

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

**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

V Национальная научно-практическая конференция
(Казань, 12–13 декабря 2019 г.)

Материалы конференции

В двух томах

Том 2

Казань
2019

УДК 621.313
ББК 31.261
П75

Рецензенты:

д-р техн. наук, зав. кафедрой электропривода и электротехники
ФГБОУ ВО «КНИТУ» В.Г. Макаров
канд. техн. наук, зав. кафедрой электроэнергетических систем и сетей
ФГБОУ ВО «КГЭУ» В.В. Максимов

Редакционная коллегия:

Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор), И.Г. Ахметова,
О.В. Козелков, О.В. Цветкова

П75 **Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве:** матер. V Национальной науч.-практ. конф. (Казань, 12–13 декабря 2019 г.): в 2 т. / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. – Т. 2. – 500 с.

ISBN 978-5-89873-558-6 (т. 2)
ISBN 978-5-89873-556-2

Опубликованы материалы V Национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве» по следующим научным направлениям:

1. Приборостроение и управление объектами мехатронных и робототехнических систем в ТЭК и ЖКХ.
2. Электроэнергетика, электротехника и автоматизированный электропривод в ТЭК и ЖКХ.
3. Инновационные технологии в ТЭК и ЖКХ.
4. Актуальные вопросы инженерного образования.
5. Промышленная электроника на объектах ЖКХ и промышленности.
6. Светотехника.
7. Энергосберегающие технологии в сфере ЖКХ.
8. Эксплуатация и перспективы развития электроэнергетических систем.
9. Контроль, автоматизация и диагностика электроустановок, электрических станций и подстанций.
10. Теплоснабжение в ЖКХ.

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

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

УДК 621.313
ББК 31.261

ISBN 978-5-89873-558-6 (т. 2)
ISBN 978-5-89873-556-2

© Казанский государственный энергетический университет, 2019

**Секция 1. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ
МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
В ТЭК И ЖКХ**

УДК 681.51

**ОБСЛЕДОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ НАЗЕМНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РОБОТЕХНИКИ
В СЛУЧАЕ БЕДСТВИЙ: ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
И НАПРАВЛЕНИЯ**

Аль-Дарабсе Амер Мохаммад Фархан¹, Маркова Елена Владимировна²,
Миллер Вадим Вячеславович³

УлГТУ, г. Ульяновск

¹amersamarah4@gmail.com, ²morozova319@yandex.ru, ³dreinor73@yandex.ru

Аварийная робототехника стала самостоятельной областью исследований с несколькими зарегистрированными случаями успешного развертывания робота в реальных сценариях бедствия. В большинстве этих аварийных развертываний используются воздушные, наземные или подводные роботизированные платформы. Тем не менее, исследования, посвященные автономным лодкам или беспилотным надводным транспортным средствам (USV) для борьбы со стихийными бедствиями (DM), в настоящее время распределены по нескольким публикациям с различной степенью глубины и сосредоточены на более чем одном беспилотном транспортном средстве – обычно под эгидой беспилотных морских судов. (UMV). Поэтому, текущая важность USVs для процесса DM в его различных фазах не ясна.

Ключевые слова: опрос, борьба со стихийными бедствиями, беспилотный надводный автомобиль, беспилотный надводный корабль, автономный надводный корабль, автономная лодка, аварийная робототехника.

**SURVEY OF UNMANNED GROUND VEHICLES FOR ROBOTICS
MAJOR CHALLENGES IN THE EVENT OF DISASTERS
AND DIRECTIONS**

Al-Darabse Amer Mohammad Farhan, Markova Elena Vladimirovna,
Miller Vadim Alekeslavovich

Emergency robotics has become an independent field of research with multiple recorded successful robot deployments in real disaster scenarios. Most of these emergency deployments use air, ground, or underwater robotic platforms. However, studies on autonomous boats or unmanned surface vehicles (USVs) for disaster management (DMs)

are now distributed among several publications with varying degrees of depth and focus on more than one unmanned vehicle – usually under the auspices of unmanned marine vessels. (UMV). Therefore, the current importance of USVs for the DM process in its various phases is not clear.

Keywords: poll, disaster management, self-driving surface car, pilotless surface ship, autonomous surface ship, autonomous boat, emergency robotics.

Стихийные бедствия имеют серьезные последствия для окружающей среды, жизни людей и техногенных сооружений. Кроме того, города и зачастую страны сталкиваются с серьезными социально-экономическими проблемами в результате стихийного бедствия. Экстремальные природные явления, такие как землетрясения и цунами, произошедшие в Тохоку (Япония, 2011 г.), в Индийском океане (2004 г.) и ураган во время наводнения в Новом Орлеане (США, 2005 г.), являются некоторыми примерами. Эти природные явления приводят к проблемам, которые можно почувствовать даже спустя годы после катастрофы. Они обычно наносят ущерб коммунальной инфраструктуре, затрагивая электричество, природный газ, воду, канализацию, связь, дороги, мосты и транспортные услуги. Кроме того, повреждения на объектах, таких как трубы с природным газом, плотины или атомные электростанции, могут вызвать еще более масштабные бедствия [1].

