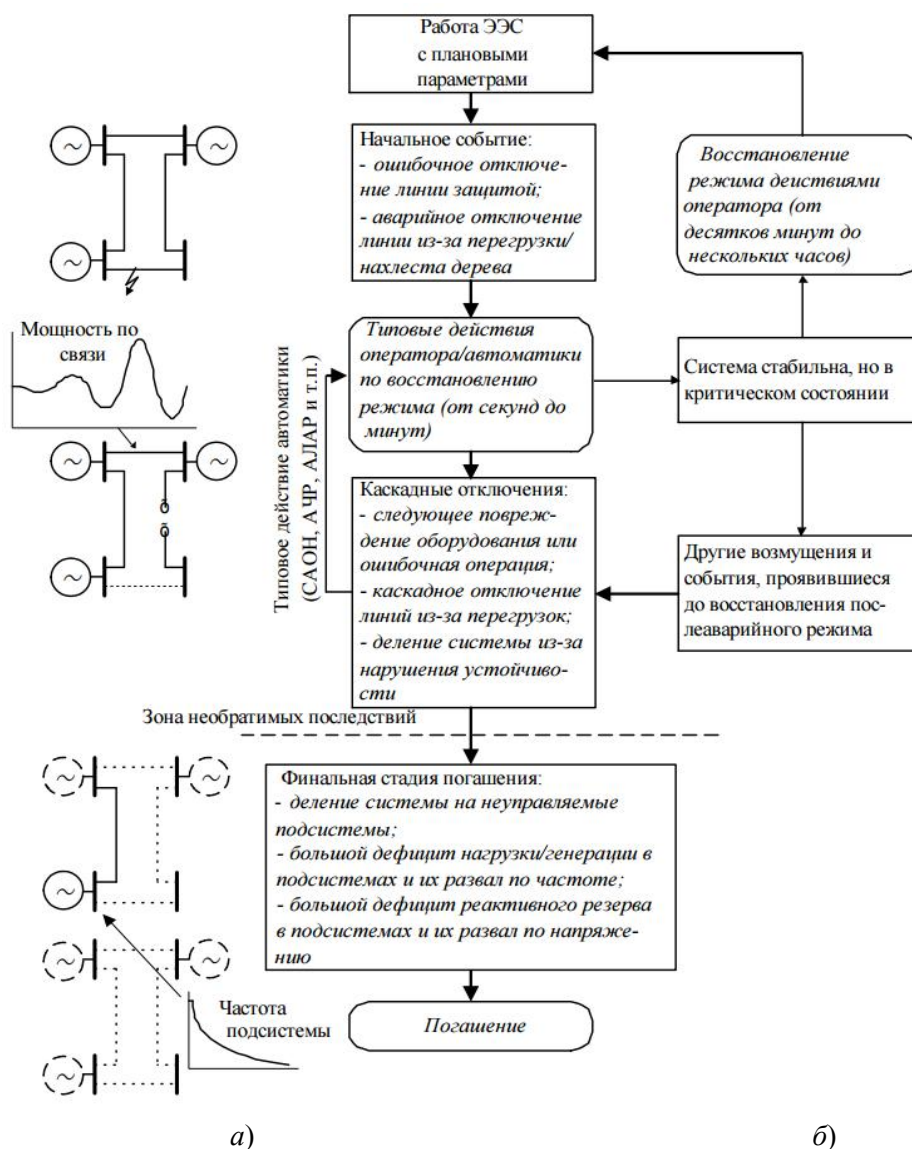


Рис. 1. Последовательность событий развития аварий

Библиографический список

1. **Международная рабочая группа № 1.** Каскадные аварии в энергосистемах, их предотвращение и восстановление работоспособности энергосистем: Предотвращение крупномасштабного веерного отключения электроснабжения в крупных городах-мегаполисах. 27.10.2006. – URL : [//ftp.so-cdu.ru/RZA/old_archiv/kaskad_avar.pdf](http://ftp.so-cdu.ru/RZA/old_archiv/kaskad_avar.pdf) (дата обращения: 05.09.2016)
2. **Шумилова, Г. П.** Оценивание границы динамической надёжности электроэнергетической системы / Г. П. Шумилова, Н. Э. Готман, Т. Б. Старцева // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2010. – № 1.
3. **Смирнов, С. О.** Причины возникновения и меры противодействия крупным авариям в электроэнергетических системах / С. О. Смирнов, М. И. Успенский // Известия Коми научного центра УрО РАН. – Сыктывкар, 2012. – Вып. 1(9). – С. 68 – 77.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ СИНХРОННОГО ПРИВОДА МОТАЛКИ СТАНА «2000» ЦГП ПАО «НЛМК» В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MATLAB SIMULINK

А. А. Пожидаев, А. М. Евсеев, В. В. Пикалов

Липецкий государственный технический университет

Металлургия является ведущей отраслью народного хозяйства страны. Тенденция использования синхронных двигателей в прокатном производстве оправдана необходимостью большой мощности и $\cos\varphi$. Синхронные машины обладают рядом недостатков, которые делают их менее выгодными, чем асинхронные двигатели, при ограниченных мощностях до 100 кВт. Однако при более высоких мощностях, когда особенно важно иметь высокий $\cos\varphi$ и уменьшенные габаритные размеры машины, синхронные двигатели предпочтительнее асинхронных.

На данный момент остро стоит вопрос о виртуальном моделировании синхронных электроприводов, так как использование подобной модели на производстве поможет рабочему персоналу без труда рассчитывать перспективу внедрения изменения в технологический процесс, производить проверку тепловых режимов, исследование нагрузки на разных этапах, проведение различных экспериментов и выявление дефектов в системе регулирования.

Была разработана универсальная модель синхронного привода моталки стана «2000» в программном пакете Matlab Simulink, схема которой приведена на рис. 1.

С помощью блоков перевода в относительные единицы смогли добиться универсальности модели и использования её для изучения электроприводов моталок различных мощностей. Была разработана подсистема задания скорости и момента в зависимости изменения от радиуса. Так же была разработана подсистема вычисления момента инерции и интегрирования её в модель.

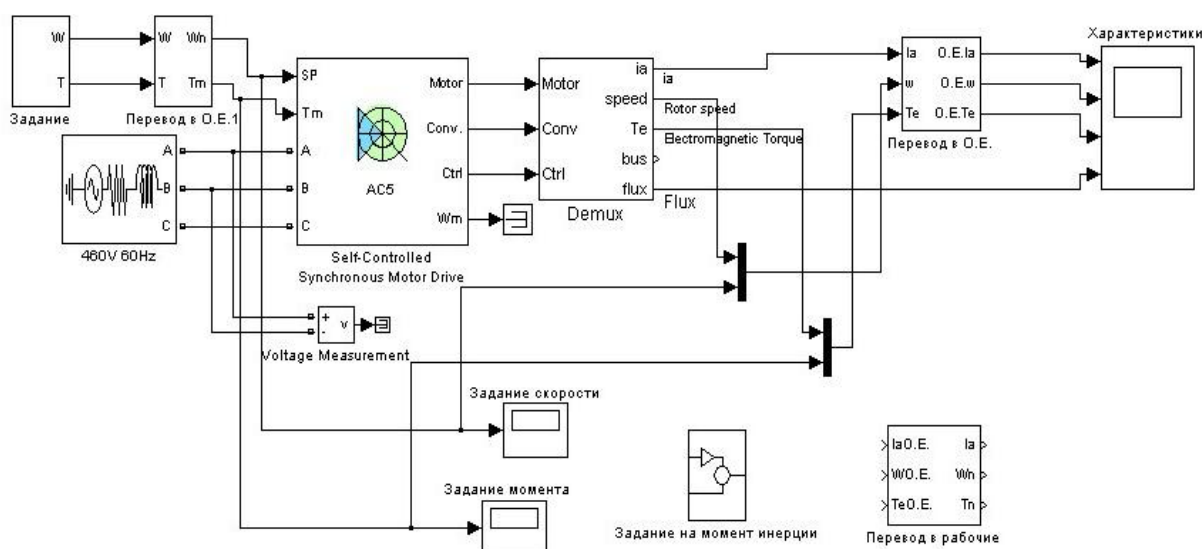


Рис. 1. Модель синхронного привода моталки в среде Matlab Simulink

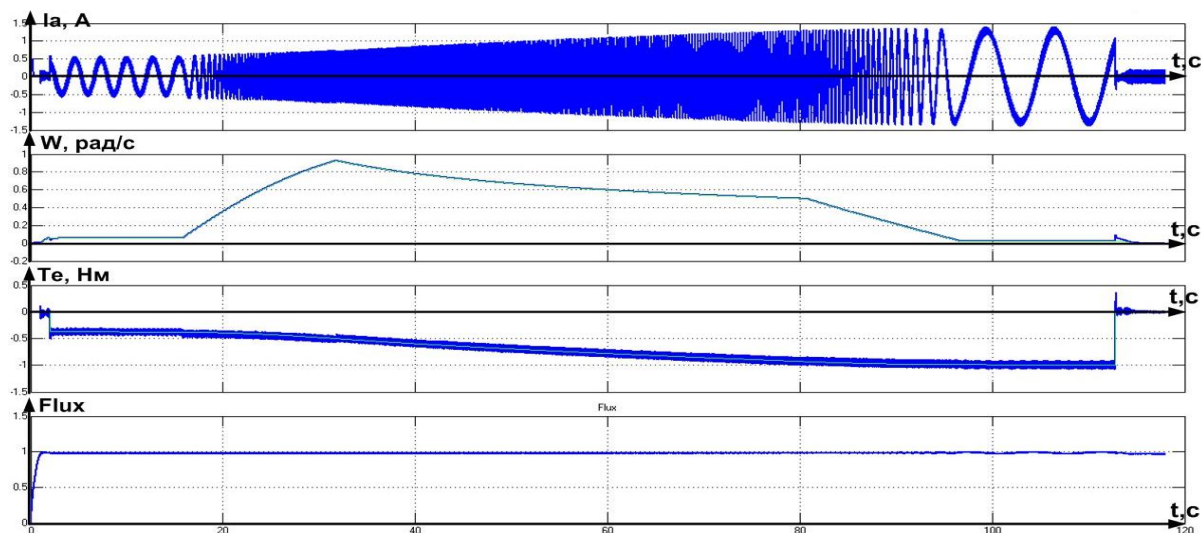


Рис. 2. Графики зависимости основных выходных параметров от времени за весь цикл работы моталки

На рисунке 2 показаны выходные характеристики тока статора [1], скорости, электромагнитного момента и потока модели синхронного привода согласно технологическому процессу моталки стана.

Графики, полученные в результате моделирования, оказались схожими с графиками, взятыми с производства и рассчитанными ранее, благодаря чему был сделан вывод, что модель является рабочей, и первоначальные цели по созданию универсальной модели достигнуты.

Библиографический список

1. **Мещеряков, В. Н.** Оптимизация взаимного положения векторов тока статора и магнитного потока асинхронного двигателя при векторном управлении / В. Н. Мещеряков, П. Н. Левин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2006. – № 1. – С. 25 – 27.

*Работа выполнена под руководством
профессора В. Н. Мещерякова*

ФРАКТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. В. Позднякова

Тамбовский государственный технический университет

Современные электроэнергетические системы представляют собой высокоразвитые системы с многоуровневой иерархической структурой [1, 2]. Для «умного управления» такой сложной, разветвлённой и нелинейной системой необходим поиск и использование инновационных подходов для прогнозирования развития событий в целях выработки правильных и оперативных решений.

Концепцию функционирования сложных систем (к ним можно отнести также – электроэнергетические системы), можно сформулировать в следующем виде [3]:

- 1) динамика системы имеет в значительной степени детерминированный характер, т.е. доминирующими в ней являются в определённом смысле детерминированные процессы;
- 2) развитие системы не имеет цели, явно сформулированной и осмысленной одним или несколькими индивидами, и происходит в результате доминантно-конкурентно-кооперативных взаимодействий её элементов и подсистем;
- 3) процессы в системе носят синергетический характер и её устойчивое равновесное (гомеостатическое) состояние по тем или иным показателям является, скорее, исключением, чем правилом;
- 4) нормально функционирующая, т.е. жизнеспособная, и в определённом смысле оптимальная система, даже в отсутствие внешних возмущений, характеризуется собственным сложным динамическим поведением (в этом контексте понятие оптимального состояния системы лишено смысла, можно говорить лишь о её оптимальном динамическом поведении);
- 5) разнообразие динамического поведения системы не обязательно обусловлено сложностью её структуры, и многие процессы эффективно описываются динамическими моделями с низкой размерностью (небольшим числом переменных состояния) на основе нелинейных дифференциальных уравнений.

Известно, что динамика многих детерминированных нелинейных систем не поддаётся описанию в терминах классических колебательных систем. Для адекватного описания таких систем необходимо использование специальных методов.

Распределение электрической энергии в разветвлённых электрических системах связано с топологической размерностью сетей, которая имеет фрактальный характер. Понятие размерности топологии сети, основанное на концепции фракталов, является также мощным математическим инструментом для количественного сравнения, анализа и синтеза различных топологий сетей. Например, задача построения электрических подстанций различного уровня напряжений, обеспечивающих надёжность распределения электрической энергии, может быть решена как задача синтеза соответствующей топологии сети нужной фрактальной размерности.

Фрактальная геометрия позволяет создавать эвристически продуктивные модели. Такие модели обладают любопытным свойством: они способны обнаруживать и имитировать не только линейные, но и нелинейные эффекты, возникающие в результате краткого и(или) долгосрочного взаимодействия ряда фракталов. А именно: нарушение соразмерности причин и следствий, «спонтанная» активность или, напротив, «чрезмерная» инертность изучаемой системы, способность к самоструктурированию или к взрывообразному разрушению во время фазового перехода. Фрактальная модель – это машина гипотез [4].

Фрактал – это бесконечно самоподобная геометрическая фигура, каждый фрагмент которой повторяется при уменьшении масштаба. В этом смысле электросетевая структура напоминает фрактальную конструкцию.

Таким образом, области устойчивости ЭЭС имеют в полярных координатах фрактальную структуру и при их изучении и анализе можно использовать методы и алгоритмы теории фракталов.

Библиографический список

1. **Кочергин, С. В.** Актуальные вопросы моделирования развития электроэнергетических систем / С. В. Кочергин, А. В. Кобелев, Н. А. Хребтов // Бюллетень центра фрактального моделирования. Научно-теоретический и прикладной журнал. – Тамбов, 2011. – № 2.
2. **Нейроинформатика** / А. Н. Горбань, В. Л. Дунин-Барковский, А. Н. Кирдин и др. – Новосибирск : Наука, Сибирское предприятие РАН, 1998. – 296 с.
3. **Xianjun Ni** Research of Data Mining Based on Neural Networks // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2008. – № 39. – P. 381 – 384.
4. **Макаренко, Н. Г.** Стохастическая динамика, марковские модели и прогноз. Научная сессия МИФИ–2007 : лекции по нейроинформатике / Н. Г. Макаренко // Нейроинформатика–2007 : IX Всероссийская научно-техническая конференция. – М. : МИФИ, 2007. – Ч. 1. – 178 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХТАРИФНЫХ СЧЁТЧИКОВ ДЛЯ СГЛАЖИВАНИЯ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

В. В. Позднякова, И. А. Бортников, А. Ю. Митрохин

Тамбовский государственный технический университет

Вследствие необходимости решения проблемы дефицита электрической мощности объяснимо стремление оптимизировать суточные графики распределения электрической нагрузки. Неравномерность электрической нагрузки имеет негативные последствия, а именно: ухудшается техническое состояние оборудования и увеличивается потребление энергоресурсов. Применение двухтарифных счётчиков поможет решить данную проблему.

Провал (минимум) потребления электрической энергии наблюдается ночью. Именно поэтому в ночное время делают скидку на электроэнергию. Следовательно, мощными приборами лучше пользоваться ночью. Экономия, по истечении времени, может составить от 17 до 40% от предыдущих выплат [1].

От сглаживания суточных графиков распределения электрических нагрузок существует несколько положительных эффектов:

- снижение потерь электроэнергии в сетях, учитывая их квадратичную зависимость (согласно закону Джоуля–Ленца, интегральный эффект);
- снижение максимума активной мощности энергосистемы, что позволит снизить необходимую мощность новых электростанций или отсрочить их пуск, временно повышая пропускную способность сети в период пиковых нагрузок.

Двухтарифная система учёта электроэнергии (счётчик день/ночь) – это дифференцированная по времени суток система учёта, которая позволяет оплачивать потребление электроэнергии в ночные и дневные часы по различным тарифам.

При наличии двухтарифных приборов учёта электрической энергии расчёты с населением производятся по дифференцированным по зонам суток тарифам (табл. 1) [2]:

- в часы ночного минимума нагрузок – по ночной ставке;
- в остальное время суток – по дневной ставке.

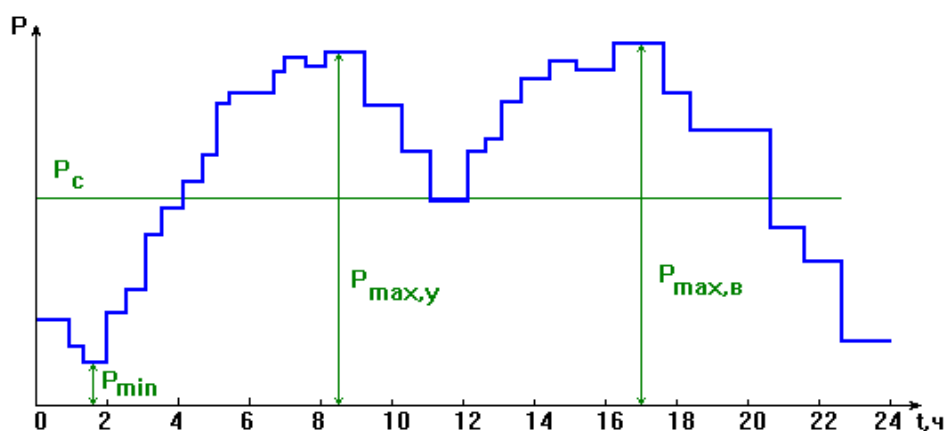


Рис. 1. Суточный график электрических нагрузок $P(t)$:

P_c – среднесуточная нагрузка; P_{min} – минимальная нагрузка; $P_{max,y}$ – максимальная нагрузка на утренние часы; $P_{max,v}$ – максимальная нагрузка в вечерние часы

1. Цены (тарифы) на электрическую энергию

Сбытовые компании, гарантирующие поставщики	Одноставочный тариф	Одноставочный тариф, дифференцированный по двум зонам суток		Одноставочный тариф, дифференцированный по трём зонам суток		
		дневная зона (пиковая и полупиковая зона)	ночная зона	пиковая зона	полу-пиковая зона	ночная зона
	р./кВтч (с НДС)	р./кВтч (с НДС)	р./кВтч (с НДС)	р./кВтч (с НДС)	р./кВтч (с НДС)	р./кВтч (с НДС)
ПАО «ТЭСК»	Население					
	3,51	3,93	2,80	4,33	3,51	2,80
	Население в домах, оборудованных электроплитами и(или) электроотопительными установками					
	2,63	2,96	2,10	3,24	2,63	2,10

На основе вышеизложенного можно выделить преимущества и недостатки двух-тарифной системы:

- снижение производственных издержек и перераспределение нагрузки (преимущество для энергосберегающих организаций);
- экономия денежных средств при оплате за электроэнергию (для потребителей);
- удобство при снятии показаний.

Библиографический список

1. **Краснопевцева, И. В.** Инновационные подходы к экономии энергетических ресурсов / И. В. Краснопевцева, Е. А. Краснопевцева, Л. Н. Козина // Вестник НГИЭИ, 2014. – № 12(43). – С. 48 – 53.
2. **Булякин, Н. С.** Энергосбережение в химическом производстве. Увеличение эффективности использования энергоресурсов / Н. С. Булякин, В. Н. Валиуллина, Л. Н. Козина // YOUNGELPIT 2013: Международный инновационный форум молодых учёных : сборник. – 2014. – С. 54 – 59.