Управление стихийными бедствиями обычно делится на четыре различных этапа, происходящих после и до стихийного бедствия:

1. Смягчение: действия до катастрофы. Он состоит из всех типов действий, предпринимаемых для выявления уязвимостей и снижения или устранения рисков будущих событий, таких как постоянное удаление затронутых групп населения из опасных районов и укрепление ослабленных структур, склонных к обрушению [2].

2. Готовность: действия до стихийного бедствия, тесно связанные с процессом смягчения последствий. Тем не менее, готовность работает с предположением, что опасности нельзя полностью избежать. Цель состоит в том, чтобы разработать обходные пути и подготовительные мероприятия в случае бедствия, такие как создание планов эвакуации, системы обучения и предупреждения [3].

3. Реагирование непосредственно до, во время и после катастрофы. Он состоит, но не ограничивается эвакуацией, спасением и оценкой потребностей, чтобы спасти жизни и свести к минимуму ущерб имуществу.

4. Восстановление: действия, которые происходят после аварии. Они стремятся восстановить жизнь, которая была до катастрофы. Он включает в себя реконструкцию и мониторинг пострадавших общин/территорий [2].

Возможность подключения: связь имеет основополагающее значение для работы и гарантирует, что соответствующие данные датчиков поступят в центр управления на суше. Тем не менее, проблемы со связью с USV часто возникают, так как связь зависит от окружающей среды, погоды и условий волны. Кроме того, доступность широкополосной связи ограничена в отдаленных районах океана, где доступна только спутниковая связь с ограниченной полосой пропускания. Даже на мелководье и в засоренных регионах, в ситуациях, которые не могут быть обработаны одним USV (например, необнаруженные неизбежные столкновения), проблемы со связью могут быть разницей между сохранением или уничтожением USV, поскольку оператор не сможет вмешаться, подвергая опасности целостность УЗВ и др [3].

Локализация: Плохая погода, находясь рядом с побережьем или искусственными зданиями (например, под мостами или рядом с плотинами). Все это ситуации, когда могут возникнуть проблемы с локализацией, связанные с плохим сигналом GPS. Поэтому стратегии локализации должны быть универсальными в случае проблем с GPS.

сакцентом на более чем один беспилотный автомобиль и различной степени глубины. Этот обзор является первым, специально посвященным USV для DM [1].

Поскольку настоящее исследование имеет широкую исследовательскую проблему, его неотъемлемой задачей является способность охватить все работы на местах. Мы сделали все возможное, чтобы покрыть область, но, возможно, мы не покрыли все это. Мы могли пропустить работы по мере развития проекта и разделения задач. Другой проблемой при изучении USV является соглашение об именах [3], которое не является единообразным, например, беспилотные морские / надводные корабли, суда, транспортные средства или автономные или беспилотные катера. Такое отсутствие соглашений о присвоении имен для USV приводит к ряду исследовательских проблем, в том числе к превышению лимитов символов в полях поиска и сложностям при сужении соответствующих работ. Кроме того, поисковые системы могут ассоциировать такие сокращения с исследованиями в области физики, медицины, экономики, истории и других не связанных между собой областей. Одним из способов решения

этой проблемы является использование исключаяющих ключевых слов в поиске, например, исключение слова «кровь» из поиска. Термин «морское транспортное средство» также неоднозначен, что может привести к появлению UUV или USV.

Источники

1. Маркова Е.В., Аль-Дарабсе А.М.Ф. Криминализация экономики как угроза финансовой безопасности // Проблемы и перспективы экономических отношений предприятий авиационного кластера: матер. III Всерос. науч. конф. Ульяновск, 2019. С. 101–104.

2. Маркова Е.В., Аль-Дарабсе А.М.Ф. Кадровая безопасность предприятия в современной экономике // Проблемы и перспективы экономических отношений предприятий авиационного кластера: III Всерос. науч. конф. Ульяновск, 2019. С. 109–113.

3. Аль-Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е.В. Информационные системы управления для совершенствования стратегического и тактического планирования // Развитие агропромышленного комплекса в условиях цифровой экономики: сб. науч. тр. I Нац. науч.-практ. конф., посв. 25-летию со дня образования экономического факультета. Кинель, 2019. С. 188–190.

УДК 514.8

СВЕТОДИОДНЫЕ ЛАМПЫ-РЕТРОФИТЫ

Байнева Ирина Ивановна¹, Лычагин Иван Андреевич²
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева», г. Саранск
¹baynevaii@rambler.ru, ²ivan.li4agin@yandex.ru

Рассмотрены возможности замены традиционных источников света светодиодными лампами-ретрофитами, проанализированы их достоинства и недостатки. Посвящается исследованию светотехнических характеристик и теплового режима светодиодных ламп-ретрофитов. Исследование осуществлено экспериментальным путем и с помощью моделирования в специализированных программных комплексах.

Ключевые слова: лампа, ретрофит, светодиод, лампа накаливания, моделирование, радиатор, светораспределение, температура, радиатор, корпус, модуль.

LED RETROFITE LAMPS

Bayneva Irina Ivanovna, Lychagin Ivan Andreevich

The article considers the possibility of replacing incandescent lamps with LED retrofit lamps, analyzes their advantages and disadvantages. The article is dedicated to the study of lighting characteristics and thermal regime of LED-retrofit lamps. The study was carried out experimentally and using simulation in a specialized software package.

Keywords: lamp, retrofit, LED, incandescent lamp, modeling, radiator, temperature, radiator, housing, module.

Светодиоды (СД), светодиодные лампы и световые приборы на основе светодиодов все настойчивее вторгаются в нашу жизнь и вытесняют постепенно привычные нам источники света (ИС) [1]. В последние годы рынок практически заполнился лампами на основе светодиодов с форм-факторами ламп накаливания (ЛН) и галогенных ламп накаливания (ГЛН) [2–4], а также линейных и компактных люминесцентных ламп. Это обусловлено тем, что современные светодиоды характеризуются экономичным потреблением энергии, виброустойчивостью, богатой цветовой гаммой, практически «вечным» сроком службы (до 100 тыс. ч и более), механической надежностью и прочностью, отсутствием инерционности.

В связи с этим важным, особенно для российских производителей светотехнической продукции, является вопрос разработки таких ламп и приборов, которые отвечали бы в полной мере современным мировым требованиям. Актуальной является разработка светодиодных ламп, предназначенных для установки в различные светильники промышленного и специального назначения в качестве ИС, рассчитанных на работу от сети переменного тока с частотой 50 Гц и в сети постоянного тока.

Ретрофит – модернизация, предусматривающая добавление новой технологии или её свойств к более старым системам.

При разработке СД ламп-ретрофитов необходимо решать две технические проблемы – выбор светодиодов и получение нормального теплового режима работы. Обеспечение теплового режима светодиодных ламп является ключевым элементом для повышения эффективности и долговечности устройств [4]. Это обусловлено тем, что повышение температуры активной зоны светодиода влечет за собой падение эффективности светодиода и сокращение времени его службы. Высокие температуры ведут к ускоренной деградации люминофоров в белых светодиодах.

Одной из проблем прямой замены традиционных источников света на лампы-ретрофиты является высокое тепловыделение СД в процессе работы и, как следствие, необходимость организации теплоотвода. Однако процесс распространения тепла от СД носит не такой характер как у ЛН или ГЛН. Тепло распределяется в сторону подложки самого СД. При перегревах у СД могут ухудшиться многие характеристики или они совсем выйдут из строя. Чтобы решить эту проблему используются радиаторы, которые являются обязательной и неотъемлемой частью современной светодиодной лампы. Чаще всего используется алюминиевый радиатор с ребрами для увеличения площади распределения тепла. Чем мощнее ИС, тем больше и массивнее радиатор, конструктивно он совмещается с корпусом.

Анализ трех составляющих выделения тепла (тепловое излучение, конвекция, теплопроводность) для основных типов светильников показывает, что основное тепло ($> 90 \%$) передается от полупроводникового кристалла за счет механизма теплопроводности непосредственно на его металлическую подложку, то есть в корпус ИС. Лишь 5% тепла уходит в виде теплового (инфракрасного) излучения.

Охлаждение светоизлучающего элемента в приборе является одной из основных проблем, решение которой существенно повышает надежность системы в целом. Если для осветительных систем больших размеров площадь охлаждающей поверхности радиатора не лимитируется, то в таких приборах, как светодиодные лампы (на замену ЛН и компактных люминесцентных ламп) требования к размерам радиатора диктуются как дизайном самой лампы, так и размерами электронной платы управления, встраиваемой в радиатор. Это, в свою очередь, приводит к необходимости оптимизации площади охлаждающей поверхности радиатора и невозможности увеличения мощности лампы из-за ограниченных размеров радиатора. Существенным недостатком металлических радиаторов является их вес и стоимость (сплав алюминия). Поэтому для ощутимого уменьшения веса, например, светодиодной лампы, используются конструкции из проводящей керамики или теплопроводящих пластмасс. Заметим, что благодаря возможности литья под давлением пластмасс, можно легко получать различные конструкции радиаторов с высокими эргономическими характеристиками, хорошо разветвленной поверхностью, что для современных технологий литья металлов под давлением может быть недостижимо.