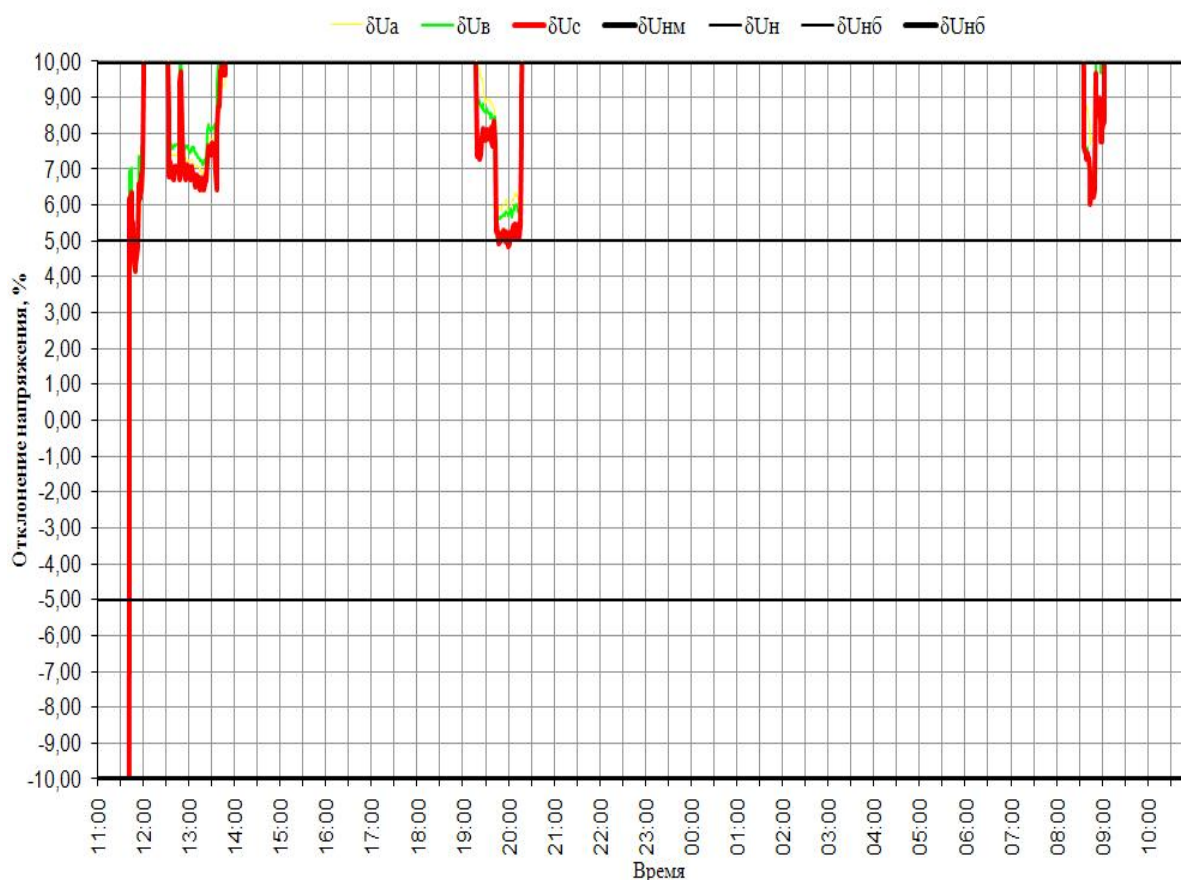
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В. В. Позднякова

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время в электроэнергетике России сохраняются неблагоприятные тенденции в работе электроэнергетических сетей и систем, связанные с изношенностью основного оборудования, медленными темпами его обновления. И если с электроснабжением промышленности и городов дела обстоят сравнительно неплохо, то электроснабжение отдалённых сельскохозяйственных районов с малой плотностью распределения электрической нагрузки и небольших предприятий вызывает определённые проблемы.

Процесс формирования и развития систем электроснабжения отдалённых сельскохозяйственных районов, прежде всего, подразумевает выбор оптимального источника электрической энергии. До настоящего времени приоритетным считалось централизованное электроснабжение от ближайшей энергосистемы. Но такой вариант требует больших финансовых затрат на подключение и не гарантирует высокой надёжности и качества электроснабжения [1, 2].



**Рис. 1. График отклонения установившегося значения напряжения
от 1 октября 2009 года**

На базе Тамбовского государственного технического университета функционирует испытательная лаборатория качества электрической энергии. Лаборатория участвует в сертификационных испытаниях по качеству электрической энергии на территории Центрального федерального округа. Проведённые испытания на сельскохозяйственных объектах показывают несоответствие качества электрической энергии требованиям ГОСТ 13109–97. Одним из основных показателей несоответствия качества электрической энергии установленным нормам является установившееся отклонение значение напряжения.

После проведения испытаний качества электрической энергии на сельскохозяйственном предприятии были получены данные (рис. 1), которые показывают, что в 100% времени значения установившегося отклонения напряжения превышают нормально допустимые значения и в 80% времени превышают предельно допустимые значения.

Среди наиболее эффективных направлений для Тамбовской области можно считать использование биогаза в биогазовых установках, а именно, преобразование энергии отходов биологического происхождения (растительные остатки, отходы животноводства) в энергию (тепловую и электрическую) с помощью газотурбинных генераторов.

Библиографический список

1. **Моделирование** сельских распределительных электрических сетей 10/0,4 кВ / С. В. Кочергин, А. В. Кобелев, Н. А. Хребтов, П. А. Киташин, К. И. Терехов // *Fractal Simulation*. – 2013 – № 1(5). – С. 5 – 13.
2. **Использование** биогазовых установок в электроснабжении сельскохозяйственных предприятий Тамбовской области / А. Н. Зазуля, А. В. Кобелев, С. В. Кочергин, Н. А. Хребтов // *Наука в центральной России*. – 2013. – № 4. – С. 66 – 70.

ПОВРЕЖДЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ПРОВОДНИКОВ

Д. В. Пустовалов

Тамбовский государственный технический университет

К характерным повреждениям токоведущих частей, т.е. проводников тока и их изоляции, а также контактных соединений проводников, следует отнести у изоляции – разрушение (пробой) и понижение сопротивления у проводников и их соединений – трещины, надлом и неудовлетворительный контакт [1].

Повреждения проводников тока (трещины, надломы, плохой контакт в соединениях) у различных катушек и электрических проводов в общем случае распознают по повышению сопротивления проводников, повреждения изоляции – по величине её сопротивления и электрической прочности. К характерным повреждениям электрических частей относятся у изоляции – понижение сопротивления, механические повреждения, старение, электрический пробой у проводников тока – трещины и надломы, перегрев и расплавление контакт-деталей контактных соединений, износ контакт-деталей. Электрический пробой наступает, когда изоляция теряет свои диэлектрические свойства и происходит короткое замыкание между проводником тока и корпусом (замыкание на корпус, землю) или между витками катушки или между двумя изолированными проводниками тока. Причинами, приводящими к преждевременному электрическому пробое изоляции, могут быть её увлажнение, замасливание, механическое повреждение [2].

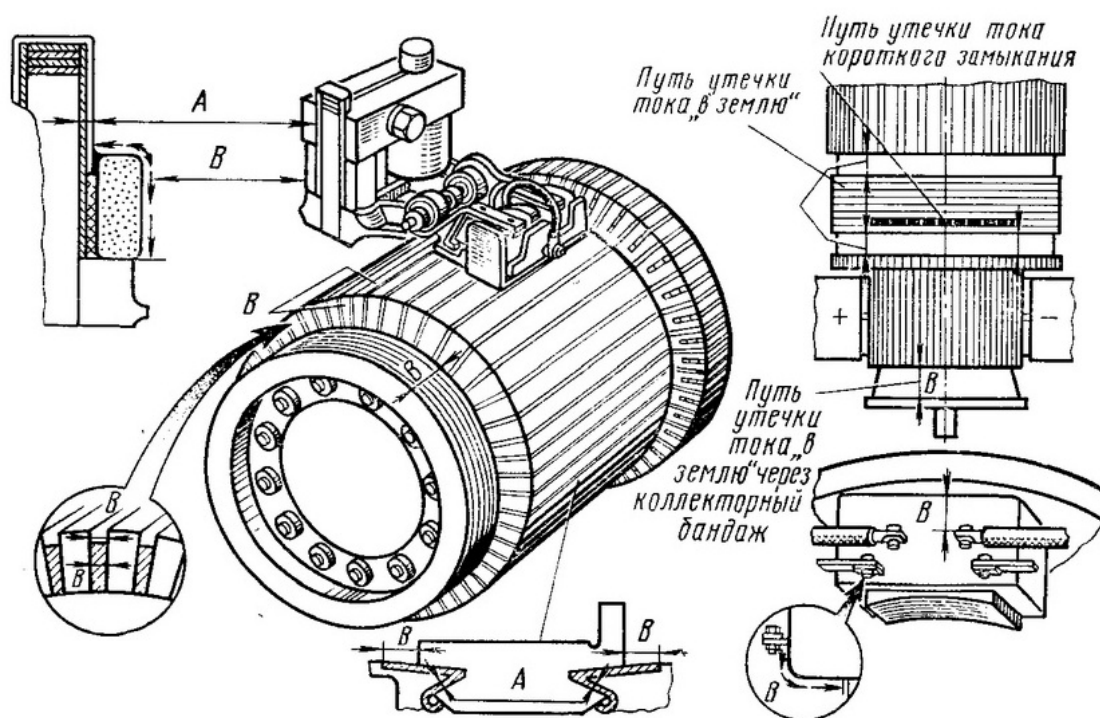


Рис. 1. Пути утечки тока по поверхностному загрязнённому слою изоляции якоря, щёткодержателя и катушек полюсов:

A – длина пути электрического пробоя; B – длина пути утечки тока

Состояние проводников тока определяют у проводников, закрытых изоляцией и находящихся в сборочных единицах, измерением их активного сопротивления и сравнением его с действующими нормами. Механические повреждения открытых участков проводников, не скрытых изоляцией, отыскивают визуально. Скрытые под изоляцией повреждения проводников тока определяют измерением активного сопротивления проводников. Увеличение активного сопротивления проводников тока якоря и катушек полюсов происходит из-за надрыва и трещин в проводниках или повреждения контактных соединений – распайки концов обмотки в петушках коллектора якоря, ослабления крепления или распайки наконечников. Снижается сопротивление, как правило, вследствие виткового замыкания (между витками, коллекторными пластинами). В тех же случаях, когда проводник тока и корпус (земля) остаются после пробоя изоляции разделенными воздушным промежутком, обнаружить повреждение изоляции проверкой мегаомметром не удастся. Поэтому только испытание повышенным напряжением позволяет установить действительную электрическую прочность изоляции токопроводящей части.

Повреждения проводников тока редко возникают в цельной их части (в промежутках между их соединениями). Произойти это может из-за механического разрушения или короткого замыкания, вызванного истиранием изоляции. В большинстве случаев повреждения наблюдаются в электрических контактных соединениях проводников тока [3].

Правильная работа токоведущих частей и электрических двигателей напрямую зависит от качества изоляции, а следствие и надёжность всей системы. Поэтому очень важно правильно подобрать электрическое оборудование с подходящей изоляцией и в процессе эксплуатации следить за её состоянием.

Библиографический список

1. **Сви, П. М.** Контроль изоляции оборудования высокого напряжения / П. М. Сви. – М. : Энергия, 1980. – 125 с.
2. **Рахматулин, М. Д.** Технология ремонта тепловозов : учебник для вузов / М. Д. Рахматулин. – М. : Транспорт, 1983. – 319 с.
3. **Арцишевский, Я. Л.** Определение мест повреждения линий электропередачи в сетях с изолированной нейтралью : учебное пособие для ПТУ / Я. Л. Арцишевский. – М. : Высш. шк., 1989. – 86 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента А. В. Кобелева*

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЁЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Т. И. Репина, Аль Аджаиш Бан Хатем Фалих

Тамбовский государственный технический университет

Надёжность – одно из основных свойств при функционировании энергетической системы. Оно тесно связано с такими свойствами, как экономичность, качество продукции, безопасность и др. ЭЭС одновременно является производственной и технической системой, поэтому трактовка надёжности для неё по сравнению с чисто техническими объектами имеет определённую специфику.

Для разработки мероприятий по повышению надёжности энергетических систем необходимо решить две задачи, которые позволяют проанализировать и создать необходимые условия для повышения надёжности системы. В свою очередь эти задачи делятся на группы.

Для задач анализа надёжности выделяют следующие подгруппы:

1. Определение показателей надёжности функционирования энергетической системы и надёжности оборудования;
2. Определение показателей надёжности питания (электро-, тепло-, энергоснабжения) потребителей.

Для задач повышения надёжности системы выделяют следующие группы:

1. обеспечение резервирования активных генерирующих мощностей;
2. обеспечение баланса реактивных мощностей;
3. выбор (корректировка) схемы электрических соединений (основной и распределительной сетей, энергообъекта, собственных нужд, выдачи мощности и т.д.);
4. обеспечение избыточности пропускных способностей электропередач;
5. обеспечение автоматического противоаварийного управления;
6. создание запасов энергоресурсов (топлива для ТЭС, воды в водохранилищах ГЭС);
7. планирование и обеспечение ремонтов оборудования;
8. управление электропотреблением;
9. восстановление питания потребителей;
10. восстановление нормального режима энергетической системы;
11. восстановление обеспеченности энергоресурсами

Первая задача анализа характерна для всех видов (подвидов) комплексного свойства надёжности (КСН), их структурных составляющих (единичных свойств), каждого единичного свойства и КСН в целом. Вторая задача соответствует лишь видам (подвидам) надёжности и КСН в целом.

Решение задач резервирования активных генерирующих мощностей является средством обеспечения статической и динамической надёжности в части безотказности и обеспеченности производственными мощностями.

Решение задач обеспечения баланса реактивных мощностей – как правило, необходимо для создания всех подвидов динамической надёжности и ресурсообеспеченно-

сти в части баланса ёмкостных и индуктивных мощностей для комплекса генерация–передача–нагрузка при проектировании, планировании и коррекции режимов при эксплуатации.

Задача выбора (корректировки) схемы электрических соединений решается для обеспечения как статической, так и динамической надёжности в части безотказности.

Задача обеспечения избыточности пропускных способностей электропередач актуальна для создания статической и динамической (кроме локальной) надёжности в части безотказности и ресурсообеспеченности основными сетями. Обычно эта задача решается совместно с резервированием генерирующих мощностей.

Задача обеспечения автоматического противоаварийного управления актуальна, главным образом, для реализации динамической надёжности в части режимной управляемости (для локализации отказов, предотвращения их развития, восстановления электроснабжения потребителей и нормального режима энергетической системы).

Задача создания запасов энергоресурсов естественно связана с обеспеченностью энергоресурсами в части безотказности.

Задача планирования и обеспечения ремонтов оборудования как средства обеспечения его работоспособности – характеризует свойство ремонтпригодности.

Задачи 8, 9, 10 (управления электропотреблением, восстановления питания потребителей и нормального режима энергетической системы) направлены на создание режимной управляемости как составляющей динамической надёжности, а задача 8 и как составляющей статической надёжности.

Задача 11 отличается от задачи 6 тем, что решается в условиях, когда текущая потребность в энергоресурсах больше или равна объёму их возможного использования, а запасы энергоресурсов исчерпаны.

Таким образом, решение задач по анализу и созданию условий повышения надёжности позволяет повысить общую надёжность энергетической системы и создаёт возможность её нормального функционирования.

Библиографический список

1. **Манов, Н. А.** Методы и модели исследования надёжности электроэнергетических систем / Н. А. Манов. – Сыктывкар, 2010. – С. 9 – 37.
2. **Калинин, В. Ф.** Надёжность систем электроснабжения : учебное пособие / В. Ф. Калинин, А. В. Кобелев, С. В. Кочергин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 80 с.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ АСПЕКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНДЕСАТОРНЫХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

А. С. Ростяпин, В. С. Маклаков

Тамбовский государственный технический университет

Реактивная мощность в электроустановках появляется от действия намагничивающего тока асинхронных двигателей (60...65% общей реактивной мощности), трансформаторов (20...25%), индуктивности воздушных ЛЭП, реакторов и др. (10%). Прохождение значительной индуктивной составляющей тока по питающим и распределительным сетям и через трансформаторы приводит к возникновению дополнительных потерь энергии во всех элементах системы внешнего и внутреннего электроснабжения предприятия (в активных сопротивлениях генератора и ЛЭП).

Чтобы уменьшить эти дополнительные потери, необходимо увеличить сечение проводов, т.е. повысить затраты или принять другие технически и экономически оправданные меры (например, установка конденсаторов). От реактивного тока возникает дополнительное падение напряжения в проводах ЛЭП и трансформаторах, которое снижает напряжение на электроприёмнике, что особенно существенно для протяжённых промышленных сетей и питающих линий передачи.

Дополнительное падение напряжения приводит к понижению вращающих моментов двигателей, уменьшению светотдачи осветительными приборами и к другим нежелательным последствиям [1]. Всё это требует увеличения мощности или применения средств регулирования напряжения с помощью комплектных конденсаторных установок.

Конденсаторные установки присоединяют к сети через отдельный аппарат управления, предназначенный для включения и отключения только конденсаторов, или через общий аппарат управления с силовым трансформатором, асинхронным электродвигателем или другим электроприёмником. Обе эти схемы могут применяться при любом напряжении конденсаторной установки.

В трёхфазных батареях однофазные конденсаторы соединяют в треугольник или звезду. Применяется также последовательное или параллельно-последовательное соединение однофазных конденсаторов в каждой фазе трёхфазной батареи [2].

На примере шести подстанций города Тамбова со средней потребляемой мощностью по 525 кВт, исследовалась возможность использования конденсаторных установок для повышения коэффициента мощности, приблизительное значение которого до компенсации было 0,74. В результате проведённых расчётов было установлено, что годовое снижение потребления электроэнергии за счёт проведения данного мероприятия и уменьшения потерь составит 413 409,92 кВт·ч. В качестве расчётного значения коэффициента мощности после компенсации использовался показатель, равный 0,95. После несложного анализа сэкономленных средств, в денежном выражении, становится ясно, что они составят более миллиона рублей в год.

В настоящее время функционирование любого объекта коммунальной и производственной инфраструктуры немислимо без энергосберегающих мероприятий.

Использование конденсаторных установок является уже исторически оправданным и в дополнение ко всему способствующим увеличению пропускной способности электрических сетей энергоснабжающих предприятий, что немаловажно при активно развивающейся экономике региона.

Библиографический список

1. **Кобелев, А. В.** Режимы работы электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : учебное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика» / А. В. Кобелев, С. В. Кочергин, Е. А. Печагин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015 (37,0 Мб).
2. **Маньков, В. Д.** Основы проектирования систем электроснабжения : справочное пособие / В. Д. Маньков. – СПб. : НОУ ДПО «УНИТЦ «Электросервис», 2010. – 664 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента Е. А. Печагина*

ОБЗОР СИСТЕМ ПРЯМОГО УПРАВЛЕНИЯ МОМЕНТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

К. О. Рукавицын

*Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*

Аннотация. Рассмотрены варианты прямого управления моментом асинхронных двигателей с использованием методов искусственного интеллекта. Произведено сравнение систем Fuzzy DTC и DTC с использованием искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: прямое управление моментом (ПУМ; DTC); интеллектуальные системы управления; искусственная нейронная сеть (ИНС); нечёткая логика.

В последние десятилетия в области автоматизированного электропривода значительно вырос интерес к всевозможным аспектам проблем интеллектуального управления. Исследователями предложено множество работ, направленных на устранение основных недостатков метода прямого управления моментом: 1) большая амплитуда колебаний электромагнитного момента; 2) непостоянство частоты коммутаций ключей инвертора, отрицательно влияющее на их тепловое состояние; 3) большое значение амплитуды тока статора при пуске.

В отечественной и зарубежной литературе можно выделить две основные группы усовершенствованных систем DTC с использованием методов искусственного интеллекта: 1) DTC с использованием нечёткой логики (Fuzzy DTC); 2) DTC с использованием искусственных нейронных сетей (ANN DTC).

В работе [1] автор отмечает, что возможно несколько вариантов применения нечёткой логики в системах DTC: 1) для вычисления скважности импульса напряжения; 2) для вычисления компонент-вектора напряжения. В Fuzzy DTC за счёт усложнения таблицы переключений улучшаются статические и динамические свойства привода, уменьшаются пульсации электромагнитного момента. Применение нечётких регуляторов должно обеспечивать большую устойчивость, чем релейные регуляторы в классическом DTC, а также позволить лучше управлять нелинейным процессом. Степень робастности регулятора зависит от правил, определяющих нелинейность.

В работах [2 – 5] авторы модернизировали алгоритм DTC путём использования искусственных нейронных сетей. При этом ANN DTC можно разделить на три основные группы по задачам, которые решались с помощью нейронных сетей: 1) ассоциативная память (нейронная сеть заменяет таблицу переключений) [2, 3]; 2) идентификация (адаптивный наблюдатель потокосцепления статора) [4]; 3) управление (нейрорегулятор скорости) [5].

Авторами отмечается, что использование искусственных нейронных сетей привело к уменьшению колебаний электромагнитного момента, повышению робастности привода за счёт обработки зашумлённых входных сигналов, повышению точности регулирования. Недостатком считается сложность организации обучения нейронной сети в задачах идентификации и управления при её адаптации к конкретному двигателю.

Стоит отметить, что достоинства и недостатки рассмотренных систем прямого управления моментом обуславливают область своего применения. При этом одни методы позволяют избавиться от недостатков самой системы управления, когда другие методы помогают учесть нелинейность объекта управления.

Библиографический список

1. **Григорьев, А. В.** Обзор вариантов прямого управления моментом асинхронных электродвигателей (часть 2) / А. В. Григорьев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 3(91). – С. 136 – 138.
2. **Еременко, Ю. И.** Цифровое моделирование в Simulink системы прямого управления момента с многослойным персептроном / Ю. И. Еременко, М. Г. Данилова, К. О. Рукавицын // Вестник Воронежского Государственного Технического Университета. – Воронеж : Изд-во ВГТУ, 2016. – № 12(4). – С. 15 – 18.
3. **Minimization** of Current, Flux & Torque Ripples Content of DTC of Induction Motor Drive at Very Low-Speeds / K. Triveni Naidu, Ms. P. Durga Bhavani, Mr. G. Tirupati Naidu // International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development. – 2015. – № 5. – С. 30 – 40.
4. **Кочкар, Т. А.** Нейронные сети в системах управления преобразователями электрического подвижного состава / Т. А. Кочкар, А. С. Мазнев // Бюллетень результатов научных исследований. – 2016. – № 1(18). – С. 57 – 66.
5. Artificial Neural Network Based Speed and Torque Control of Three Phase Induction Motor / Amanulla, Manjunath Prasad // International Journal of Science and Research (IJSR). – 2013. – № 2(8). – С. 463 – 465.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента А. И. Глущенко*

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ НА НАПРЯЖЕНИЯ 35...220 КВ

А. С. Саксонов

Тольяттинский государственный университет

В настоящее время в ЕЭС России ведётся активное строительство подстанций. Строятся как крупные подстанции федерального и международного значения для увеличения перетоков мощности между отдельными ОЭС и странами Восточной Европы, Азии, Скандинавии, а также подстанций межрегионального и регионального значения для развития промышленности в регионах и повышения надёжности электроснабжения потребителей. Большинство крупных подстанций строятся в развивающихся регионах страны: таких как Сибирь и Дальний восток (в связи с развитием новых месторождений полезных ископаемых, заселением территорий). В ОЭС Центра ведётся строительство нескольких ПС 500 кВ для увеличения перетоков мощности между ОЭС Средней Волги и ОЭС Северо-Запада. В регионах Центральной части России и на Средней Волге ведётся строительство подстанций регионального значения. Так, в Самаре ведётся строительство подстанции 110/10 кВ «Стадион» для электроснабжения объектов ЧМ по футболу в 2018 г.

Для вновь возводимых объектов электросетевого хозяйства при проектировании рекомендуется применять типовые схемы РУ. Самыми распространёнными схемами проходных подстанций являются схемы 5Н и 5АН, а для тупиковых подстанций применяются схемы 4Н и 4АН по причине простоты и наглядности. Подстанции могут выполняться в двух вариантах: сборными или комплектными. По сравнению со сборной подстанцией комплектная обладает рядом преимуществ:

- строительство занимает меньший промежуток времени;
- производство, испытание, проверка качества комплектующих выполняются одним и тем же предприятием;
- возможно применение для электроснабжения временных объектов, таких как крупные строительные площадки.

Процесс строительства можно условно разделить на два этапа:

- 1) проектирование;
- 2) сооружение.

На первом этапе рассчитывается мощность нагрузки, мощность трансформаторов, выбирается оборудование ОРУ и т.д. Проектирование комплектной подстанции ничем не отличается от проектирования сборной подстанции, так как оба типа ПС выполняются по типовым схемам, оборудование, используемое на ПС, в обоих случаях одинаково.

Второй этап создания подстанции – строительство. На этом этапе на основе проектной документации выполняется сооружение подстанции. Всё оборудование поставляется комплектами, что существенно упрощает монтаж оборудования и сокращает время строительства подстанции.

Оборудование подстанции изготавливается обычно одним и тем же производителем, это сокращает не только сроки производства оборудования, но и сокращает срок испытаний оборудования, сборки оборудования, подготовки его к монтажу, а также более чётко соблюдаются графики поставки оборудования и строительства объекта.

Таким образом, применение КТП снижает время строительства объекта, что позволяет использовать КТП для электроснабжения временных объектов, например, крупных строительных площадок с последующим демонтажем ПС или её реконструкцией. Так же возможно использование КТП для электроснабжения месторождений полезных ископаемых и вахтовых посёлков.

Библиографический список

1. **СТО 56947007-29.240.30.047–2010.** Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35...750 кВ. – ОАО ФСК ЕЭС, 2010. – 128 с.
2. **СТО 56947007-29.240.30.010–2008.** Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35...1150 кВ. Типовые решения. – ОАО ФСК ЕЭС, 2007. – 131 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук Д. А. Кретьова*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА ЭЛЕКТРОВОЗАХ

И. А. Семиохин, В. А. Бабкин, В. Л. Буяк

*Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»*

Железнодорожный промышленный транспорт Стойленского горно-обогатительного комбината (СГОК) занимает одну из главных ролей в технологической схеме доставки железной руды. Электровозы, используемые на СГОКе, представляют собой локомотив, приводимый в движение электрическими двигателями, которые питаются электроэнергией через токоприёмник электровоза от контактной сети или от установленной на нём аккумуляторной батареи. В контактную сеть электроэнергия поступает от тяговой подстанции. Электровозы различают в зависимости от рода используемого тока на электровозы постоянного тока и электровозы переменного тока.

Неотъемлемую роль в работе электровоза играет тяговый электродвигатель (ТЭД), а также аппаратура управления ТЭД и вспомогательные электрические машины (ВЭМ), обеспечивающие требуемые условия работы ТЭД. В качестве вспомогательных электрических машин применяют асинхронные двигатели. Асинхронные вспомогательные электрические машины (АВЭМ) используют как приводы вентиляторов охлаждения резисторов и ТЭД, а также как приводы компрессоров. АВЭМ при эксплуатации на железнодорожном транспорте отличаются от общепромышленных машин низким качеством напряжения и повышенной вибрацией. За последние годы количество отказов АВЭМ увеличилось значительно, следовательно, надёжность этих машин уменьшилась. Вследствие неисправностей АВЭМ количество внеплановых ремонтов увеличилось более чем в 2,5 раза. Данная проблема наиболее выражена при организации питания АВЭМ по конденсаторной схеме. На качество работы трёхфазного асинхронного

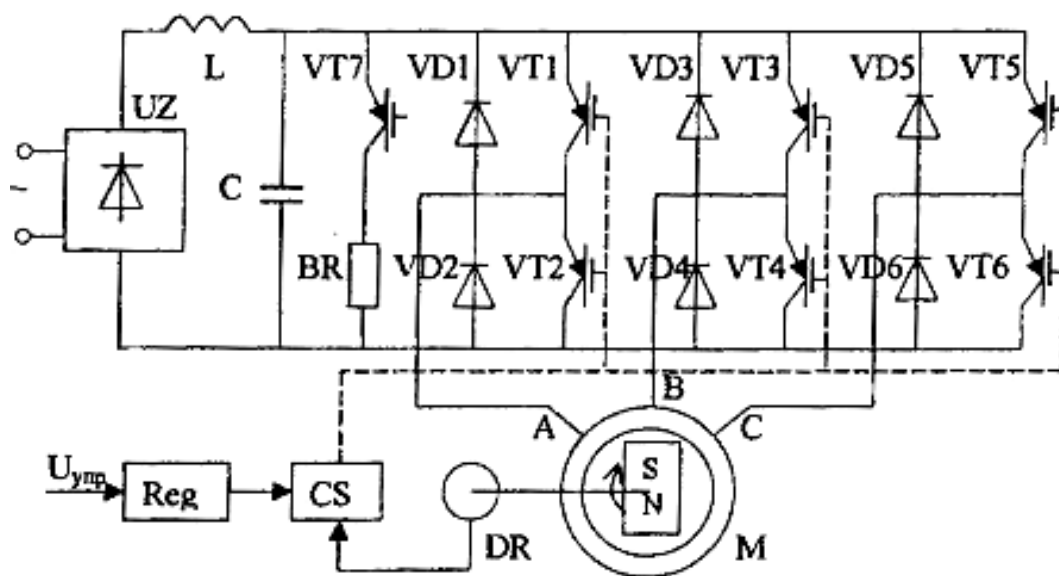


Рис. 1. Вентильный реактивный электродвигатель

двигателя действуют несколько факторов: несимметрия питающего напряжения, формируемого от однофазной сети; выбор конденсаторной схемы и качество её функционирования.

Для решения этой проблемы предлагается заменить АВЭМ на вентильный реактивный электродвигатель (ВРД). ВРД – это вентильный реактивный синхронный двигатель, на обмотки статора которого подаются импульсы напряжения управляемой частоты, создающие вращающееся магнитное поле, а ротор, выполненный из магнитомягкого материала, стремится расположиться вдоль поля.

На роторе ВРД отсутствуют обмотки и постоянные магниты. Фазные обмотки находятся только на статоре. Для уменьшения трудоёмкости замены катушки, обмотки статора могут изготавливаться отдельно, а затем надеваться на полюсы статора. Простота обмотки якоря повышает ремонтпригодность ВРД/ВРГ, так как для ремонта достаточно сменить вышедшую из строя катушку.

Использование ВРД вместо АВЭМ позволяет полностью избавиться от конденсаторной схемы питания, что впоследствии существенно снизит вероятность отказов ВЭМ на электровозах СГОК. В свою очередь высокая надёжность ВРД позволит повысить экономическую эффективность электровозов.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента Н. П. Моториной*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРИВОДА КАЛИБРУЮЩЕГО БЛОКА СПЦ-2 ОАО ОЭМК

М. Ю. Серов, И. С. Князев

*Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*

В данной работе рассмотрена эффективность модернизации привода калибрующего блока, заключающаяся в замене двигателя постоянного тока независимого возбуждения и тиристорного преобразователя на асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором и частотный преобразователь.

В соответствии с [1] электроприводы потребляют более половины вырабатываемой электроэнергии, из чего можно сделать вывод, что основной потенциал экономии электроэнергии находится в развитии электропривода. Энергосбережение является наиболее простым и выгодным способом увеличения энергогенерирующих мощностей, так как согласно [2] затраты на экономию 1 кВт мощности обходятся в несколько раз дешевле, чем стоимость введения 1 кВт мощности. Этот факт, а также существенное совершенствование элементной базы приводят к тому, что приводы на двигателях постоянного тока стали не эффективны и заменяются приводами с частотным регулированием.

Несмотря на то, что двигатели постоянного тока имеют значительное распространение в настоящее время, их использование имеет ряд серьёзных недостатков, обусловленных конструктивными особенностями:

- большие капитальные и эксплуатационные затраты по причине сложности конструкции;
- снижение КПД и рабочего ресурса в связи с наличием щеточно-коллекторного узла;
- большая масса.

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором в сравнении с машинами постоянного тока имеет ряд важнейших преимуществ:

- простота конструкции, а вследствие этого более низкие капитальные затраты и высокая надёжность;
- снижение эксплуатационных затрат;
- более высокий КПД и рабочий ресурс по причине отсутствия щёточно-коллекторного узла.

После того, как были созданы IGBT-транзисторы, появилась возможность создания недорогих в производстве преобразователей частоты, благодаря которым стало доступным регулирование скорости двигателя в широком диапазоне, что раньше не представлялось возможным. Достоинства двигателей постоянного тока (большой диапазон регулирования момента, низкие пусковые токи) теперь полностью повторяются (а иногда и превышаются) частотным приводом.

Ввиду широкого распространения частотных преобразователей большое применение получил частотный способ регулирования. Достоинством такого способа регулирования является улучшение эффективности и долговечности привода. Внедрение частотного способа регулирования позволяет повысить экономичность расходования электроэнергии, а также значительно поднять надёжность всей системы.

При этом, помимо экономии электроэнергии замена привода калибрующего блока приведёт к уменьшению времени простоя на 12 – 16 часов в год, что повлечёт за собой увеличение выработки металла на 0,16%.

Расчёт экономического эффекта показал, что эта замена является экономически выгодной. Срок окупаемости составляет 1 год 10 месяцев.

Библиографический список

1. **Краснов, И. Ю.** Методы и средства энергосбережения на промышленных предприятиях : учебное пособие / И. Ю. Краснов. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 6 с.
2. **Энергосберегающий** асинхронный электропривод : учебное пособие для студентов вузов / под ред. И. Я. Браславского. – М. : «Академия», 2004. – 4 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента Н. П. Моториной*

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

А. В. Синюков

Липецкий государственный технический университет

Применение нейронных сетей в различных областях промышленности является актуальным направлением для исследования. Нейронные сети по своей структуре напоминают мозг человека. Решение многих задач на практике является невозможным, так как отсутствует точная информация об объектах, принимающих участие в формировании исходных условий, необходимых для получения выходного контролируемого сигнала. Использование искусственного интеллекта позволяет быстро решать поставленные сложные задачи, а при изменении условий воздействия и их количества на результат, возможна перенастройка системы, без дополнительных расходов на демонтаж и монтаж оборудования путём обучения существующей сети.

На многих трансформаторных подстанциях график нагрузки в течение суток имеет неравномерный характер, он зависит от большого набора факторов, влияющих на уровень потребляемой электроэнергии каждым из клиентов. Для обеспечения потребителей необходимой электроэнергией применяется параллельная работа нескольких трансформаторов. Для обеспечения энергосбережения предлагается применение нейронных сетей, на входной слой которых подаётся информация о состоянии всех объектов (включен/отключен; уровень потребления: малый, средний, высокий; время года; часть суток и т.д.), являющихся потребителями электроэнергии. На выходном слое формируется сигнал на ввод/вывод необходимого количества трансформаторов. Выборка осуществляется автоматически из имеющихся на подстанции трансформаторов. Данная система, базирующаяся на нейронных сетях, позволяет исключить необоснованный ввод в работу трансформатора с завышенными показателями мощности, что позволяет достичь энергосбережения. Для обеспечения оптимальной работы системы, путём анализа всех составляющих процесса, определяются промежутки, через которые система будет выполнять запрос о состоянии объектов.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента Т. В. Синюкова*

ВОЗМОЖНЫЕ ВИДЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ В СЭС

И. И. Скоморохов

Липецкий государственный технический университет

Если рассматривать систему электроснабжения с учётом её уровней, то на высших уровнях используют как структурное, так и временное резервирование. Структурное резервирование – изменение структуры системы за счёт ввода избыточного элемента. Временное резервирование – изменение структуры системы за счёт использования избыточного времени [1].

На основании теоремы сложения вероятностей, вероятность пауз поток $X_s^*(z)$ ($s = 1, 2, 3, \dots, n$) равна сумме вероятностей пауз, длительностью меньших и больших времени перехода на резерв, т.е.

$$\bar{P}_s = \bar{\theta}'_s \bar{\mu}'_s + \bar{\theta}''_s \bar{\mu}''_s, \quad (1)$$

где $\bar{\theta}''_s$ и $\bar{\theta}'_s$ – математическое ожидание паузы потока $X_s^*(z)$, меньшей и большей времени перехода на резерв.

Стоит отметить, что с возникновением отказов элементов, длительностью, большей времени перехода на резерв, продолжительность отказов системы равна времени перехода на резерв, а отказы элементов, меньше по длительности времени перехода на резерв, вызывают остановки системы, равные длительности этих отказов.

При наличии структурного резервирования число отказов системы не исключено. Частота отказов системы без резервирования равна частоте отказов системы с наличием структурной избыточности.

Изменение коэффициента связи в пределах $0,7 \dots 1,0$ отвечает частоте перехода в резерв $(5 \dots 8) \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, что во много раз меньше частоты отказов элементов в системе. Естественно, влияние таких отказов на функционирование системы незначительно.

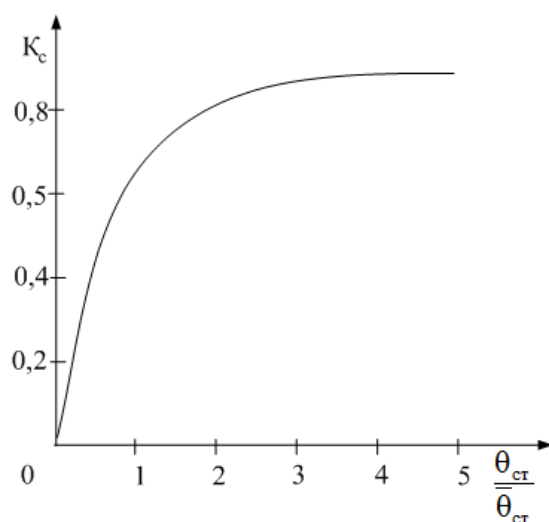


Рис. 1. Изменение коэффициента связи структурного резервирования при экспоненциальном законе распределения отказов

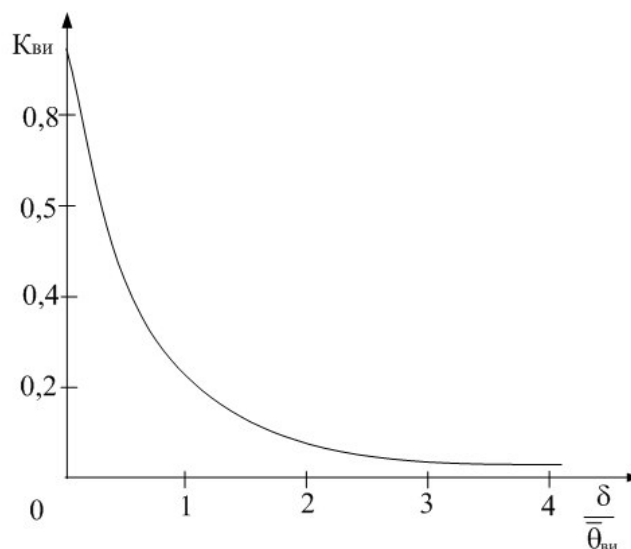


Рис. 2. График коэффициента связи временного резервирования при экспоненциальном распределении

С использованием временного резервирования не каждый отказ элемента приводит к отказу системы. Это возможно благодаря накопителям, позволяющих издавать запас времени для устранения отказов.

Частота отказов системы, подвергшейся временному резервированию, уменьшится на величину

$$\Delta \bar{\mu} = \bar{\mu}_\theta \int_0^{\delta} \beta_\theta(\theta) d\theta. \quad (2)$$

Здесь $\bar{\mu}_\theta$ и $\beta_\theta(\theta)$ – средняя частота и плотность вероятности распределения пауз потока, соответствующих отказам элементов подбункерной системы.

Библиографический список

1. **Шпиганович, А. Н.** Случайные импульсные потоки : учебное пособие / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович, В. И. Бош. – Елец : УГУ им. И. А. Бунина, Липецк : ЛГТУ, 2004. – 292 с.
2. **Черкесов, Г. Н.** Надёжность аппаратно-программных комплексов / Г. Н. Черкесов. – СПб., 2005. – 479 с.
3. **Абрамович, Б. Н.** Повышение надёжности электроснабжения компрессорных станций с газотурбинным приводом / Б. Н. Абрамович, С. П. Петров, С. В. Бабурин // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – 218 с.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора А. Н. Шпигановича*

ПРОБЛЕМА ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ВЫШЕ 1 КВ

Е. С. Селезнев

Тольяттинский Государственный Университет

На данный момент на территории РФ нет опыта практики использования систем непрерывного мониторинга состояния изоляции высоковольтных кабельных систем. Специалисты всё активнее обсуждают централизованное внедрение системы диагностики электрооборудования, которая поможет решить целый ряд проблем, таких как энергетическая безопасность и затраты на обслуживание и ремонт кабельных линий.

Практика эксплуатации показывает, что положительные результаты испытаний повышенным напряжением промышленной частоты не гарантируют безаварийной работы, например, после успешных испытаний повышенным напряжением они зачастую выходят из строя, причина этого в интенсивном электрическом старении изоляции вызванными частичным разрядом в повреждённом участке.

Диагностика, как правило, выполняется неразрушающими методами, т.е. методами, которые не вызывают старение изоляции. Она позволяет определить не только состояние, но и место повреждения кабельной линии. Комплексная диагностика различными методами позволяет определить степень старения изоляции и примерно рассчитать остаточный ресурс кабеля.