Критерием определения качественного теплоотвода для конкретного изделия является зависимость спада светового потока во времени с момента включения прибора. Спад светового потока на 4-5 % свидетельствует об оптимальной системе охлаждения. Такие приборы обычно обеспечивают срок службы более 50 тыс. ч, высокую надежность электронных компонентов, а также высокую стабильность светового потока в процессе эксплуатации.

Кроме того, у традиционных ламп и светодиодных ИС по-разному выделяется тепло на излучающем элементе, из-за чего происходит нагрев разных частей конструкций, а значит, необходимы принципиально разные решения проблемы отвода тепла.

В САПР КОМПАС-3D были разработаны конструкции светодиодных лампы-ретрофитов с различным исполнением корпусов-радиаторов и светодиодными модулями [5, 6]. Корпус светодиодных лампы-ретрофитов изготовлен из материала, который обладает хорошей теплопроводностью, обеспечивающий отвод температуры от светодиода при долгой работе светодиодных ламп. Форма корпуса радиатора имеет сквозные щели, которые обеспечивают при работе изделия естественную конвекцию воздуха, тем самым дополнительно понижает температуру радиатора. Применение теплорассеивающих полимерных композитов для решения проблемы тепловой стабильности дает возможность повысить надежность работы LED-светильников, снизить себестоимость их изготовления. Было проведено исследование влияния теплопроводящих свойств материала радиатора на теплоотвод ретрофитной лампы и осуществлена оценка эффективности теплоотвода пластиковых радиаторов ретрофитных ламп.

Источники

1. Байнева И.И. Проблемы и возможности современного рынка светодиодной продукции // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2019. № 7 (268). С. 49–55.
2. Байнева И.И. Галогенные лампы накаливания: моногр. Саранск: Афанасьев В. С., 2013. – 176 с.
3. Байнева И. И. Обзор современных галогенных ламп накаливания, задач и перспектив их развития // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2014. № 3 (204). – С. 44–50.
4. Bayneva I. I. The features and prospects for the development of modern halogen light sources // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11, Is. 4. Pp. 701–704.

5. Bayneva I.I. Computer Simulation of Retrofit Led Lamps // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. Vol. 8, Is. 6. Pp. 538–539.

6. Байнева И.И. Компьютерное моделирование светодиодных ламп-ретрофитов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2018. № 10. С. 474–479.

УДК 514.8

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Байнева Ирина Ивановна
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева», г. Саранск
baynevaii@rambler.ru

Внедрение информационных технологий во все сферы деятельности человека – приоритетная задача современной России. Рассмотрены технологии, определяющие переход к цифровой экономике. Показано, что эффективность работы проектировщиков и дизайнеров напрямую связана с внедрением моделирования и прототипирования простых изделий и сложных систем. Проанализированы технологии, программное обеспечение и форматы данных для 3D-проектирования и прототипирования. Рассмотрены аддитивные технологии в светотехнике. Также описаны особенности проектирования и прототипирования светодиодного модуля для уличного светильника.

Ключевые слова: программа, цифровые технологии, аддитивное производство, светильник, светодиод, оптическая система, конструкция.

COMPUTER TECHNOLOGIES OF LIGHT-ENGINEERING PRODUCTION

Bayneva Irina Ivanovna

The introduction of digital technologies in all spheres of human activity is a priority task of modern Russia. The technologies that determine the transition to the digital economy are considered. It is shown that the efficiency of designers and designers is directly related to the introduction of modeling and prototyping of simple products and complex systems. Analyzed technologies, software and data formats for 3D-design and prototyping. Additive technologies in lighting engineering are considered. Also features of designing and prototyping of the LED module for a street light are described.

Keywords: program, digital technologies, additive production, light device, LED, light source, optical system, design.

Согласно статистическим данным, в области внедрения компьютерных технологий (IT-технологий) на предприятиях Россия отстает от ЕС и многих стран, лишь немного опередив Турцию, Китай и Мексику. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (2017 г.) ставит главной целью создание необходимых условий для развития в России цифровой экономики, в которой данные в цифровом виде являются ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности. Президент РФ отметил, что проект развития цифровой экономики носит сквозной характер и охватывает все без исключения сферы жизни [1]. Основными направлениями обеспечения информационной безопасности в цифровой экономике является ликвидация зависимости отечественной промышленности от зарубежных IT-технологий и средств обеспечения информационной безопасности за счет создания, развития и широкого внедрения отечественных разработок, а также производства продукции и оказания услуг на их основе [2]. По мнению исследователей, до 2030 г. на первые позиции выйдут искусственный интеллект, робототехника, виртуальная реальность, облачные вычисления [3].