Кроме того, применение диагностических методов позволяет:

- производить проверку качества монтажа при вводе в эксплуатацию и ремонтах;
- предотвратить перебои в подаче электроэнергии;
- экономить затраты на техническое обслуживание кабельной линии;
- осуществлять надёжный контроль качества после ремонта.

Полный переход на непрерывную диагностику не произошёл ещё ни в одной стране мира. Различные методы применяются локально как в России, так и в Канаде, Израиле, странах Европы и США.

К наиболее популярным методам диагностики относятся:

- измерение характеристик частичных разрядов;
- измерение диэлектрических потерь изоляции;
- тепловизионный контроль;
- рефлектометрия.

Каждый из вышеперечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки.

Тепловизионный контроль основан на том, что наличие некоторых видов дефектов вызывает изменение температуры на участке данного дефекта, вследствие чего данное изменение может быть зарегистрировано инфракрасными приборами.

Измерение диэлектрических потерь – изоляция токоведущей жилы относительно других жил и заземлённой оболочки образует в кабеле ёмкость, изолирующая способность в которой характеризуется тангенсом диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$, при наличии

дефекта на начальной стадии он будет изменяться незначительно. Однако при наличии дефекта будет наблюдаться изменение $\text{tg}d$ в зависимости от приложенного напряжения. Именно по характеристике изменения этой величины можно судить об изменении состояния изоляции кабеля.

Измерение характеристик частичных разрядов. Данный способ позволяет выявить наличие дефекта на ранней стадии. Частичный разряд представляет собой искровой заряд очень маленькой мощности, образующийся или внутри, или на поверхности изоляции в установках среднего и высокого класса напряжения. Эти заряды с течением времени постепенно разрушают изоляцию, что, в конце концов, приводит к её пробое.

Выводы. Мы рассмотрели существующие на данный момент методы диагностики кабельных линий. Уже сегодня можно говорить о том, что данные методы являются более эффективными и полезными, нежели существующая сегодня и морально устаревшая система измерений и испытаний. Новейшая система диагностики способна предотвратить аварийные ситуации, сэкономить огромные средства, обеспечить энергетическую безопасность и вывести электроэнергетику страны на принципиально новый уровень. Внедрение такой системы требует большой работы. Так как полный переход к диагностике кабельных линий и электрооборудования сегодня ещё не произведён ни в одной стране мира, у России пока что есть уникальная возможность стать первооткрывателем и задать тон в мировой электроэнергетической практике

Библиографический список

1. http://dimrus.ru/manuals/all_monitoring.pdf – Организация диагностического мониторинга высоковольтной аппаратуры ООО «DIMRUS» г. Пермь. [Электронный ресурс].
2. **Правила** устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 184 с.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУСКУЛЬНОЙ СИЛЫ ЧЕЛОВЕКА
ДЛЯ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
В СООРУЖЕНИЯХ СПОРТИВНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
НА ПРИМЕРЕ ОРО ОГ ФСО «ЮНОСТЬ РОССИИ» (Г. Орел)**

И. И. Тарабанов

Орловский государственный аграрный университет им. Н. В. Парахина

Идея применения зелёной энергии находит всё более проникающее влияние на все сферы нашей повседневной жизни.

Одним из вариантов выработки зелёной энергии является использование мускульной энергии в сооружениях спортивно-оздоровительного назначения для потребительских нужд, в том числе для функционирования системы искусственного освещения, поддержания оптимальных параметров микроклимата, питания различной аудио- и видеоаппаратуры [1].

Занимаясь различными физическими упражнениями на специальном оборудовании, например, беговой дорожке [2], велотренажёре [3], покрытии из пьезоэлементов [4] человек расходует калории и вырабатывает электрическую энергию, запасаемую в аккумуляторных батареях и поступающую через инвертор для питания потребительских нужд.

Количество сжигаемых калорий зависит от типа, длительности и интенсивности тренировки; возраста, пола и веса; соотношения жировой и мышечной ткани; соответствующей одежды из натуральной ткани; частоты сокращений сердца; количества перерывов на отдых и их длительности во время тренировок; веса штанги и гантелей; состояния мышечной системы и степени подготовки к тренировкам.

В таблице 1 представлена информация о количестве затрачиваемой энергии затрачиваемой при езде на велотренажёре [5].

Используя собранные данные табл. 1, а также имеющиеся данные по другим видам физических упражнений, можно посчитать, сколько электрической энергии в 1 час может генерировать 1 человек, занимающийся тем или иным видом спорта (при условии, что только 50% его затрачиваемой мускульной энергии перейдёт в электрическую) (см. табл. 2).

Спортивный комплекс ОРО ОГ ФСО «Юность России» (г. Орел) ежедневно в среднем посещают 330 молодых и энергичных юношей и девушек.

1. Количество кг/ккал, затрачиваемое при езде на велотренажёре

Скорость, км/ч	На 1 кг, ккал	При весе человека (кг/ккал)				
		90	80	70	60	50
3,5	2,54	228,6	203,2	177,8	152,4	127
10,0	4,26	383,4	340,8	299,6	255,6	213
15,0	6,05	544,5	484,0	423,5	363,0	302,5
20,0	8,56	770,4	684,8	599,2	513,6	428,0

2. Количество электроэнергии Вт·ч, генерируемое одним спортсменом, в зависимости от вида упражнений и массы его тела

Вид упражнений	Количество электроэнергии Вт·ч, генерируемое человеком в зависимости от вида упражнений и его массы					
	50	60	70	80	90	100
Бокс, кикбоксинг	276,8	321,0	389,6	443,1	498,9	528,0
Дзюдо, каратэ	308,2	368,6	432,6	491,9	553,5	586,1
Аэробика	215,1	258,2	302,4	344,2	388,4	410,5
Тяжелая атлетика	174,5	232,6	290,7	348,9	407,1	465,2

Согласно штатному расписанию боксом занимаются 50 человек; дзюдо, каратэ, кикбоксинг, занимаются 200 человек; аэробикой занимаются 50 человек, тяжёлой атлетикой занимаются 30 человек.

Таким образом, предполагаемое количество электроэнергии в час, вырабатываемой всеми спортсменами, составляет: $50 \times 409,5 + 200 \times 456,81 + 50 \times 319,8 + 320 \times 30 = 137\,427 \text{ Вт} = 23\,800 + 106\,000 + 18\,500 = 148\,300 \text{ кВт·ч}$.

Учитывая тот факт, что продолжительность тренировки спортсмена составляет 1–1,5 часа, в течение дня суммарное количество вырабатываемой электроэнергии может превышать 200 кВт·ч, что позволит в полной мере обеспечивать автономное питание спортивного комплекса.

В заключительной части необходимо отметить, что для учёта вырабатываемой энергии каждым спортсменом с учётом его долевого участия в команде необходимо разработать и внедрить автоматизированную систему учёта количества вырабатываемой электрической энергии, а также разработать систему поощрений для самых энергичных спортсменов в виде призов, почётных грамот и различных бонусных предложений, оказывающее на них стимулирующее воздействие и делающее их тренировки более эффективными.

Библиографический список

1. Зелёное электричество. <http://grinenergy.ru/articles/256082> на 06.12.2016.
2. 5 спортивных тренажёров, вырабатывающих электричество. – <http://www.furfur.me/furfur/culture/culture/174541-poleznye-trenazhery> на 10.11.2016.
3. Электростанция на базе велосипеда с мотор-колесом: http://www.otchelniki.ru/ruhnoi_generator.html на 10.11.2016.
4. Пьезогенераторы – новые источники электроэнергии. Фантазии или реальность? – <http://elektrik.info/main/news/652-pezogeneratorovy-novye-alternativnye-istochniki-elektroenergii.html> на 10.11.2016.
5. Сколько калорий тратится при различных нагрузках в тренажёрном зале? – <http://1trenirovka.com/uprazhneniya/v-trenazhernom-zale/skolko-kalorij-tratitsya.html> на 10.11.2016.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента В. А. Чернышова*

**ПРЕВОСХОДСТВО ТИРИСТОРНЫХ УСТРОЙСТВ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА
ПЕРЕД СУЩЕСТВУЮЩИМИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИМИ АВР
НА ПОДСТАНЦИЯХ С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ**

А. П. Трушин, В. Л. Киселевич

Тамбовский государственный технический университет

Тиристорные устройства автоматического ввода резерва (ТАВР) используются в тех случаях, когда необходимо мгновенное переключение потребителя между двумя источниками переменного тока, где минимальное время переключения не может быть достигнуто при использовании ручных (механических) переключателей. ТАВР гарантирует при синхронизации по частоте и фазе (синфазный режим) при переключении с основного источника энергоснабжения на резервный и обратно за время, не более 0,4...0,5 мс. При переключении между источниками исключается момент разрыва в питании энергоснабжения потребителей. В случае возникновения ошибки синхронизации между основной и резервной линиями энергоснабжения (несинфазный режим работы) переключение может происходить с задержкой до 12 мс.

Устройство состоит из тиристорного коммутатора, защитного выключателя и модуля управления ТАВР. В распределительных устройствах (РУ) ТАВР устанавливается параллельно секционному выключателю. Благодаря интеллектуальному модулю управления ТАВР и его связи по току и напряжению до и после вводных выключателей РУ устройство исключает недостатки существующих БАВР.

Принцип работы ТАВР таков: при отсутствии тока через вводной выключатель и возникновении выбега электродвигателей, сопровождающемся увеличением угла фазового рассогласования между одноименными напряжениями на поврежденной секции и напряжениями на исправной секции, система управления ТАВР выявляет расхождение фазового угла более 15 электрических градусов во всех трёх фазах и отсутствии тока через ввод. Если эти условия выполняются, отдаётся команда на отключение вводного выключателя. После прихода сигнала с блока контактов вводного выключателя об отключении ввода, система управления проверяет возможность подключения двигательной нагрузки на исправную секцию без возникновения сверхтоков, что возможно, если угол фазового рассогласования не превышает 30 электрических градусов, и при выполнении этого условия выдаёт команду на включение тиристорного коммутатора. После проверки наличия токов через тиристорный коммутатор выдаётся команда на включение секционного выключателя, и после получения подтверждения о его включении, тиристорный коммутатор ТАВР отключается.

Существенные недостатки БАВР перед ТАВР:

– во-первых, на ПС с отделителями и короткозамыкателями при повреждениях ВЛ-110 кВ и силовых трансформаторов команда на запуск БАВР должна передаваться по высокочастотному каналу с использованием комплекта ВЧТО (высокочастотная токовая отсечка). В этом случае время пуска БАВР составляет 0,09...0,12 с;

– во-вторых – это недостаточная мощность выключателей (в среднем, это номинальный ток – 320 А, ток отключения – 2,0 кА, односекундная термическая устойчивость составляет 20 кА). Установка по току – максимальная токовая защита (МТЗ) защитного выключателя устанавливается 320 А (первичный), уставка по времени с учётом запаса (0,2 с) для успешной работы БАВР составляет 0,5...0,6 с. При повреждениях на ВЛ-110 кВ вблизи ПС происходит понижение напряжения до $0,8U_{ном}$ на время 0,1...0,14 с, что приводит к торможению электродвигателей и при работе БАВР защитный выключатель отключается по МТЗ.

Библиографический список

1. **Быстродействующее АВР** для подстанций с синхронной нагрузкой / С. А. Банкин, М. И. Богатырев, М. И. Стальная, Э. Ф. Шевляков // Электрические станции. – 2012. – 128 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента А. В. Кобелева*

УПРОЩЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ

А. П. Трушин, И. А. Новиков, Т. И. Репина

Тамбовский государственный технический университет

При проектировании тиристорного устройства автоматического ввода резерва (ТАВР) к ПС 6(10) кВ необходим расчёт переходных процессов в системе питания подстанций с электродвигательной нагрузкой для определения критического времени перерыва электроснабжения. Моделирование систем электроснабжения (СЭС), содержащих большое число электродвигателей, без существенных упрощений может вызвать трудности даже при использовании современных вычислительных комплексов. Можно принять следующие упрощения [4]:

- 1) не учитывать переходных процессов в неиндуктивной нагрузке;
- 2) не учитывать переходные процессы СЭС, в реакторах, трансформаторах, кабельных и воздушных линиях, в связи с тем, что в них переходные процессы протекают намного быстрее, чем в электродвигательной нагрузке.

Для СД дополнительно можем принять следующие стандартные упрощения:

- 1) отсутствие гистерезиса, т.е. потери в стали;
- 2) магнитная индукция по окружности ротора распределяется синусоидально;
- 3) не учитывать изменение индуктивных сопротивлений взаимоиндукции из-за насыщения стали в изменениях режима работы двигателя, это позволит упростить уравнения переходных процессов СД;
- 4) не учитывать изменение индуктивных процессов сопротивлений рассеивания от насыщенности магнитных цепей для потоков рассеяния статора и ротора;
- 5) не учитывать изменение активных сопротивлений схем замещения двигателей при изменении температурного режима.

Система относительных единиц упрощает запись уравнений, освобождая постоянные коэффициенты, даёт возможность сравнить результаты, полученные для двигателей различной мощности. Базисными величинами (I_δ , U_δ , S_δ , M_δ и т.д.) для электрических машин [1, 2, 3, 5] являются следующие:

- действующее значение номинальной силы фазного тока двигателя ($I_{\text{ном}}$)

$$I_\delta = I_{\text{ном}}; \quad (1)$$

- действующее значение номинального фазного напряжения двигателя ($U_{\text{ном}}$)

$$U_\delta = U_{\text{ном}}; \quad (2)$$

- номинальная полная мощность двигателя ($S_{\text{ном}}$)

$$S_\delta = S_{\text{ном}} = 3U_{\text{ном}}I_{\text{ном}}; \quad (3)$$

- полное сопротивление фазы статора двигателя

$$Z_\delta = \frac{U_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}}}. \quad (4)$$

За базисную угловую частоту (ω_6) принимается синхронная угловая частота (ω_0)

$$\omega_6 = \omega_0 = 2\pi f_0, \quad (5)$$

где f_0 – номинальная частота сети.

Базисный момент (M_6) определяется по формуле

$$M_6 = S_6 p / \omega_6, \quad (6)$$

где p – число пар полюсов машины.

За базисное время (t_6) принимается время, соответствующее повороту ротора АД при базисной угловой частоте на 1 электрический радиан

$$t_6 = 1 / \omega_6. \quad (7)$$

Библиографический список

1. **Андреев, В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. – М. : Высшая школа, 1991.
2. **О расчёте** надёжности систем электроснабжения газовых промыслов / И. В. Белоусенко, М. С. Ершов, А. П. Ковалев, В. В. Якимишина, О. А. Шевченко // Электричество. – 2004. – № 3.
3. **Ершов, М. С.** О влиянии параметров энергосистемы на устойчивость узлов электрической нагрузки промышленных предприятий / М. С. Ершов, А. В. Егоров, Д. Е. Яценко // Промышленная энергетика. – 1997. – № 5.
4. **Обеспечение** бесперебойности электроснабжения производств с непрерывным технологическим процессом. Рекомендации по совершенствованию проектирования. ВНИПИ Тяжпромэлектропроект.
5. **Ульянов, С. А.** Электромагнитные переходные процессы / С. А. Ульянов. – М. : Энергия, 1970.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента А. В. Кобелева*

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ В ЦИФРОВЫХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ ПРИ OFDM-МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА

А. С. Туровский, Е. С. Кузина

Тамбовский государственный технический университет

Технический прогресс и динамика рынка постоянно заставляют производителей совершенствовать существующие технологии. И чем мощнее становятся устройства, тем большего количества энергии они требуют. Большое энергопотребление становится главной проблемой. Поэтому в последнее время в устройствах передачи данных используют различные модификации OFDM-сигнала.

OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*) – это вид модуляции с мультиплексированием и ортогональным частотным разделением каналов. Его используют в современном цифровом телевидении стандарта DVB-T2, сотовой связи стандарта LTE, и Wi-fi. Данный вид модуляции затрачивает меньше мощности на передачу, по сравнению с однотоновыми сигналами [1, с. 32].

Но OFDM имеет и недостаток, большое значение пик-фактора (PAPR). Большая величина PAPR требует применения выходного усилителя мощности, работающего в линейном режиме, что приводит к снижению КПД передатчика, вследствие чего энергопотребление устройства вырастает.

Существуют методы борьбы с высоким показателем PAPR. В данной статье рассмотрим метод динамического сжатия сигнала. Этот метод заключается в применении усилителя с нелинейной амплитудной характеристикой. На рис. 1 показана амплитудная характеристика выходного усилителя передатчика (сплошная линия) и амплитудная характеристика усилителя на входе приёмника (пунктир).

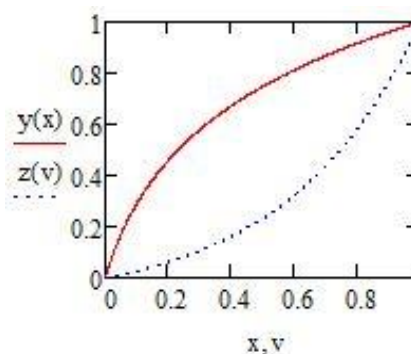


Рис. 1. Амплитудная характеристика усилителя

Возможности этого метода были исследованы с помощью модели канала цифровой связи. Фазовым созвездием QAM передаётся шестнадцатисимвольное сообщение. После обратного преобразования Фурье сигнал на входе передатчика будет иметь вид (рис. 2).

Без нелинейного преобразования PAPR равен 2,69 дБ, после снизился до 0,17 дБ.

При передаче по каналу связи к сигналу добавляется белый гауссовский шум. Полученные фазовые созвездия будут иметь вид (рис. 3).

При использовании нелинейной амплитудной характеристики мера ошибки MER [2, с. 7] составляет 3,694, а при линейной – 0,128.

Таким образом, снизив PAPR рассмотренным методом, можно увеличить КПД системы, но сигнал становится более восприимчивым к шумам.

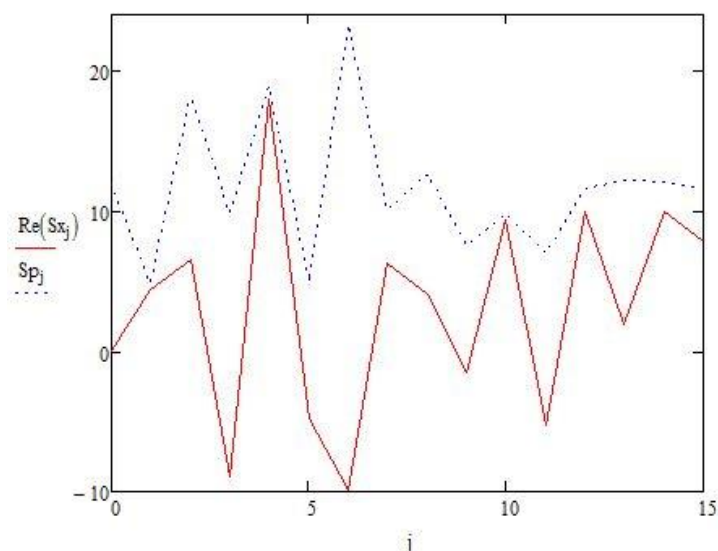


Рис. 2. OFDM без преобразования (сплошная линия) и сигнал с нелинейным преобразованием (пунктир)

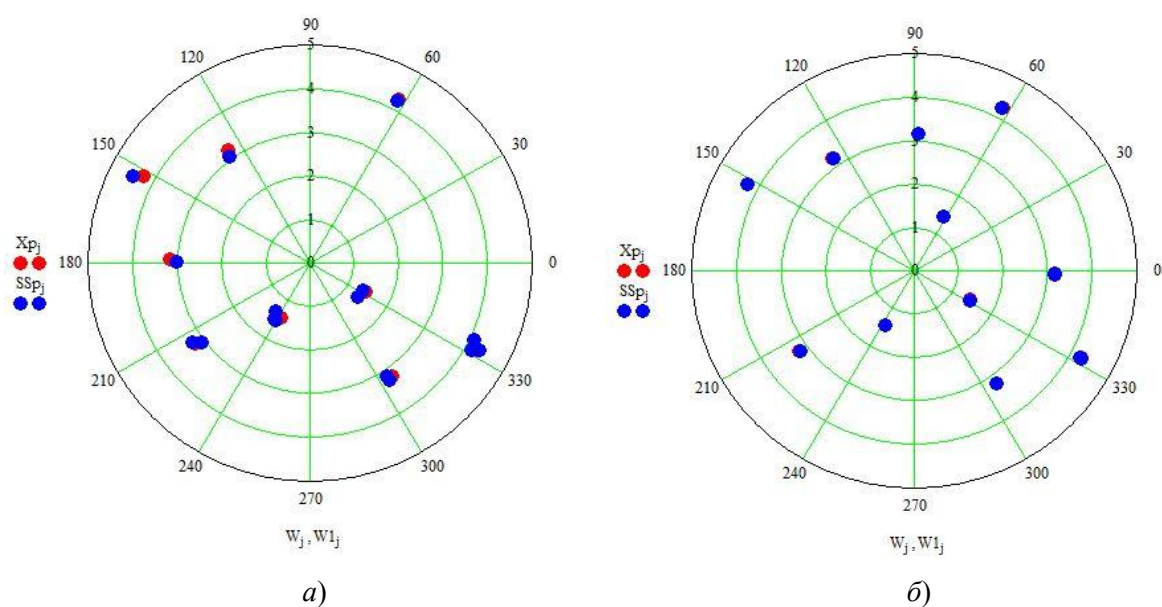


Рис. 3. Фазовые созвездия:

a – при нелинейной амплитудной характеристике; *б* – при линейной амплитудной характеристике

Библиографический список

1. Гельгор, А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных : учебное пособие / А. Л. Гельгор, Е. А. Попов. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2011. – 204 с.
2. ГОСТ Р 52459.1–2009. Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства радиосвязи. Ч. 11. Частные требования к радиовещательным передатчикам. – М. : Стандартинформ, 2010. – 15 с.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора С. Н. Данилова*

СЕЛЬСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ КАК СПЕЦИФИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Аль Фадхли Мохаммед Сауд Али, Д. Н. Жеребятъев

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время существенно возрастают требования к надёжности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения. Ещё более высокие требования предъявляют современные предприятия АПК по выработке продуктов животноводства на промышленной основе. По характеру производственных процессов такие предприятия приближаются к современному промышленному производству, внезапное прекращение электроснабжения ведёт к значительному материальному ущербу.