Технологии, которые определяют переход к цифровой экономике на современном этапе:

- искусственный интеллект;
- квантовые технологии;
- фотоника;
- суперкомпьютерные технологии;
- математическое моделирование – опосредованное практическое или теоретическое исследование объекта, при котором непосредственно изучается не сам интересующий нас объект, а некоторая вспомогательная искусственная или естественная система (модель), находящаяся в некотором объективном соответствии с познаваемым объектом, способная замещать его в определенных отношениях и дающая при её исследовании, в конечном счете, информацию о самом моделируемом объекте;
- 3D-технологии – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели;
- роботизация – использование интеллектуальных робототехнических комплексов, функциональные особенности которых состоят в достаточно гибком реагировании на изменения в рабочей зоне;
- аддитивные технологии – технологии по созданию объектов за счет нанесения последовательных слоев материала. Модели, изготовленные аддитивным методом, могут применяться на любом производственном

этапе как для изготовления опытных образцов (так называемое быстрое прототипирование), так и в качестве самих готовых изделий (так называемое быстрое производство).

Одна из сфер перспективного применения IT-технологий – проектирование. Дизайнеры и проектировщики могут повышать эффективность своей работы с помощью моделирования и прототипирования того или иного изделия. С помощью цифровых методов моделирования «выращивают» прототипы и создают реальные объекты от мелких ювелирных изделий до крупных инфраструктурных сооружений. Потребность изготовить из трехмерной компьютерной модели реальный физический предмет существует практически повсеместно. 3D-принтеры позволяют сэкономить массу времени и сил инженерам, конструкторам, дизайнерам и изобретателям и считаются одним из величайших изобретений XXI века.

Возможность быстрого и легкого создания физических прототипов трёхмерных моделей новых изделий значительно ускоряет процесс их разработки. Построение прототипа обычно происходит на основе твердотельной модели из какой-либо САД-системы. Одним из распространенных форматов для предоставления модели прототипа является формат STL, которое используется для 3D-моделирования и использования в 3D-принтерах. Модели в таком формате умеет сохранять практически любая 3D-программа (3ds Max, Autocad, Blender, Rhino). STL файл содержит поверхностное представление 3D-модели, без подробных спецификаций таких аспектов, как цвета, оптические и физические свойства материалов.

Динамично меняющийся светотехнический рынок ставит жесткие условия по срокам разработки и постановки на производство новых видов продукции. Сложность конструкции современных световых приборов приводит к увеличению рисков и значительному росту стоимости конструкторской ошибки [4]. Один из современных и прогрессивных приемов в светотехнике – использование аддитивных технологий (3D-печати). Они позволяют фактически за считанные часы получить конечное изделие и провести оценку его конструкторских и технологических параметров. Первый опыт прототипирования и функциональных испытаний деталей светильников был проведен еще в 2007 году. При помощи 3D-принтера изготавливали корпусные детали прожектора Prolight. Более масштабно технологии 3D-печати начали использовать с 2014 г. для изготовления рабочих прототипов светильников для уличного и внутреннего освещения. Изготавливались прототипы как целиком из выращенных пластиковых деталей, так и в комбинации с пластиковыми и алюминиевыми деталями (так называемый гибридный подход в производстве) [5].

Сегодня простые или наиболее ответственные элементы светильников, испытывающие высокие эксплуатационные нагрузки, изготавливают пока еще старыми методами ЧПУ и ручной металлообработки. Сложные детали и дизайнерские решения для выставочных образцов и натуральных испытаний производятся из FDM-термопластиков. Очевидны скорость получения результата и гибкость нового технологического процесса. Полученные прототипы в виде комбинации алюминиевых и пластиковых деталей будущих серийных изделий позволяют провести ряд испытаний, в том числе тепловых.

Источники

1. ТАСС. Информационное агентство России [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <http://tass.ru> (дата обращения: 23.08.2019).

2. Программа развития цифровой экономики в РФ [Электронный ресурс]: утв. 24 декабря 2018 г. на заседании президиума Совета при Президенте России по стратегическому развитию и национальным проектам. URL: <https://digital.ac.gov.ru/about/> (дата обращения: 07.09.2019).

3. Эксперт [Электронный ресурс]: электрон. журнал. URL: <http://expert.ru> (дата обращения: 07.09.2019).

4. Байнева И.И. Оптимизация и энергосбережение в освещении // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2018. № 7 (256). С. 43–47.

5. Байнев В.В., Байнева И.И. 3D-моделирование и прототипирование в светотехническом производстве // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73, № 2. С. 51–55.