Требования к надёжности электроснабжения потребителей АПК повышаются по мере совершенствования рыночных отношений между энергосистемой и потребителями. Отношения, которые включают в себя систему экономического взаимодействия, обеспечивающую энергетическим предприятиям хозяйственную самостоятельность проявлять хозяйственную инициативу, использовать сферу обращения и товарно-денежные отношения для получения наибольшего результата при минимуме затрат.

Надёжность электроснабжения потребителей должна соответствовать «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ), согласно которым электроприёмники по надёжности подразделяются на I, II – особую, III категории электроснабжения.

При анализе надёжности существующих систем электроснабжения предприятий АПК необходимо принимать во внимание следующие особенности данных сетей:

- низкую степень резервирования элементов системы электроснабжения потребителей;
- слабую оснащённость сельских сетей коммутационными аппаратами;
- слабую оснащённость воздушных линий (6...10 кВ) устройствами автоматического секционирования, телесигнализации и телеуправления;
- большую протяжённость и разветвлённость воздушных линий (6...10 кВ) с относительно малой плотностью нагрузок.

Всё это приводит к тому, что сельские электрические сети (особенно 6...10 кВ) являются специфическим объектом расчёта показателей надёжности. Известные классические методы здесь использовать нельзя. Особенно сложно рассчитать вероятное время аварийного отключения воздушных линий 6...10 кВ. Это время можно рассчитать только на основании математического моделирования действий оперативного и ремонтного персонала.

Библиографический список

1. Куценко, Г. В. К вопросу надёжности электроснабжения потребителей АПК в условиях развития рыночных отношений в электроэнергетике / Г. В. Куценко,

О. Ю. Пухальская, О. А. Полозова // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2006. – № 2. – С. 28 – 32.

2. **Повышение** надёжности электроснабжения потребителей АПК при использовании пунктов автоматического резервирования / Г. В. Куценко и др. // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. – 2000. – № 1. – С. 53 – 58.

3. **Зарандия, Ж. А.** Эксплуатация электрооборудования : методические указания / Ж. А. Зарандия, Е. А. Иванов, Е. А. Печагин. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 44 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента А. В. Кобелева*

РАЗНООБРАЗИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И СПОСОБОВ ДЛЯ БОРЬБЫ С НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКОЙ

Е. О. Федосова, А. Е. Федяева

Тамбовский государственный технический университет

Большая протяжённость и довольно сложная конфигурация – характеристика сельских распределительных сети 0,38 кВ, которая существенно влияет на снижение качества напряжения у потребителей и повышение потерь мощности в сети. Один из факторов, по которому оценивается качество электрической энергии (ЭЭ), – несимметрия напряжений (актуальная проблема в сетях напряжением 0,38 кВ). Возникает при обрыве фазы или несимметричных коротких замыканиях; вследствие случайного характера коммутаций однофазных электроприёмников (вероятностная несимметрия). Основная причина несимметрии – появление составляющей нулевой последовательности, так как наличие данной составляющей обусловлено протеканием тока в нулевом проводе, который, в свою очередь, возникает при неравномерной нагрузке фаз сети (статистическая несимметрия) – обычное явление в сельской местности [1].

Полной симметричности режима работы сельских распределительных сетей 0,38 кВ достичь, как правило, нельзя. Это неизбежно приведёт к увеличению отклонения напряжения у потребителей одной из двух фаз. Однако применение различных способов и технических средств, реализующих тот или иной вид симметрирования, позволяют улучшить качество ЭЭ в сети 0,38 кВ и повысить их пропускную способность.

Одним из путей уменьшения показателей несимметричных режимов электрических сетей является увеличение сечения нулевого провода. Этот метод не эффективен, так как требует значительного перерасхода дорогостоящих материалов. При этом полностью устранить несимметрию данным способом не удаётся.

Симметрирующий эффект может быть получен при переходе электрической сети в полужамкнутый или замкнутый режим. Этот способ снижения несимметрии осуществляется путём выравнивания нагрузки вдоль замыкаемых линий. Экономический же эффект данного способа обратно пропорционален числу замыкаемых магистралей. Кроме того, возникают дополнительные потери мощности и ЭЭ за счёт появления уравнивающих токов.

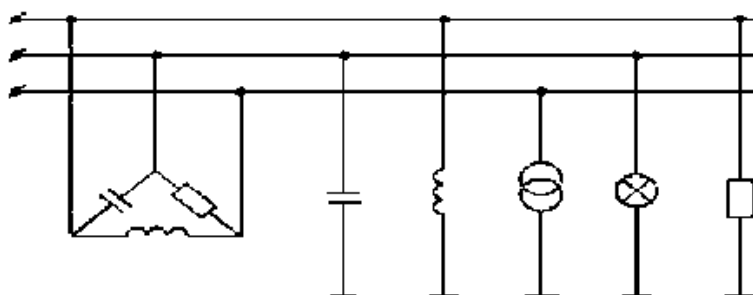


Рис. 1. Пример несимметричной системы напряжений

Симметрирующий эффект может быть достигнут перераспределением нагрузок по фазам сети как автоматически, так и обслуживающим персоналом. Обслуживающий персонал периодически (не реже двух раз в год) производит перераспределение нагрузки по фазам на основании результатов измерения токов в фазах магистральных линий в период максимальных нагрузок. Данный способ позволяет уменьшить до определённого уровня систематическую несимметрию нагрузок. Тем самым снижается потеря энергии в сети и повышается качество напряжения у потребителей без дополнительных капитальных затрат. Применение этого способа эффективно в сетях с сосредоточенной нагрузкой. При распределённой нагрузке, характерной для сельских сетей и имеющей большое число неполнофазных участков различной мощности, такие замеры и переключения следует производить сразу в нескольких точках.

Наиболее эффективными техническими средствами снижения несимметрии трёхфазных напряжений являются симметрирующие устройства. Они уменьшают: токи обратной I_2 и нулевой I_0 последовательностей сети; активное сопротивление нулевой последовательности сети R_0 ; коэффициент s обратной K_2 и нулевой последовательностей K_0 токов и напряжений [2].

На сегодняшний день несимметрия напряжений является актуальной проблемой и требует незамедлительного решения, так как сельские распределительные сети характеризуются значительной несимметрией токов и напряжений. Несимметричная нагрузка в нормальном режиме работы вызывает значительные отклонения напряжения (от +7 до –8%), что более характерно для послеаварийного режима работы сети.

Библиографический список

1. **Лещинская, Т. Б.** Электроснабжение сельского хозяйства / Т. Б. Лещинская, И. В. Наумов. – М. : Колос, 2008. – 655 с.
2. **Наумов, И. В.** Оптимизация несимметричных режимов системы сельского электроснабжения / И. В. Наумов. – Иркутск : Изд-во «ИрГСХА», 2001. – 217 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента С. В. Кочергина*

НЕСИММЕТРИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

А. Е. Федяева, Е. О. Федосова

Тамбовский государственный технический университет

Анализ литературы позволяет сделать вывод, что несимметрия напряжений является актуальной проблемой, так как электрические распределительные сети характеризуются значительной несимметрией токов и напряжений.

Несимметричные режимы напряжений в электрических сетях имеют место в аварийных ситуациях – при обрыве фазы или несимметричных коротких замыканиях.

Причиной возникновения несимметрии напряжения также являются потребители с несимметричным потреблением мощности по фазам. К ним относятся: однофазные потребители, включаемые на фазное либо междуфазное напряжения; трёхфазные потребители с несимметричным потреблением мощности по фазам (в частности, дуговые сталеплавильные печи, сварочные установки). Причиной несимметрии напряжений может быть также несимметрия сопротивлений сети по фазам [1].

На рисунке 1 представлены в виде блок-схемы возможные последствия несимметрии напряжений при её наличии в системах электроснабжения.

Несимметрия напряжений сокращает срок службы асинхронных электродвигателей. У них она может вызывать дополнительный нагрев, противодействующий вращающий момент, повышенную вибрацию. Перегрев ускоряет старение изоляции обмоток, вибрация усиливает усталостные процессы в механической части, что приводит быстрому выходу электродвигателей из строя [2].

Для однофазных потребителей проблема качества электроэнергии по уровню несимметрии напряжений оборачивается проблемой качества электроэнергии по уровню напряжения: уровень напряжения может быть как пониженный, так и повышенный.

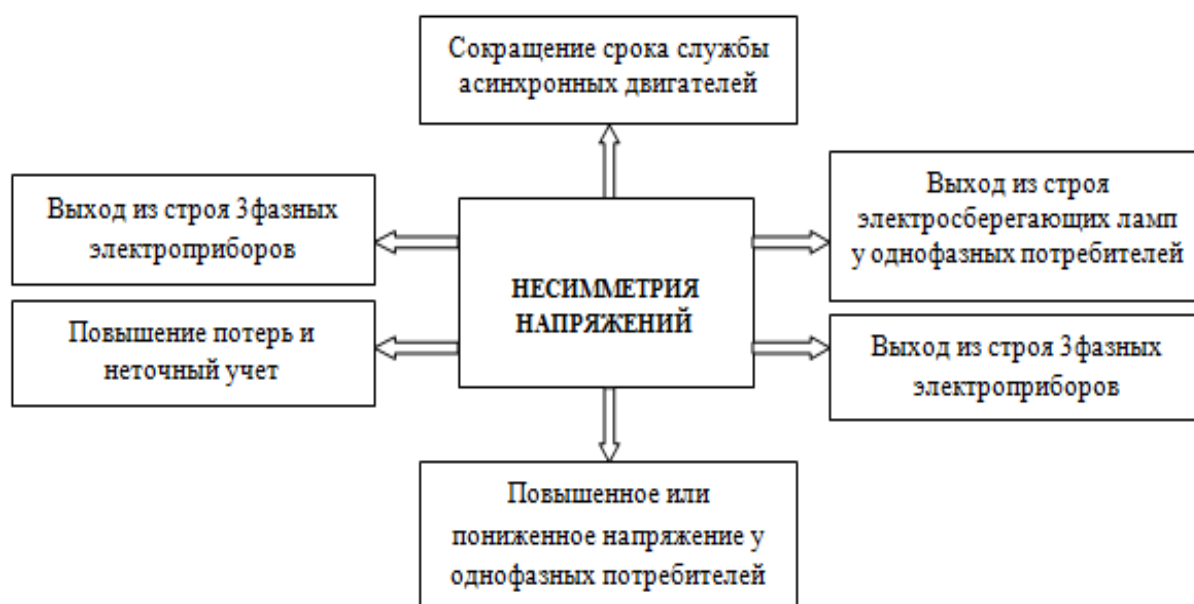


Рис. 1. Последствия несимметрии напряжений

В первом случае будут проблемы с запуском в работу оборудования, проблемы с зажиганием энергосберегающих ламп и недостаточный световой поток от них, а во втором случае существует опасность поломок электрооборудования и проблема быстрого выхода из строя источников освещения. Кроме того, несимметрия напряжений вызывает дополнительные технические и коммерческие потери электроэнергии [3].

В заключении следует отметить, что на сегодняшний день наиболее актуальной является задача по улучшению качества электрической энергии. В частности, снижение несимметрии напряжений в электрических сетях. Решение данной проблемы сводится к разработке и внедрению технических средств, для снижающих несимметрию напряжений и повышающих качество электрической энергии.

Библиографический список

1. **Коваленко, П. В.** Анализ потерь мощности в электрических сетях при неравномерной и несимметричной нагрузке / П. В. Коваленко, О. А. Смышляева // Электрика. – 2009. – С. 18 – 22.
2. **Железко, Ю. С.** Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 280 с.
3. **Железко, Ю. С.** Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии / Ю. С. Железко. – М. : ЭНАС, 2009. – 456 с.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

М. Г. Чипунгу

Тамбовский государственный технический университет

Современная электроэнергетика имеет немало проблем, они обусловлены высокой стоимостью топлива, негативным влиянием на экологию и т.д.

Так, например, гидроэнергетические технологии имеют много преимуществ, но есть и существенные недостатки. Наклад, дождливые сезоны, низкие водные ресурсы во время засухи могут серьёзно влиять на количество произведённой энергии. Это может стать серьёзной проблемой там, где гидроэнергия составляет значительную часть в энергетическом комплексе страны, строительство плотин является причиной многих проблем: переселение жителей, пересыхание природных русел рек, заиливание водохранилищ, водных споров между соседними странами, значительной стоимости этих проектов. Строительство ГЭС на равнинных реках приводит к затоплению больших территорий. Значительная часть площади образующихся водоёмов – мелководье. В летнее время за счёт солнечной радиации в них активно развивается водная растительность, происходит так называемое «цветение» воды.

Изменение уровня воды местами доходит до полного высушивания, приводит к гибели растительности. Плотины препятствуют миграции рыб. Многокаскадные ГЭС уже сейчас превратили реки в ряд озер, где возникают болота. В этих реках погибает рыба, а вокруг них меняется микроклимат, ещё больше разрушая природные экосистемы. Возобновляемые источники (кроме энергии воды) имеют общие недостатки:

1. Их энергия очень слабо сконцентрирована, что создаёт немалые трудности для практического использования.
2. Стоимость возобновляемых источников (без учёта ГЭС) гораздо выше, чем традиционных.

Как солнечная, так и ветровая и другие виды энергии, могут успешно использоваться для выработки электроэнергии в диапазоне мощностей от нескольких киловатт до десятков.

Библиографический список

1. Анализ работы энергетических блоков мощностью 150...1200 МВт за 2000 г. – М. : СПО ОРГРЭС, 2001.
2. Виленский, П. П. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика / П. П. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк. – М. : Дело, 2001. – 832 с.
3. Гранатуров, В. М. Экономический риск: сущность, методы измерения, пути снижения : учебное пособие / В. М. Гранатуров. – 2-е изд. – М. : Изд-во «Дело и Сервис», 2002. – 160 с.
4. Дьяков, А. Ф. Рынок электрической энергии в России: состояние и проблемы развития : учебное пособие / А. Ф. Дьяков, Б. К. Максимов, В. В. Молодюк.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора Е. И. Глинкина*

РАБОТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ

Е. С. Числаш, Д. С. Числаш

Липецкий государственный технический университет

При работе асинхронного двигателя могут возникнуть различные ситуации, приводящие к аварийным режимам. Одним из часто встречающихся аварийных режимов асинхронных двигателей является обрыв фазы статора. Причинами данного аварийного режима могут быть: обрыв одного из проводов; сгорание одного из предохранителей; нарушение контакта в одной из фаз.

Под обрывом фазы статора понимают двухфазный режим работы в результате отключения питания по одному из проводов трёхфазной системы. При этом магнитное поле приобретает эллиптическую форму. Так же при обрыве фазы наблюдаются колебания момента, снижение скорости вращения и увеличение в амплитуде токов в оставшихся фазах.

Для снижения данных последствий и обеспечения живучести асинхронного двигателя при обрыве фазы статора примем угол временного сдвига фаз $\pi/3$, а также увеличим амплитудное значение питающего напряжения в 1,5 раза.

Для моделирования данного аварийного режима был выбран двигатель АИР225М8. На рисунке 1 приведена модель для исследования в программной среде Matlab Simulink обрыва фазы статора «С» асинхронного электродвигателя с восстановлением работы на двух фазах, в которой асинхронный двигатель представлен в виде

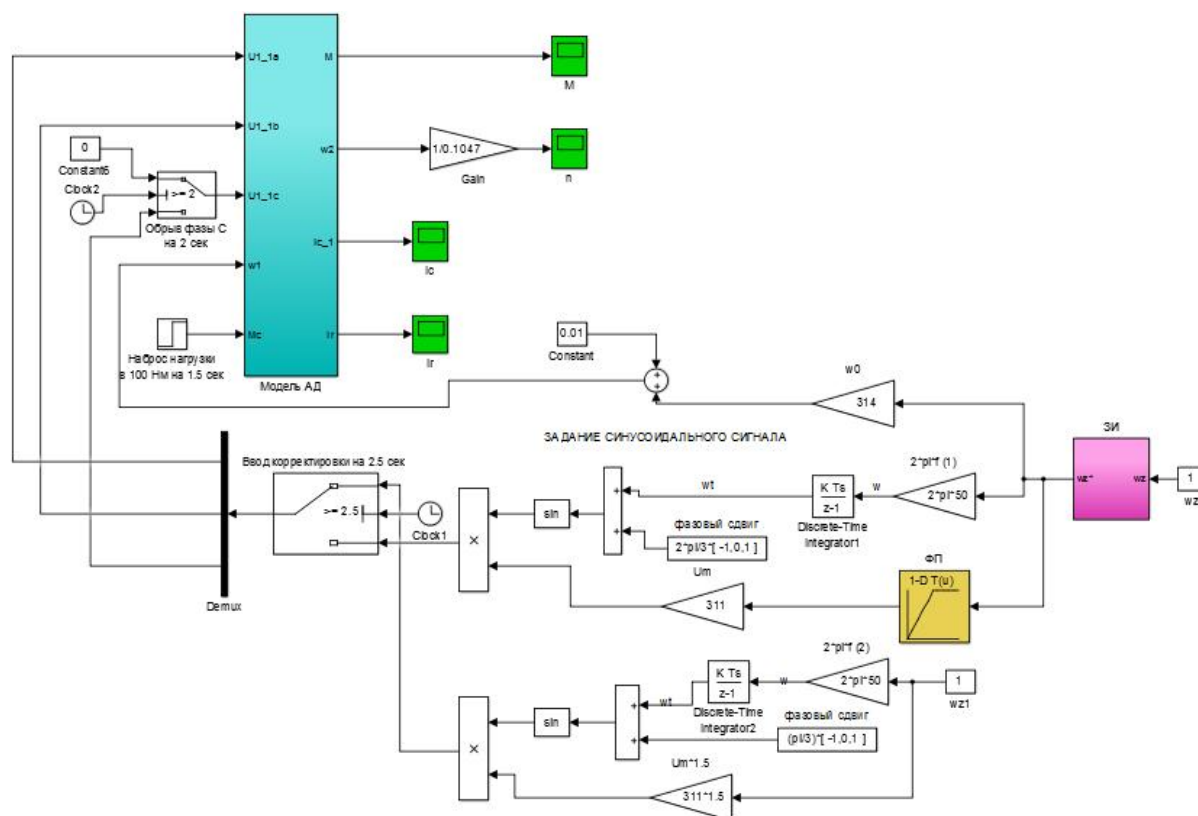


Рис. 1. Модель обрыва фазы АД с восстановлением работы на двух фазах в программной среде Matlab Simulink

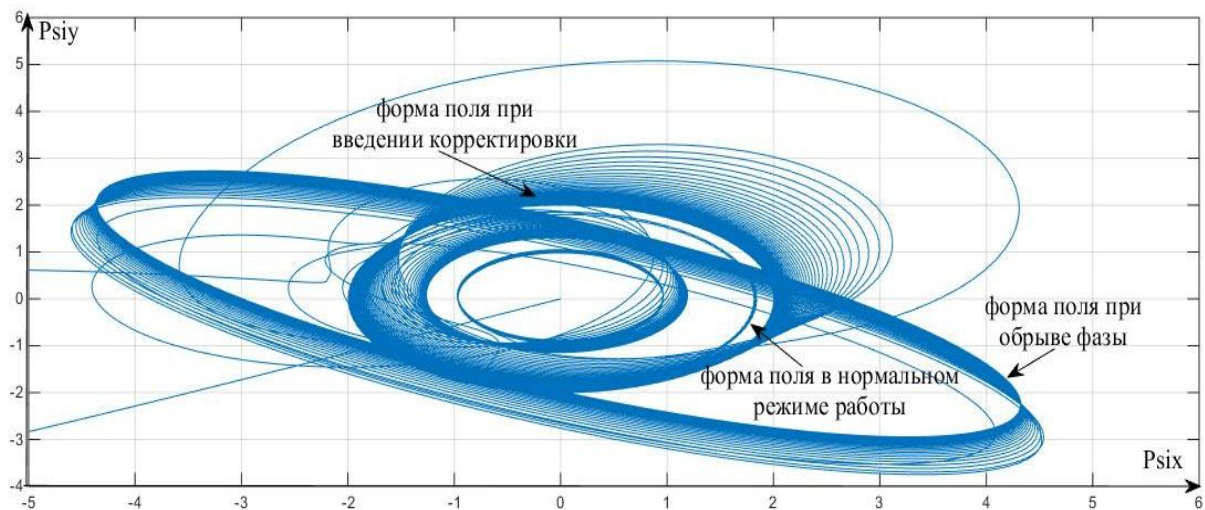


Рис. 2. Форма магнитного поля при различных режимах

трёхфазной математической модели. Описание данной математической модели асинхронного двигателя взято из статьи Т. В. Войнова «Математическая модель для исследования трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором как объекта регулирования и для прямого процессорного управления». На рисунке 2 приведена форма магнитного поля при различных режимах.

Из полученного графика видно, что при обрыве фазы магнитное поле приобретает эллиптическую форму, однако при введении корректировки происходит восстановление кругового магнитного поля.

В дальнейшем планируется разработать алгоритм обнаружения обрыва фазы и автоматического ввода соответствующей корректировки при возникновении аварийного режима.

ТИП ПРИМЕНЯЕМОГО ГЕНЕРАТОРА В АЭРОГЭС

Д. С. Числаш, Е. С. Числаш

Липецкий государственный технический университет

Ранее в работе [1] были рассмотрены принципы работы, перспективы применения и устройство альтернативного источника получения энергии АэроГЭС. В данной работе рассмотрим один из вариантов установки генерирующего аппарата для АэроГЭС.

На данный момент в промышленности применяются генераторы различных типов. Один из ключевых параметров для рационального подбора генератора является величина частоты вращения приводного агрегата. Так, на большинстве гидроэлектростанций частота вращения гидроагрегата составляет порядка 100...150 об/мин. При генерации энергии на теплоэлектростанциях, где применяется турбоагрегат, частота вращения составляет порядка 3000 об/мин.

В рассматриваемой установке генерирующей силой является поток воды, что роднит её с традиционной гидроэлектростанцией. Однако вследствие того, что разница по высоте между нижним и верхним бьефом установки АэроГЭС составляет 2000...5000 м, скорость гидротурбины будет иметь величину, значительно превосходящую имеющуюся на традиционных ГЭС. Из этого следует, что на данной установке частота вращения ротора гидроагрегата будет сопоставима с установками, применяемыми на тепловых электростанциях. Таким образом, генерирующий агрегат будет иметь значительное сходство с агрегатами теплоэлектростанций.

В качестве генератора рекомендуется к использованию трёхфазный синхронный генератор переменного тока, так как в отличие от асинхронного генератора он обладает высокой стабильностью напряжения на выходе. А также он значительно надёжнее при работе в экстремальных условиях.

Так же необходимо отметить, что в связи с тем, что на рассматриваемой установке АэроГЭС сложно добиться равномерного водяного потока, в эксплуатации будет наблюдаться некоторый разброс по величине частоты вращения турбины. Данное обстоятельство необходимо учесть, так как оно будет влиять на частоту получаемого переменного тока. Для решения этой проблемы рекомендуется использовать редукторный узел между турбинной установкой и генератором.

Библиографический список

1. **Числаш, Д. С.** Получение энергии из альтернативного источника АэроГЭС / Д. С. Числаш // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах : тез. докл. 3-й Междунар. конф. с элементами научной школы. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2016. – 459 с.

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПЕРЕДАТЧИКА С OFDM-МОДУЛЯЦИЕЙ

О. Н. Чурилин

Тамбовский Государственный Технический Университет

Значительную долю расходов на передачу радиосигналов составляет стоимость электричества, питающего передатчики. Для повышения КПД передатчика используется работа выходного каскада в режиме класса С. Но в некоторых случаях приходится хотя бы снизить пик-фактор излучаемого сигнала. В настоящее время в цифровой связи и телевидении широко используется технология ортогонального частотного разделения с мультиплексированием (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM). Она является одним из перспективных направлений в области высокоскоростных систем радиодоступа. Современные цифровые системы связи используют многоуровневые виды модуляции сигнала, такие как m-QAM, но они подвержены межсимвольной интерференции вследствие многолучевого распространения. OFDM-системы позволяют решить проблему частотно-селективного замирания сигнала.

Суть метода OFDM состоит в следующем. В полосе канала вещания размещается от 2 до 8 тысяч несущих. Каждая несущая модулируется низкоскоростным потоком данных. Скорость передачи данных в каждом элементарном потоке равна общей системной скорости, поделённой на число несущих. Частотное распределение несущих в полосе радиоканала производится при условии, что на центральной частоте каждой из несущих спектральные составляющие всех остальных модулированных несущих переходят через ноль. В результате формируется групповой спектр мощности, очень близкий к прямоугольному спектру, что даёт максимальную эффективность использования полосы радиоканала.

OFDM-сигналы характеризуются относительно высоким отношением пиковой и средней мощностей. В связи с этим используются две технологии, позволяющие снизить это отношение примерно на 20%. А это, в свою очередь, существенно снижает расходы на электропитание. Речь идёт о следующих двух технологиях:

- 1) резервирование тона. В этом случае 1% несущих остаётся в резерве, не перенося никаких данных, но может использоваться передатчиком для введения сигналов, размазывающих пики;
- 2) активное расширение фазового созвездия. В этом случае часть крайних точек созвездия отводится дальше от центра так, что это уменьшает пики сигналов. Так как изменения касаются только крайних точек, это не оказывает существенного влияния на способность ресивера декодировать данные [1].

Помимо вышеперечисленных, для уменьшения пик-фактора используются искажающие и неискажающие методы. Широкоизвестный искажающий метод – метод ограничения амплитуды и его производные. Известные неискажающие методы: селективное отображение (SLM), резервирование тона (TR) и инъектирование тона (TI). Увеличение динамического диапазона линейного усилителя мощности для передачи сигналов с высоким пик-фактором влечёт за собой уменьшение его КПД. Применение

неискажающих методов требует уменьшения пропускной способности системы, так как малая её часть будет задействована для передачи информации.

Метод SLM требует передачи дополнительной информации, для TR требуется оставлять немодулированными часть пилот-тонов для модулированных резервных тонов, а TI требует повышенной мощности для инжектированных тонов.

Таким образом, уменьшение значения пик-фактора в системах с OFDM возможно только путём ухудшения каких-либо характеристик системы, например, КПД передатчика из-за введения дополнительного запаса по усилению, снижения скорости передачи из-за резервирования несущих, снижения помехоустойчивости вследствие нелинейного ограничения. Комбинация характеристик помехоустойчивых кодов и методов снижения пик-фактора являются параметрами оптимизации для получения максимального энергетического выигрыша и КПД передатчика при использовании заданного канала связи.

Библиографический список

1. **Скляр, Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б.Скляр. – 2-е изд. ; пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора С. Н. Данилова*

СОКРАЩЕНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ВЛ-10 кВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕКЦИОНИРУЮЩИХ ПУНКТОВ

Л. Н. Шакина

Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина

Аннотация. Рассмотрены повреждения ВЛ-10 кВ и мероприятия по сокращению аварийных ситуаций на ВЛ-10 кВ с применением секционирующих пунктов.

Введение. В ходе прохождения производственной практики в Филиале ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» автором проанализированы повреждения отходящих ВЛ-10 кВ от двух подстанций. В результате внеочередных осмотров на ВЛ-10 кВ первой ПС было обнаружено, что отключения на линии были вызваны в результате дугового перекрытия межфазного промежутка на ВЛ, на второй ПС отключения были вызваны схлестыванием межфазного промежутка на ВЛ и разрушением изоляции на КРУН 10 кВ, что приводило к повреждению опорной изоляции ВЛ 10 кВ. На те и другие повреждения срабатывали защиты «МТЗ» и «Земля в сети 10 кВ». Всё это приводило к неоднократному отключению напряжения на КТП 10/0,4 кВ и обесточиванию двух населённых пунктов с социально значимыми объектами, отключению производственных объектов, перерыв в электроснабжении которых приводил к массовому браку продукции и большому экономическому ущербу.

Рассмотренные ВЛ-10 кВ выполнены голым проводом А-70, не имеют автоматических секционирующих пунктов в линии и могут быть запитаны только вручную от 2 и 3 независимых источников электроэнергии (рис. 1). В то же время известно, что применение автоматического секционирования и резервирования линий электропередачи различных классов напряжения позволяет значительно повысить надёжность электроснабжения потребителей [1 – 3]. Поэтому и на рассмотренных ВЛ следует применить средства автоматизации, а именно – автоматическое секционирование и резервирование.

Для сокращения аварийных ситуаций были разработаны и предложены следующие мероприятия на примере одной из ВЛ (рис. 2):

- замена существующего провода А-70 на провод марки СИПЗ 3(1Х70), что в свою очередь предотвратит появление дугового перекрытия в межфазном пространстве воздушной линии, сократить расчётку просек до 5 метров и повысить безопасность жизни и здоровья людей при прохождении воздушной линии через населённую местность;
- установка вместо линейного разъединителя Ю-1-14 секционирующего пункта, позволяющего разделить линию на 2 части и иметь возможность автоматического отключения повреждённого участка.

Вместо кольцевых разъединителей Ю-1-5, Ю-2-4, А-21-16 также установить секционирующие пункты, позволяющие автоматически ввести резерв питания на обесточенный участок и обеспечить первую категорию надёжности электроснабжения потребителей.

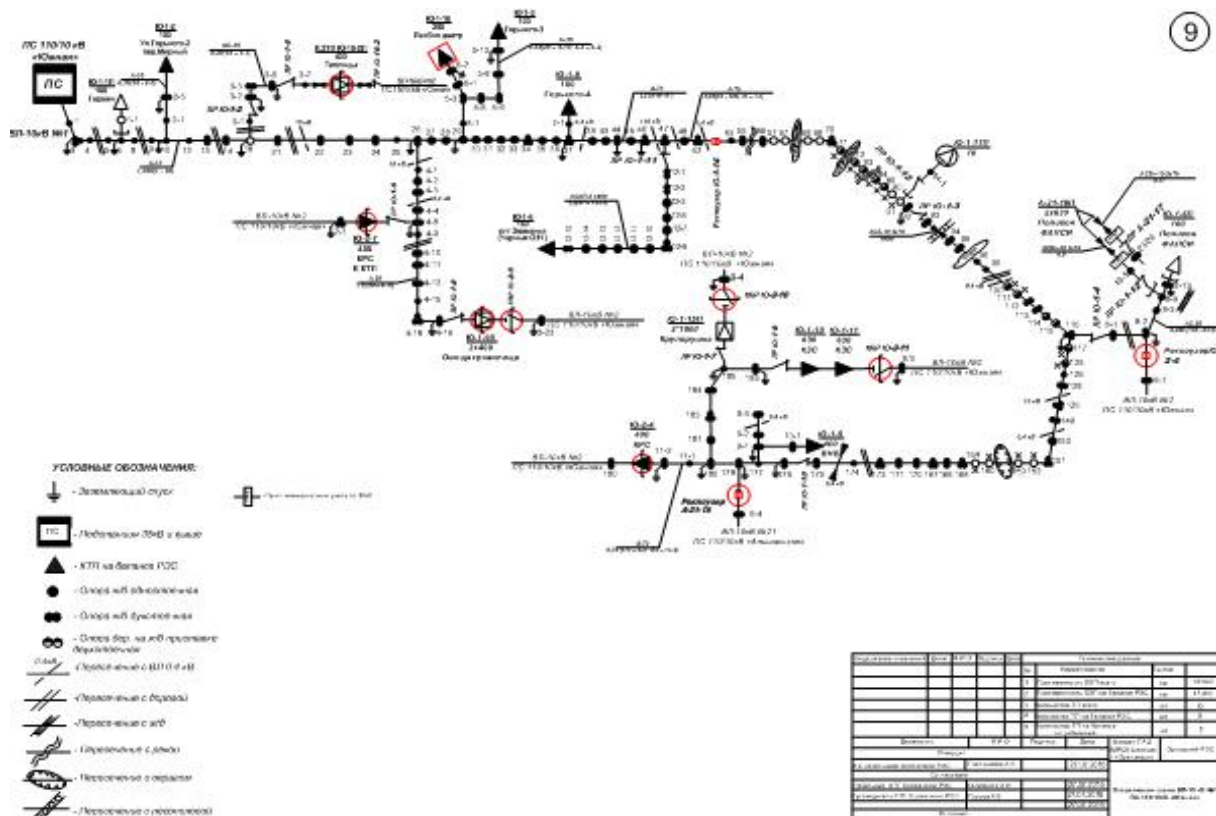


Рис. 1. Оперативная схема ВЛ-10 кВ № 1 ПС 110/10 кВ «Южная», на данный момент

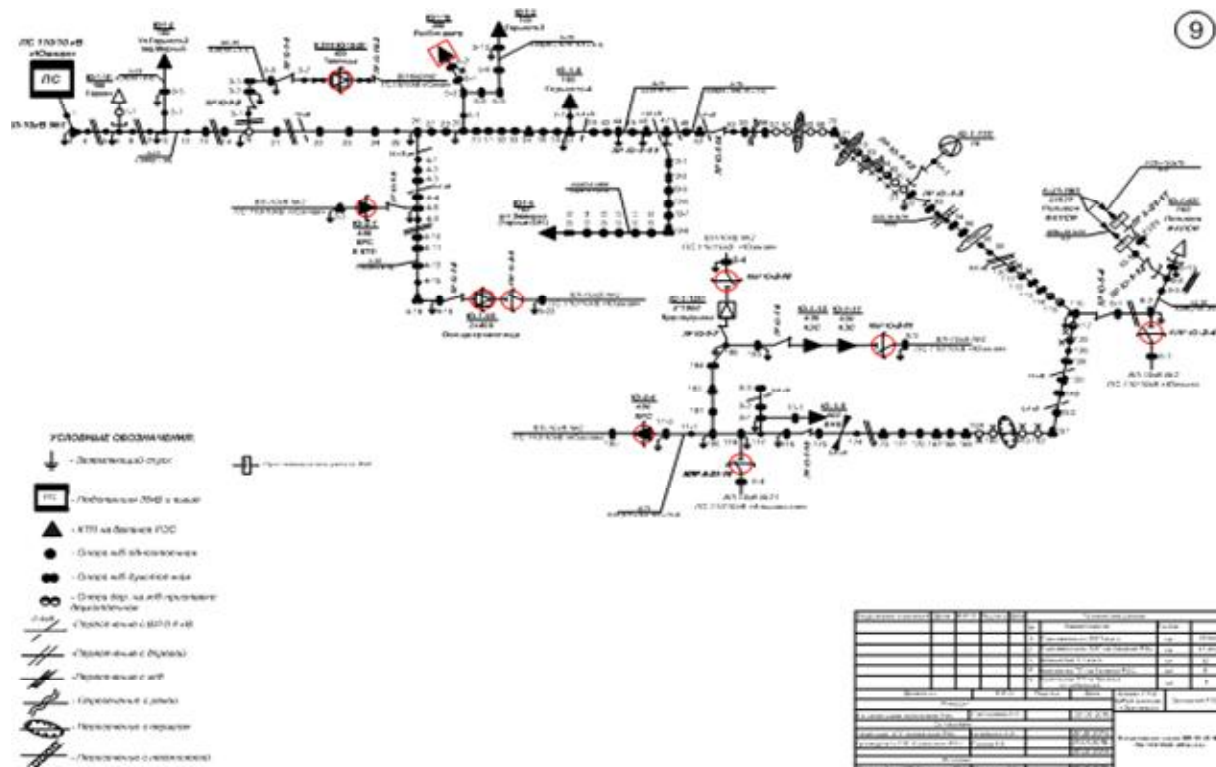


Рис. 2. Оперативная схема ВЛ-10 кВ № 1 ПС 110/10 кВ «Южная», с учётом предложенных мероприятий

Таким образом, при повреждении изоляции ВЛ происходит отключение выключателя 10 кВ от действия МТЗ и срабатывание «АПВ – не успешно», в результате пропадающего напряжения на участке ВЛ-10 кВ № 1 ПС 110/10 кВ «Южная» включается секционирующий выключатель, подавая напряжение на воздушную линию со стороны ВЛ-10 кВ № 2 ПС 110/10 кВ «Южная».

Заключение. В результате проведённого анализа для обеспечения надёжности на ВЛ-10 кВ необходимо заменить провод и поставить секционирующие аппараты.

Библиографический список

1. **Виноградов, А. В.** Повышение надёжности электроснабжения сельских потребителей посредством секционирования и резервирования линий электропередачи 0,38 кВ : монография / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова. – Орел : Изд-во ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2016. – 224 с.
2. **Лещинская, Т. Б.** Экспертная система оценки надёжности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей / Т. Б. Лещинская, Э. В. Магадеев // *Электрика*. – 2008. – № 4. – С. 30 – 35.
3. **Лещинская, Т. Б.** Электроснабжение сельского хозяйства : учебник / Т. Б. Лещинская, И. В. Наумов. – М. : БИБКОВ: ТРАНСЛОГ, 2015. – 656 с.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента А. В. Виноградова*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ ПРОГРАММЫ CODESYS

В. И. Шведко, Д. В. Гурьянов

Мичуринский государственный аграрный университет

Задача состоит в том, чтобы узнать, как можно с помощью специального программирования автоматизировать работу электропривода в совокупности с ПЧ.

В исследовании программно-управляемого асинхронного электропривода мы используем: преобразователь частоты DeltaVFD-EL21A, преобразователь интерфейсов RS485, компьютер и асинхронный двигатель.

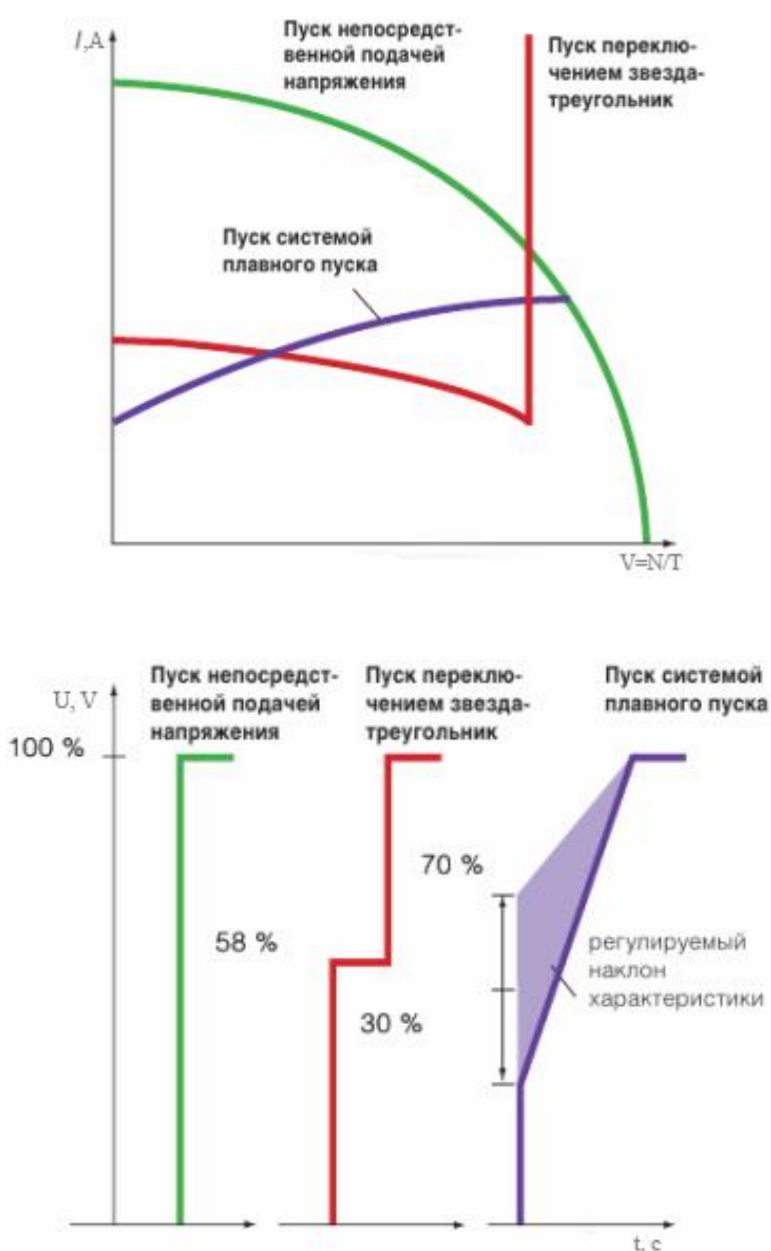


Рис. 1. График зависимости ампер-скоростной характеристики и напряжения по времени

Для решения поставленной задачи используем CoDeSys – комплекс для прикладного программирования ПЛК и встраиваемых контроллеров. Электродвигатель подключен по схеме «Звезда» с питающим напряжением 380 В. Для управления и конфигурации ПЧ серии EL можно использовать опциональный пульт управления на лицевой части, но для более лучшей автоматизации создадим код в программе CoDeSys [1].