УДК 543.27.08.068.2

СТРУКТУРНОЕ ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УТЕЧКИ ГАЗОВ В ЖКХ

Галиева Элиза Илгамовна¹, Смирнова Светлана Васильевна²

ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

¹elizabet9797@mail.ru, ²svs.smirnova@gmail.com

В работе показаны общая структурная схема системы и структурная схема модуля газового анализа в области ЖКХ.

Ключевые слова: газоанализатор, угарный газ, природный газ, датчик, метод, прибор контроля, структурная схема.

STRUCTURAL CONSTRUCTION OF THE GAS CONTROL AND LEAKAGE SYSTEM IN HOUSING

Galieva Eliza Ilgamovna, Smirnova Svetlana Vasilyevna

The work shows methods for measuring gases and the use of sensors gas analysis in the housing and utilities sector.

Keywords: gas analyzer, carbon monoxide, natural gas, sensor, method, control device, structural scheme.

Приборы контроля газа актуальны и в промышленных помещениях (детекторы утечки газа, приборы контроля промышленных выбросов в атмосферу), и в быту (недорогие детекторы утечки, приборы измерения концентрации газа). Наиболее актуальными на данный момент являются системы мониторинга воздуха на наличие и превышение концентрации в воздухе двуокиси углерода (углекислый газ), окиси углерода (угарный газ), метана и кислорода.

Цель работы – разработать и сделать описание структурной схемы системы и модуля проектируемой измерительно-вычислительной системы для определения концентрации газов в ЖКХ.

Проведенный обзор литературных источников и патентный поиск показали, что подобные системы существуют, но в них используется устаревшее оборудование. В связи с этим была поставлена задача разработки автоматизированной системы контроля и мониторинга утечки газов в ЖКХ с возможностью управления при помощи такой системы технологическим процессом и выводом информации на внешние компьютеры.

Газовый анализ – это качественное обнаружение и количественное определение компонентов газовых смесей. Газовый анализ может проводиться, как по лабораторным методикам, так и с помощью специальных газоанализаторов. Как правило, методы газового анализа основаны на измерении физических параметров и свойств среды.

По характеру измеряемого физического параметра методы газового анализа можно разделить на механические, акустические, тепловые, магнитные, оптические, полупроводниковые и другие [1].

Амперометрический метод основан на зависимости между электрическим током и количеством определяемого компонента, прореагировавшим на индикаторном электроде. Амперометрический

метод применяют для определения газов, обладающих окислительно-восстановительными свойствами, например SO₂, NO₂, H₂S, O₂, Cl₂, O₃. Достоинства амперометрического газоанализатора – высокая чувствительность и избирательность [2].

Система контроля опасных уровней содержания токсичных и взрывоопасных газов должна представлять собой многоточечную информационно – измерительную систему сбора и обработки информации с последовательным опросом датчиков [3]. Выбор именно последовательного опроса определен, главным образом, простотой построения такой системы и малыми требованиями к её быстрдействию.

Очевидно, что основной частью системы является датчик газа. Причем, поскольку опасный газ, концентрацию которого необходимо контролировать не один, то следует говорить не о датчике газа, а о датчиках. Датчики газа, собранные в едином корпусе вместе с первичной обработчиком информации, блоком питания, средствами индикации и интерфейсов будут представлять собой отдельный измерительный модуль системы, передающий информацию на центральный компьютер, на котором установлена специальная программа. Число таких измерительных модулей определяется конфигурацией помещения, видом и опасностью контролируемого газа (газов), а также общей стоимостью системы.

Общая структурная схема системы представлена ниже (рис.1).