В результате моделирования процесса получаем графические зависимости (рис. 1).

Благодаря графикам зависимости ампер-скоростной характеристики и зависимости напряжения по времени мы можем увидеть, что при включении двигателя в сеть пусковой ток довольно велик, при этом пусковой момент значительно меньше номинального, это несколько ограничивает область применения, и если требуется большой пусковой момент, то асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором не подойдет.

Однако этот недостаток можно преодолеть применением частотного преобразователя, позволяющего плавно повышать обороты, и таким образом обеспечить достаточно высокий пусковой момент.

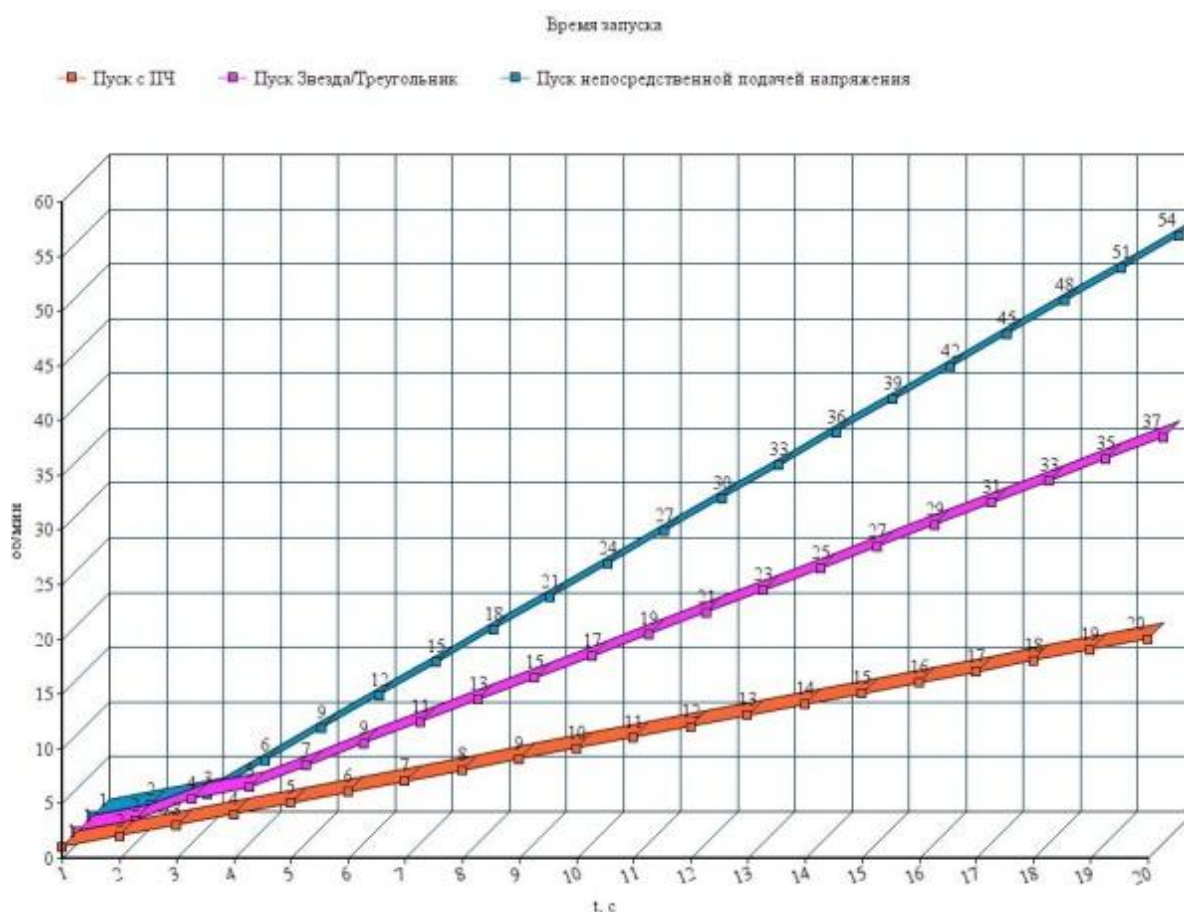


Рис. 2. Зависимость скорости вращения вала электродвигателя от времени при различных способах пуска:

1 – преобразователь частоты; 2 – изменение схемы соединений обмоток электродвигателя («звезда–треугольник»); 3 – непосредственная подача напряжения

На данном графике видно, что увеличение оборотов в минуту при пуске через «звезда–треугольник» и пуске непосредственной подачи напряжения идёт скачкообразно, так как фазное напряжение у них уменьшается, а линейный ток увеличивается в несколько раз. При использовании ПЧ мы можем добиться плавного увеличения частоты вращения.

В результате проведённого исследования был разработан и изготовлен стенд для частотно-регулируемого электропривода. Достаточно большое внимание было уделено и их комплексному взаимодействию и функциональным возможностям. Был глубоко рассмотрен теоретический вопрос частотного регулирования в программном комплексе CoDeSys, функциональное регулирование ПЛК. Большое количество времени было уделено на программирование ПЛК, написан программный код, созданы функциональные блоки и визуализация в CoDeSys для управления электроприводом. Осуществлены главные функции и возможности для управления двигателем с помощью ПЛК. Произведён анализ работы стенда посредством графических зависимостей, которые выявили основные преимущества плавного пуска двигателя через ПЧ.

Библиографический список

1. **Шведко, В. И.** Методика исследования программно-управляемого асинхронного электропривода / В. И. Шведко, Д. В. Гурьянов // Материалы студенческой научной конференции за 2016 г. В 2 ч. Ч. I. Технические науки / под ред. С. Т. Антипова. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т инж. технол., 2016. – С. 300–301.
2. **Москаленко, В. В.** Электрический привод : учебное пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В. В. Москаленко. – М. : Мастерство: Высшая школа, 2000. – 368 с.
3. **Руководство** по эксплуатации ПЛК ОВЕН 100. – 2002.

АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МОЛОКА

К. А. Шишкова, А. Ю. Астапов

Мичуринский государственный аграрный университет»

В настоящее время в используемом парке холодильных машин на охлаждение 1 т молока расходуется до 40 кВт·ч электроэнергии, что существенно сказывается на его себестоимости и требует разработки и реализации ресурсо- и энергосберегающих технических решений [1].

Необходимость совершенствования технологии производства молока обусловлена значительным объёмом операций, большой удельной энергоёмкостью процессов и высокими требованиями к качеству молока. В этой связи разработка новых ресурсосберегающих технологий и оборудования, направленных на снижение затрат топлива и электроэнергии, обеспечивающих сохранение качества молока, имеет определяющее значение.

Основным направлением уменьшения энергоёмкости производства продукции животноводства является минимизация совокупных расходов энергии на основе использования прогрессивных технологий. Этого можно достичь совершенствованием традиционной технологии путём использования энергосбережения, что даёт возможность уменьшить её энергоёмкость.

Энергетическая оценка производства молока выполнена с использованием методики энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве [2] и практической методики определения энергозатрат и энергоёмкости производства продукции, а также потребностей в энергоресурсах [3].

Для удобства проведения исследований и последующего анализа полученных результатов расчёты выполнялись по видам энергозатрат: электроэнергии, жидкого топлива, средств механизации, зданий и сооружений, кормов, подстилки, воспроизводство стада, живого труда.

В структуре прямых затрат по видам энергии 35,8% занимает электрическая энергия, затем тепловая, а самые низкие затраты – по жидкому топливу и смазочным маслам (12,4%).

Если рассматривать внутреннюю структуру затрат овеществлённой энергии, то самая высокая доля приходится на корма (72%) и в десятки раз меньше на машины, оборудование, здания и сооружения. При рассмотрении затрат на электрическую энергию, самая большая доля (2,3%) приходится на процесс доения, далее – вентиляцию и отопление (1,9%), а самая наименьшая – на уборку навоза (0,6%).

Анализ данных позволяет сделать выводы о том, что подавляющая часть совокупных затрат электроэнергии приходится на такие процессы, как доение коров, вентиляция и отопление, первичная обработка.

Затраты электрической энергии в первичной обработке молока являются: вакуумный агрегат, молочная помпа, мойка и охладитель молока. От их типа, мощности, времени работы зависит расход электроэнергии и, как следствие, энергоёмкость производства.

Снижение энергозатрат, затрачиваемых технологическим оборудованием на производство молока, возможно следующими способами:

- использование энергосберегающих технологий, в том числе энергии низкоинтенсивного излучения;
- снижение удельной энергоёмкости путём повышения производительности;
- повышение энергетической эффективности процесса охлаждения;
- улучшение состояния санитарно-гигиенического состояния доильного оборудования.

Библиографический список

1. **Бредихин, С. А.** Технология и техника переработки молока / С. А. Бредихин, Ю. В. Космодемьянский, В. Н. Юрин. – М. : Колос, 2003. – 400 с.
2. **Методика** энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. – М. : ВИМ, 1995. – 96 с.
3. **Практическая** методика определения энергозатрат и энергоёмкости производства продукции, а также потребностей в энергоресурсах. – М. : ФГНУ «Росинформ-агротех», 2001. – 56 с.

МЕТОД АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Д. В. Штанько

Липецкий государственный технический университет

Случайные процессы применительно к импульсным можно рассмотреть на примере графика активной нагрузки электрической системы. Электрическая нагрузка может изменяться как во временном, так и в амплитудном отношении. Решение задач выбора электрического оборудования и оценки колебаний напряжения в таком случае осуществимо на примере анализа графика активной нагрузки. Нагрузка по сменам распределяется неравномерно и зависит от технологического процесса (рис. 1).

Расчёт и анализ системы осуществляется путём использования графика нагрузки наиболее загруженной смены, расчётная нагрузка всегда превышает среднеквадратическую, следовательно, получим неравенство [1]:

$$I_m \geq I_p \geq I_{ск} \geq I_c,$$

где I_m , I_p , $I_{ск}$, I_c – максимальное, расчётное, среднеквадратическое и среднее значения токов.

Однако такое выражение отображает оценку расчётной нагрузки слишком грубую. Более точно она может быть определена с помощью максимума нагрузки за рассматриваемый интервал времени. Если учитывать, что распределение изменения нагрузки подчиняется нормальному закону плотность вероятности высот импульсов будет следующей [1]:

$$\gamma(p, t) = \frac{\sqrt{\tau}}{\sigma_{\Delta} \sqrt{2\pi\Delta}} \exp \left[-\frac{(p - \bar{p}_{\tau})^2 \tau}{2\sigma_{\Delta}^2 \Delta} \right],$$

где Δ – длительность импульсов совпадения; σ_{Δ} – среднеквадратическое отклонение нагрузки при длительности импульса Δ ; τ – длительность импульса; p – мощность нагрузки; $\bar{p}_{\tau}$ – средняя мощность нагрузки за время действия импульса τ .

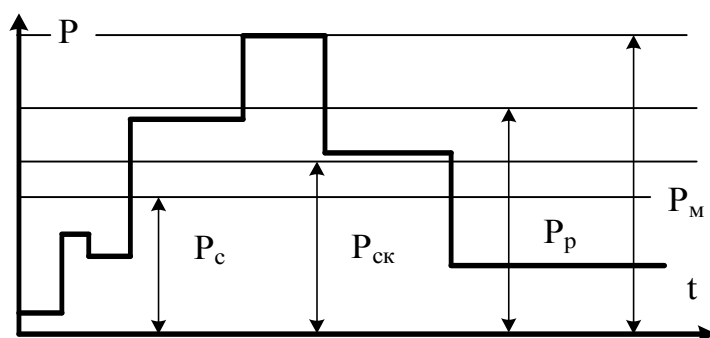


Рис. 1. Изменение активной нагрузки

Также в решении вероятностных задач в качестве характеристики рассеивания для нормального закона используют меру точности [2], чем она больше, тем точнее измерение. Преимущество такого рассмотрения энергетических систем – простота и полнота решения вопросов по расчёту нагрузок. Применение случайных импульсных потоков даёт возможность определять вероятность, частоту, среднюю длительность и закон распределения нагрузки на соответствующем уровне.

При рассмотрении этих же систем со стороны надёжности средняя частота отказов оборудования может быть определена по следующему выражению [1]:

$$\bar{\mu}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta n(t)}{\Delta t},$$

где Δt – длительность рассматриваемого промежутка времени; $\Delta n(t)$ – среднее число элементов оборудования, отказавших в интервале времени $t, t + \Delta t$.

Таким образом может быть получено выражение, характеризующее математическое ожидание наработки на отказ при потоке с бесконечно короткими паузами:

$$\bar{\tau}_n = \frac{1}{\bar{\mu}(\infty)} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \bar{\mu}_i(t)}.$$

Представленное выражение особенно важно в практическом плане расчёта надёжности и применяется к восстанавливаемым системам, кроме того, данный метод оценки применим и для невосстанавливаемых систем, однако в этом случае требуется применение других расчётных выражений.

Библиографический список

1. **Шпиганович, А. Н.** Случайные импульсные потоки : учебное пособие / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович, В. И. Бош. – Елец : УГУ им. И. А. Бунина, Липецк : ЛГТУ, 2004. – 292 с.
2. **Пискунов, Н. С.** Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов : учебное пособие / Н. С. Пискунов. – 13-е изд. – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 560 с.

*Работа выполнена под руководством
д-ра техн. наук, профессора А. Н. Шпигановича*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ НА ВЛ 220...500 кВ И ПРИМЕНЕНИЕ НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИХ ВЫЯВЛЕНИИ

З. Е. Юшина, А. А. Похунков

Тамбовский государственный технический университет

Надёжность работы воздушных линий (далее – ВЛ) обусловлена совокупностью ряда факторов. Выявить истинные причины отказов и наметить пути совершенствования в работе ВЛ возможно на основании статистических данных о повреждаемости их элементов. Отказы являются единственным критерием проверки правильности практических решений и теоретических предпосылок технологических нарушений (далее – ТН).

Анализируя причины ТН за последние годы, можно сделать вывод, что в Тамбовской, Липецкой и Воронежской областях их большинством стали природные явления (грозы, птицы). Наглядно это можно увидеть на нижеприведённой диаграмме.

Распределение расследованных причин ТН, произошедших на ВЛ за период с 1 января по 30 июня 2016 г. (рис. 1).

Основными причинами ТН на ВЛ за период с 1 января по 30 июня 2016 г. являются:

1. гроза – 166 ТН (36,4%);
2. птицы – 92 ТН (20,2%);
3. воздействие посторонних лиц и организаций – 55 ТН (12,1%);
4. природно-климатические воздействия – 41 ТН (9,0%).

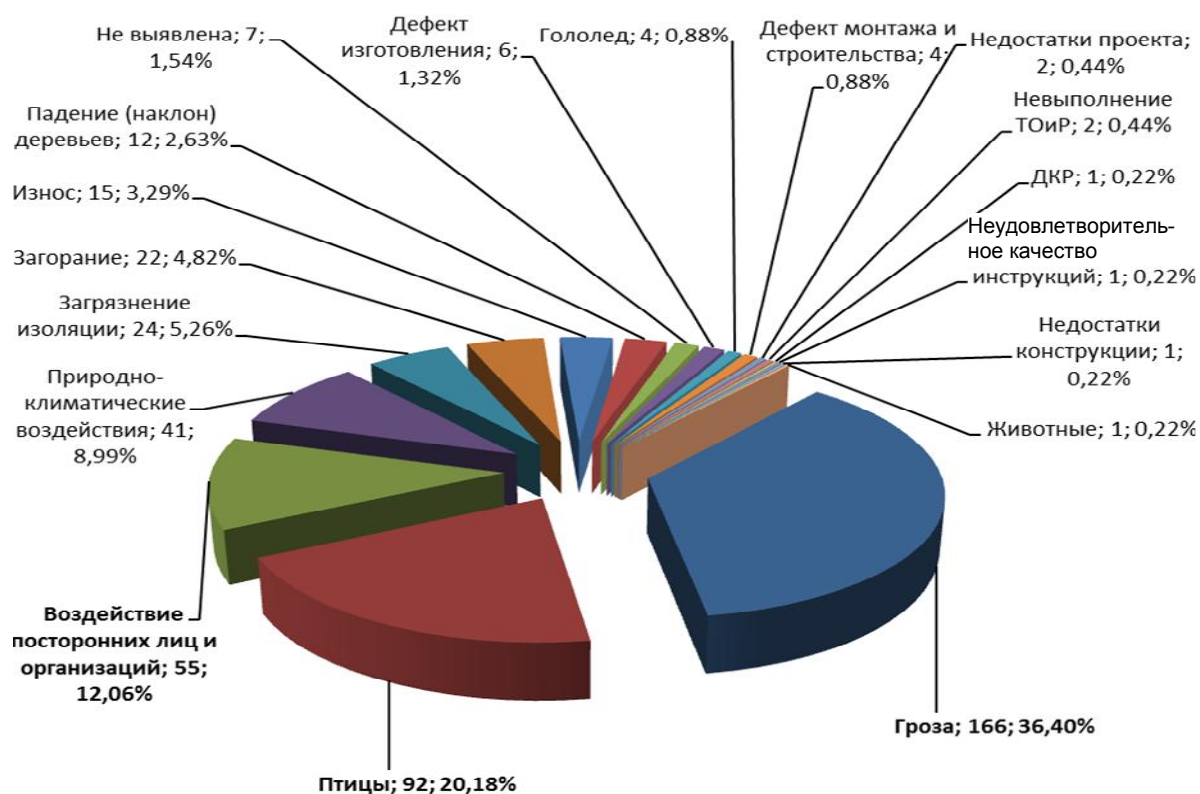


Рис. 1. Причины ТН на ВЛ за период со 01.01.2016 по 30.06. 2016 года

Используя опыт поиска причин аварийных отключений линий электропередачи (ЛЭП), можно сделать вывод, что обнаружить место короткого замыкания (КЗ) невооруженным взглядом без проведения верховых осмотров и выведения оборудования в ремонт невозможно.

Применение квадрокоптера в таких ситуациях является, как минимум, очень удобным. Новейшие технологии позволяют без вывода ЛЭП в ремонт сделать послеаварийный осмотр ЛЭП, не привлекая массу народа и техники. Результаты осмотра фиксируются на камеру в достаточно хорошем качестве, чтобы было возможным заметить даже малейшие следы оплавления.

Так же важно отметить, что с помощью этого устройства есть возможность приблизиться к работающей линии на расстояние ближе, чем позволяет привычный верховой осмотр с помощью автогидроподъемника.

В результате такого осмотра есть возможность найти место КЗ как на месте, так и в результате детального просмотра фото-, видеофиксации. Это позволяет сэкономить не только время, но и человеческие и материальные ресурсы. Помимо такой экономии, пропадает необходимость лишней раз выводить технику в ремонт.

Библиографический список

1. **СО 34.04.181–2003.** Правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей.
2. <http://www.fsk-ees.ru/>
3. **РД 34.20.504–94.** Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35...800 кВ.

*Работа выполнена под руководством
канд. техн. наук, доцента С. В. Кочергина*

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВЫГОДЫ ОТ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А. Ю. Коростелев, Аль Жавдах Ф. Т. А., Аль Рубайе Б. С. М.

Тамбовский государственный технический университет

Снижение потерь электроэнергии, являющихся серьёзным финансовым убытком сетевых предприятий, может обратиться в экономическую выгоду и привлечь сэкономленные денежные средства для решения других насущных задач в области электроэнергетики. Дело в компетентной их оценке. На практике получение прибыли от этого эффекта весьма затруднительно.

Для решения поставленной задачи целесообразно разделить потери энергии на составляющие, исходя из их физической природы и специфики методов определения их количественных показателей.

Фактические (отчётные) потери энергии определяют как разность электроэнергии, поступившей в сеть и электроэнергии, отпущенной из сети потребителям.

Указанные потери могут быть рассчитаны на основе данных о метрологических характеристиках и режимах работы измерительных устройств.

Отчётные потери жёстко связаны с денежными средствами, полученными за проданную электроэнергию и для принятия эффективных мер по их снижению необходимо знать, где и по каким причинам они происходят.

Основными элементами электрической сети, по которым осуществляется транспорт электрической энергии, являются линии электропередач (воздушные, кабельные) и трансформаторы. К дополнительным следует отнести шунтирующие и токоограничивающие реакторы, синхронные компенсаторы и т.д.

Потери энергии в указанном оборудовании делятся на переменные – нагрузочные потери, зависящие от мощности (тока), передаваемой по рассматриваемому элементу, и условно-постоянные потери, определяемые величиной напряжения в узле, к которому подключён данный элемент.

Значительного снижения потерь активной мощности можно достичь, разгружая по реактивной мощности как питающие, так и распределительные сети. Важнейшим мероприятием по уменьшению потерь мощности в распределительных сетях является компенсация реактивной мощности.

Для элемента сети потери мощности равны

$$\Delta P_i = \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_i^2} R_i.$$

После установки компенсирующих устройств (КУ) линия разгружается по реактивной мощности, и потери уменьшаются (см. рис. 1):

$$\Delta P_i = \frac{P_i^2 + (Q_i - Q_k)^2}{U_i^2} R_i.$$

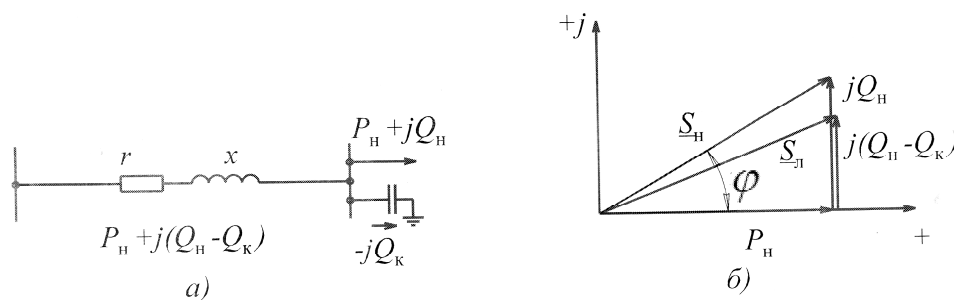


Рис. 1. Компенсация реактивной мощности:
 а – схема замещения линии; б – векторная диаграмма

Потери электроэнергии за год, при условии работы с неизменной нагрузкой, составят

$$\Delta W_{\text{ЗВЕНА}} = \Delta P_{\text{ЗВЕНА}} \cdot 8760 = 4,97 \cdot 8760 = 43\,533,9 \text{ МВт} \cdot \text{ч на год}.$$

Потери электроэнергии за год с установленным компенсирующим устройством составят

$$\Delta W_{\text{ЗВЕНА.КУ}} = \Delta P_{\text{ЗВЕНА.КУ}} \cdot 8760 = 4,331 \cdot 8760 = 37\,935,4 \text{ МВт} \cdot \text{ч на год}.$$

Оценим сэкономленную электроэнергию при установке к КУ:

$$\Delta W_{\text{ЗВЕНА}} = \Delta W_{\text{ЗВЕНА}} - \Delta W_{\text{ЗВЕНА.КУ}} = 43\,533,9 - 37\,935,4 = 5598,5 \text{ МВт} \cdot \text{ч на год}.$$

Годовая экономия при стоимости 1 р. за 1 кВт·ч:

$$З_{\Gamma} = 5\,598\,500 \cdot (1 \text{ р.}) \approx 5,5 \text{ млн. р.}$$

Вывод. При установке на подстанции компенсирующего устройства марки КСВБ 50-11У1, стоимостью, например, в 1,88 млн. р., за счёт экономии потерь электроэнергии срок его окупаемости составит 3 года.

Библиографический список

1. **Коржов, А. В.** Мероприятия по снижению потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях / А. В. Коржов. – Челябинск : ЮУГУ, 2012. – 20 с.

*Работа выполнена под руководством
 д-ра техн. наук, профессора В. Ф. Калинина*

ЗАДАЧИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Л. О. Гончарова, Д. А. Федотов

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время применение энергосберегающих технологий актуально во всех сферах деятельности человека, особенно в промышленности. Энергоресурсосбережение является одной из самых распространённых задач XXI в. С ростом населения в развивающихся странах происходит увеличение энергопотребления, в особенности, на металлургических предприятиях и в химической промышленности. До 90% потерь электроэнергии приходится на сферу энергопотребления, поэтому основные усилия должны быть сконцентрированы именно в сфере потребления электроэнергии.

Регулирование деятельности в сфере энергосбережения и стимулирования предприятий к внедрению энергоэффективных технологий в России отражается в федеральном законе № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Энергоресурсосбережение – это необходимость, которая продиктована невозможностью обеспечения прибыльности производства при постоянной положительной динамике цен на энергоносители и начинающемся дефиците газа и электроэнергии.

Одним из актуальных направлений в энергосбережении является разработка систем энергосберегающего управления динамическими объектами по критерию минимума затрат энергии. К таким объектам, прежде всего, следует отнести тепловые аппараты, машины с электроприводами и транспортные средства. Теоретические и практические исследования показывают, что экономия энергоресурсов при оптимальном управлении динамическими режимами таких объектов составляет от 5 до 30% по сравнению с традиционным управлением [1].

Современный уровень развития электроники позволяет сделать системы энергосбережения предельно компактными, а также интегрировать функции энергосбережения в уже имеющиеся компьютерные системы управления оборудованием. Многие устройства и объекты предусматривают подключение к сети Интернет, что позволяет упростить процедуру идентификации модели объекта и отладку алгоритмов синтеза управляющих воздействий за счёт использования технологии удалённого доступа.

Вместе с тем создание и внедрение систем энергосберегающего управления связано с решением следующих сложных задач, например:

- формализация и решение задачи оптимального управления, идентификация модели динамики объекта;
- функционирование в условиях неопределённости, заключающееся в изменение производственных и других ситуаций в процессе реальной эксплуатации объектов, что ведёт к изменениям исходных данных задачи оптимального управления, а, следовательно, к необходимости получения нового решения сложной задачи и др.

Ожидаемый эффект от внедрения системы достигается при грамотном обслуживании и обеспечении возможности внесения изменений в алгоритмическое обеспечение

при смене производственных ситуаций. Поэтому эффективное функционирование системы энергосберегающего управления в реальных условиях во многом определяется решением следующих задач:

- разработкой автоматизированных рабочих мест для проектировщиков алгоритмического обеспечения систем энергосберегающего управления и созданием сетевой технологии доступа к базе знаний интеллектуальной системы автоматизированного проектирования;
- созданием эмуляторов-тренажёров, позволяющих проводить обучение инженерного персонала;
- использованием технологии удалённого доступа для внесения изменений в алгоритмическое обеспечение систем энергосберегающего управления с удалённо расположенного автоматизированного рабочего места.

Библиографический список

1. **Чернышов, Н. Г.** Система энергосберегающего управления процессами нагрева энергоёмких объектов / Н. Г. Чернышов, С. В. Артемова // Автоматика и вычислительная техника. – 2001. – № 3. – С. 25 – 33.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА. ПРОБЛЕМЫ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

<i>Аль Байяти Лайт Амер Абдулраззак.</i> Применение системы туманообразования для повышения эффективности ГТУ	3
<i>Абрашкин П. А.</i> Современные технические решения тепловой изоляции трубопроводов	5
<i>Авдеева М. Ю.</i> Зелёная энергетика в контексте непрерывной системы образования сферы ЖКХ	7
<i>Альнасур Фавзи Шнайн Абдулхуссейн.</i> Сжигание биотоплива в Ираке с использованием котлов с кипящим слоем для когенерации	9
<i>Аль-Антаки Ахмед М. А., Стромов Б. А., Богометова О. Е.</i> Термодинамический анализ бромисто-литиевой абсорбционной холодильной машины в среде MATLAB	11
<i>Аль-Фураиджи М. А.</i> Использование метода регрессионного анализа в исследовании паротурбинной установки	13
<i>Альмохаммед Сафаа Малик.</i> Использование солнечной энергии для охлаждения зданий	15
<i>Аль Саммарраи Хайдер.</i> Системы охлаждения воздуха для газотурбинных установок	17
<i>Альхассани Хенд Дахель Схаль.</i> Котлы с циркулирующим кипящим слоем	19
<i>Амиров Ж. А.</i> Контактная кристаллизация веществ из водных растворов с использованием теплового насоса	21
<i>Аристов А. А., Кошелев И. Ю., Кузнецова М. С.</i> Энергосберегающее управление электронагревательными многозонными тепловыми установками	23
<i>Аристов А. А., Кошелев И. Ю., Кузнецова М. С.</i> Информационная система идентификации моделей электронагревательных многозонных тепловых установок	25
<i>Барсуков А. А., Попов В. Д.</i> О крышных котельных города Тамбова	27
<i>Барсуков А. А., Попов В. Д.</i> Исследование теплового метода контроля качества покрытий твёрдых сыров	29
<i>Богадевич Д. И., Черемных И. С.</i> Энергосбережение при транспортировке нефти ..	31
<i>Богометова О. Е., Желтов А. А.</i> Повышение теплостойкости композита антифрикционного назначения теплоэнергетики	33
<i>Ярцев А. Г.</i> Анализ влияния местного сопротивления в горизонтальном цилиндрическом канале на величину коэффициента теплоотдачи	35
<i>Гусев А. А., Богометова О. Е., Андреев А. А., Анисимов А. А.</i> Имитационное моделирование тепловых процессов в измерительной ячейке прибора ИТ-3	37

<i>Кашменский Д. С.</i> Влияние скорости воздуха на период осцилляций температуры при ИК-стимуляции семян	39
<i>Кирип А. Ю.</i> Исследование оптимального использования монарных парогазовых установок	42
<i>Колесников Д. А.</i> Алгоритм управления высокочастотным преобразователем для систем с индукционным нагревом	44
<i>Леопова О. В.</i> Оптимизация системы отопления жилого дома в г. Тамбове	45
<i>Оразов Б. К., Михайлов М. В.</i> Разделение бинарных смесей путём сочетания процессов ректификации и кристаллизации с применением тепловых насосов	46
<i>Похунков А. А., Юшина З. Е., Воронина И. А.</i> Электрообогрев грунта в теплице	48
<i>Савинова К. С.</i> Измерение температуры методом наименьших квадратов	49
<i>Семенов Д. Д.</i> Тенденции развития способа и устройства измерения давления и температуры одним датчиком	51
<i>Стромов Б. А., Аль-Антаки Ахмед М. А., Богометова О. Е.</i> Определение теплофизических свойства водного раствора бромида лития в среде MATLAB	52
<i>Сулеев А. А.</i> Разработка энергосберегающей технологии производства многослойных электропроводящих материалов с непрерывным контролем качества	54
<i>Фролов А. Е.</i> Анализ надёжности сетей централизованной системы теплоснабжения микрорайона «Тракторный» города Липецка	57
<i>Клещина А. Э., Пешикова А. В.</i> Тепловая защита в современных многоэтажных зданиях	59

Секция 2. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

<i>Аль Аджраш Б. Х. Ф., Жеребятъев А. А.</i> График нагрузки	60
<i>Аль Сраейф З. Х. Ш., Филатов М. А.</i> Собственная генерация на предприятии	62
<i>Аль Сумармад Х. А. С., Илларионов Е. В.</i> Биогаз – альтернатива природному газу ...	63
<i>Аль Шахери А. М. А., Иванов С. Е.</i> Линейные оптимизационные задачи повышения коэффициента мощности	65
<i>Ананьев Д. В.</i> Импульсные потоки для анализа электрических систем	67
<i>Астанин С. С.</i> Совпадение прямоугольных импульсов и их амплитудно-временные параметры	69
<i>Мухортов Н. М., Кейзер А. В.</i> Анализ параметров электрического освещения корпуса здания ВНИИС им. И. В. Мичурина	71
<i>Белоусов А. С.</i> Анализ модернизации электропривода разматывателя	73

<i>Большев В. Е.</i> Результаты эксперимента, проводимого на стенде для исследования влияния электроприёмников на качество электроэнергии	75
<i>Васильев С. С.</i> Влияние заземления нейтрали на работу релейной защиты при аварийных режимах	77
<i>Виноградов Н. О.</i> Вероятности и распределения случайных величин в электроэнергетике	79
<i>Воронин Д. О.</i> Перспективы применения индивидуальных станций для зарядки электромобилей в сельской местности на опорах воздушных линий электропередачи	80
<i>Гизатуллина Д. М.</i> Технология подбора источника питания к сборке из светодиодных модулей	82
<i>Головин А. Ю.</i> Анализ систем управления вентильно-индукторными двигателями	83
<i>Гутенев А. С., Ломов А. С.</i> Повышение энергоэффективности распределительных систем	85
<i>Девликанова С. С.</i> Анализ конструктивных параметров полевого датчика Холла на основе КНИ-структур при высокой магниточувствительности	87
<i>Докалина А. А.</i> Основные показатели для оценки эффективности проектов ветровой энергетики	89
<i>Дробышев М. А.</i> Анализ структуры коммерческих потерь электроэнергии в электрических сетях напряжением 0,4 кВ	91
<i>Дробышев М. А.</i> Методы выявления неконтролируемого потребления электроэнергии	93
<i>Евсеев А. М., Пикалов В. В., Пожидаев А. А.</i> Система управления асинхронным двигателем с релейным регулятором тока для DSP TMS320F28035 в программном пакете MATLAB SIMULINK	95
<i>Джапарова Д. А., Кагдин А. Н.</i> Исследование режимов работы бытовой электрической нагрузки	97
<i>Джапарова Д. А., Кагдин А. Н.</i> Исследование нейросетевых алгоритмов при решении задач прогнозирования электрической нагрузки	99
<i>Кайо О. Н.</i> Снижение потерь в распределительных сетях	101
<i>Ключенков С. В.</i> Метод анализа практических задач надёжности СЭС	103
<i>Крючков В., Терехов Ю. Ю.</i> Проблемы и перспективы развития ветроэнергетики в России	105
<i>Кузьяев Р. Р.</i> Энергосберегающее управление электрическими тепловыми аппаратами	107
<i>Кукишев Д. Ю.</i> Энергосберегающий электропривод на примере скалярной системы управления	109

<i>Курди Салим Х. К., Попов И. С. Как зарядить электромобиль</i>	111
<i>Лукьянов Ю. И. Селективность релейной защиты в сетях 0,38 кВ с применением средств автоматического секционирования и резервирования</i>	112
<i>Мальцев К. В. Перспективы использования мототехники для оперативно-выездной работы на воздушных линиях электропередачи в сельскохозяйственных районах</i>	114
<i>Митрохин А. Ю. Использование фрактальных методов для прогнозирования электрической нагрузки</i>	116
<i>Митрохин А. Ю., Бортников И. А., Позднякова В. В. Современные проблемы городского электрического транспорта в Тамбове</i>	118
<i>Митрохин А. Ю. Анализ перспектив развития распределённой энергетики</i>	120
<i>Бортников И. А., Митрохин А. Ю., Позднякова В. В. Возникновение аварий в электроэнергетических системах и способы их предотвращения</i>	122
<i>Пожидаев А. А., Евсеев А. М., Пикалов В. В. Создание модели синхронного привода моталки Стана «2000» ЦПП ПАО «НЛМК» в программном пакете MATLAB SIMULINK</i>	124
<i>Позднякова В. В. Фрактальное моделирование электроэнергетических систем</i>	126
<i>Позднякова В. В., Бортников И. А., Митрохин А. Ю. Применение двухтарифных счётчиков для сглаживания графиков электрических нагрузок</i>	128
<i>Позднякова В. В. Повышение качества электрической энергии за счёт применения распределённых источников энергии</i>	130
<i>Пустовалов Д. В. Повреждение изоляции проводников</i>	132
<i>Репина Т. И., Аль Аджраш Бан Хатем Фалих. Разработка мероприятий по повышению надёжности энергетических систем</i>	134
<i>Ростяпин А. С., Маклаков В. С. Энергосберегающий аспект использования конденсаторных установок в системах электроснабжения</i>	136
<i>Рукавицын К. О. Обзор систем прямого управления моментом с использованием интеллектуальных методов</i>	138
<i>Саксонов А. С. Применение комплектных трансформаторных подстанций на напряжения 35...220 кВ</i>	140
<i>Семиохин И. А., Бабкин В. А., Буюк В. Л. Модернизация вспомогательных электрических машин на электровозах</i>	142
<i>Серов М. Ю., Князев И. С. Исследование эффективности модернизации привода калибрующего блока СПЦ-2 ОАО ОЭМК</i>	144
<i>Синюков А. В. Нейронные сети в электроэнергетике</i>	146
<i>Скоморохов И. И. Возможные виды резервирования в СЭС</i>	147

<i>Селезнев Е. С.</i> Проблема внедрения систем мониторинга изоляции кабельных линий выше 1 кВ	149
<i>Тарабанов И. И.</i> Перспективы использования мускульной силы человека для генерирования электрической энергии в сооружениях спортивно-оздоровительного назначения на примере ОРО ОГ ФСО «Юность России» (г. Орел)	151
<i>Трушин А. П., Киселевич В. Л.</i> Превосходство тиристорных устройств автоматического ввода резерва перед существующими быстродействующими АВР на подстанциях с электродвигательной нагрузкой	153
<i>Трушин А. П., Новиков И. А., Репина Т. И.</i> Упрощения, для анализа переходных процессов в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой	155
<i>Туровский А. С., Кузина Е. С.</i> Снижение энергетических затрат в цифровых линиях связи при OFDM-модуляции сигнала	157
<i>Аль Фадхли Мохаммед Сауд Али, Жеребятьев Д. Н.</i> Сельские электрические сети как специфический объект с точки зрения надёжности электроснабжения	159
<i>Федосова Е. О., Федяева А. Е.</i> Разнообразие технических средств и способов для борьбы с несимметричной нагрузкой	161
<i>Федяева А. Е., Федосова Е. О.</i> Несимметрия напряжения в системах электроснабжения	163
<i>Чипунгу М. Г.</i> Проблемы и перспективы развития электроэнергетики	165
<i>Числаш Е. С., Числаш Д. С.</i> Работа асинхронного двигателя в аварийном режиме ..	166
<i>Числаш Д. С., Числаш Е. С.</i> Тип применяемого генератора в аэроГЭС	168
<i>Чурилин О. Н.</i> Снижение энергетических затрат передатчика с OFDM-модуляцией ..	169
<i>Шакина Л. Н.</i> Сокращение аварийных ситуаций на ВЛ-10 кВ с применением секционирующих пунктов	171
<i>Шведко В. И., Гурьянов Д. В.</i> Автоматизация частотно-регулируемого электропривода на основе программы CODESYS	174
<i>Шишкова К. А., Астапов А. Ю.</i> Анализ потребления энергоресурсов в технологии производства молока	177
<i>Штанько Д. В.</i> Метод анализа электроэнергетических систем	179
<i>Юшина З. Е., Похунков А. А.</i> Исследование причин технологических нарушений на ВЛ 220...500 кВ и применение новейших технологий в их выявлении	181
<i>Коростелев А. Ю., Аль Жавдах Ф. Т. А., Аль Рубайе Б. С. М.</i> Экономические выгоды от снижения потерь электроэнергии	183
<i>Гончарова Л. О., Федотов Д. А.</i> Задачи энергосбережения в промышленности	185

Научное электронное издание

ЭНЕРГЕТИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**ВТОРАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

Тезисы докладов

Редактирование И. В. Калистратова

Компьютерное макетирование М. Н. Рыжковой

ISBN 978-5-8265-1667-6



Подписано к использованию 27.12.2016

Тираж 100 шт. Заказ № 515

Издательско-полиграфический центр
ФГБОУ ВО «ТГТУ»

392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.

Телефон (4752) 63-81-08, 63-81-33.

E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru