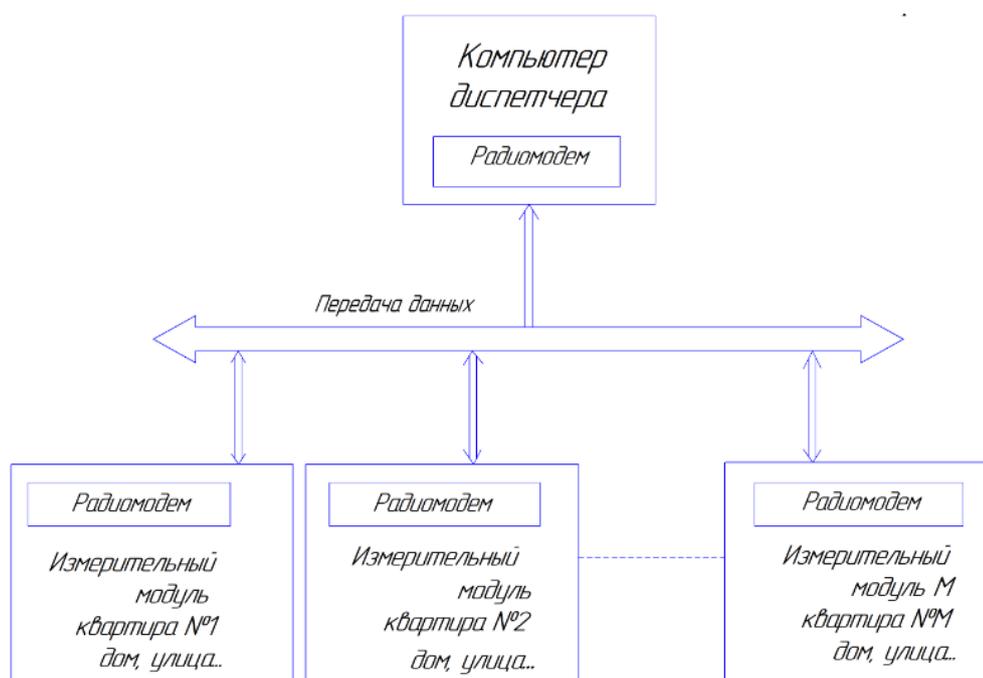


Рис. 1. Общая структурная схема системы

Схема содержит необходимое число измерительных модулей, передающих по интерфейсу уже обработанную информацию о концентрациях контролируемых газов на компьютер диспетчера по шинам. Центральный диспетчерский пункт принимает сообщение об утечке газа и в тот же момент отправляют на место спасателей. Согласно техническому заданию каждый измерительный модуль тоже имеет свою световую (сверх яркий светодиод) и звуковую (зуммер) сигнализацию.

Как видно из приведенной структурной схемы основной частью системы, непосредственно обрабатывающей информацию, являются измерительные модули, образующие матрицу датчиков. Рассмотрим структурную схему отдельного измерительного модуля, которая приведена на рис. 2.

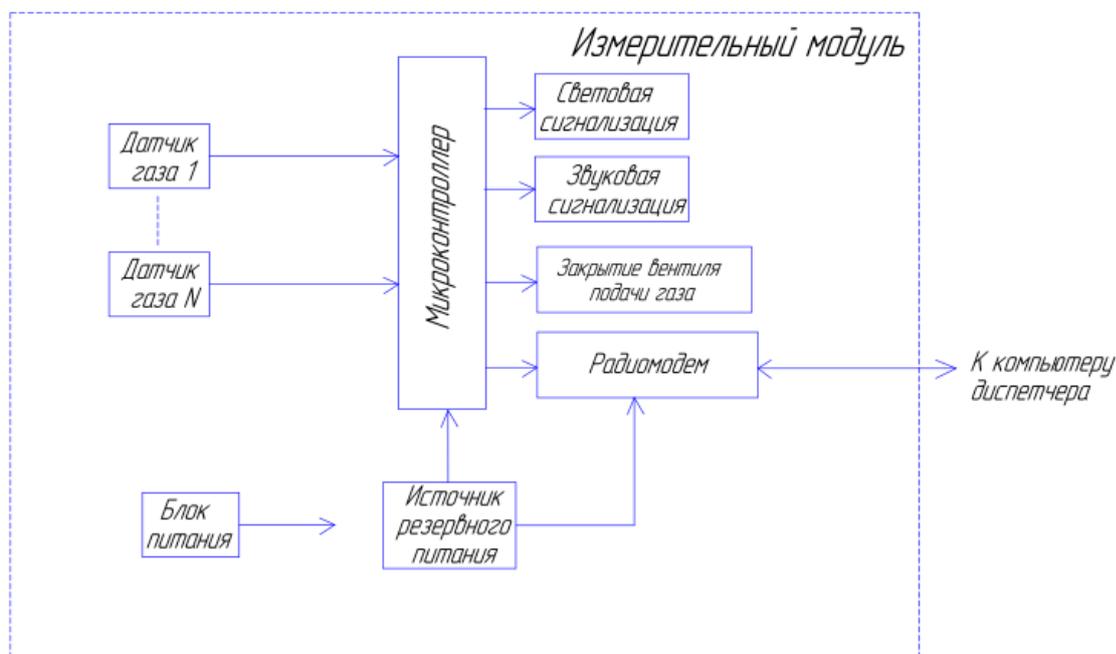


Рис. 2. Структурная схема измерительного модуля

Схема содержит датчики газа, производящие обнаружение и измерение концентрации определенного вида газа. Информация с выходов датчиков в аналоговом или цифровом виде поступает на входы микроконтроллера. Микроконтроллер сравнивает текущую концентрацию отдельного вида газа с пороговым значением, хранящимся в энергонезависимой памяти. В случае превышения нормы информация передается по шине данных на компьютер диспетчера, а также включается световая и звуковая сигнализация измерительного модуля и происходит перекрытие клапана. В дежурном режиме, когда концентрации опасных газов далеки

от предельных значений измерительный модуль по запросу диспетчерского пункта может передавать информацию о концентрации каждого отдельного контролируемого газа. В состав измерительного модуля входит также источник резервного питания, представляющий собой аккумулятор. Такой источник необходим для функционирования измерительного модуля при отсутствии сетевого напряжения питания. Очевидно, что источник резервного питания в целях экономии энергопотребления, будет обеспечивать питание только микроконтроллера и интерфейса. Блок питания, также входящий в состав измерительного модуля, будет обеспечивать формирование требуемых напряжений питания в случае питания измерительного модуля от сети (стандартный режим работы).

Центральный диспетчерский пункт должен осуществлять сбор информации с измерительных модулей, расположенных в контролируемом объёме. По сути, никакой обработки информации процессорный модуль не осуществляет, поскольку сигнал о превышении концентрации и типе газа, концентрация которого превышена, поступает на него уже в готовом виде с измерительного модуля. Единственная возможная операция с поступившей информацией – это ведение статистики.

В целях универсальности построения измерительного модуля вид передачи информации и тип датчика газа может быть и цифровым, и аналоговым. В последнем случае в состав микроконтроллера должен входить АЦП (или использоваться внешний АЦП), а датчик должен иметь унифицирующий преобразователь, преобразующий выходной сигнал датчика в напряжение.

Источники

1. Тхоржвский В.П. Автоматический анализ химического состава газов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.analitech.ru/article2.html> (дата обращения: 05.04.2019).

2. «Мир знаний» [Электронный ресурс]. URL: <http://mirznanii.com/a/324714-3/gazoanalizatory-3> (дата обращения: 05.04.2019).

3. Цапенко М.Н. Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1995. 439 с.

4. Галиева Э.И., Смирнова С.В. Анализ методов и средств измерения газов в ЖКХ // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. IV Национальной науч.-практ. конф. / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) [и др.]. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 1. С. 3–8.

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРОВ

Догадкин Валерий Николаевич
ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань
valeriy1952@mail.ru

В статье рассматривается процесс выбора материалов для изготовления различных приборов на основании специальных требований к ним.

Ключевые слова: материалы, свойства, требования, оптимизация.

THE CHOICE OF MATERIALS FOR PARTS OF DEVICES

Dogadkin Valery Nikolaevich

The article deals with the process of selecting materials for the manufacture of various devices on the basis of special requirements.

Keywords: materials, properties, requirements, optimization.

При изготовлении приборов используются материалы, удовлетворяющие специфическим требованиям. Эти требования можно объединить в четыре группы:

1. Какие требуются свойства материала?
2. Какие выдвигаются требования к технологии обработки материала?
3. Как много материалов подходит для изготовления данной детали?
4. Какова стоимость материала (и обработки)?

Формулируя требования к свойствам материалов для приборов необходимо ответить на четыре основных вопроса.

1. Какие требуются механические свойства материала?

Необходимо рассмотрение таких свойств материалов, как прочность (σ_B), жесткость и упругость (E), твердость ($HВ$), вязкость (KCU), сопротивление усталости, свойства износа и т. д. А также: требуются ли эти свойства при низких температурах, при нормальной температуре или при высоких температурах?

2. Какие требуются тепловые свойства материала?

При этом рассматриваются такие свойства, как удельная теплоемкость, коэффициент линейного расширения и удельная теплопроводность.

3. Какие требуются химические свойства материала?

При этом рассматривается среда, в которой будет находиться материал, и возможность его коррозии.

4. Какие предъявляются требования к точности размеров детали?

Например, какой шероховатости нуждается материал детали, каковы допуски на размеры и т. д.

Рассматривая технологические свойства материала необходимо иметь в виду следующие вопросы.

1. Имеются ли какие-нибудь специальные требования к обработке, которые ограничивают применение материала?

Например, будет ли материал детали применяться литьем или он будет подвергнут штамповке?

2. Имеются ли какие-нибудь требования к термической обработке материала?

Например, должен быть материал отожжен или может быть закален?

3. Имеются ли какие-нибудь специальные требования к применяемому инструменту?

Например, требует ли твердость материала детали применение специальных режущих инструментов?

Рассматривая ассортимент подходящих материалов необходимо решить следующие вопросы.

1. Есть ли материал в распоряжении завода, ремонтной базы или мастерской?

2. Могут ли возникнуть какие-нибудь проблемы с поставкой материала после выбора этого материала?

3. Какой формы материал обычно поставляется?

Например, материал обычно поставляется в прутках или может быть в виде листа? От этого зависит и возможная эффективная обработка.

Рассматривая стоимость выбираемого материала необходимо учитывать следующее.

1. Какова стоимость необработанного материала?

2. Какова стоимость предполагаемой обработки материала?

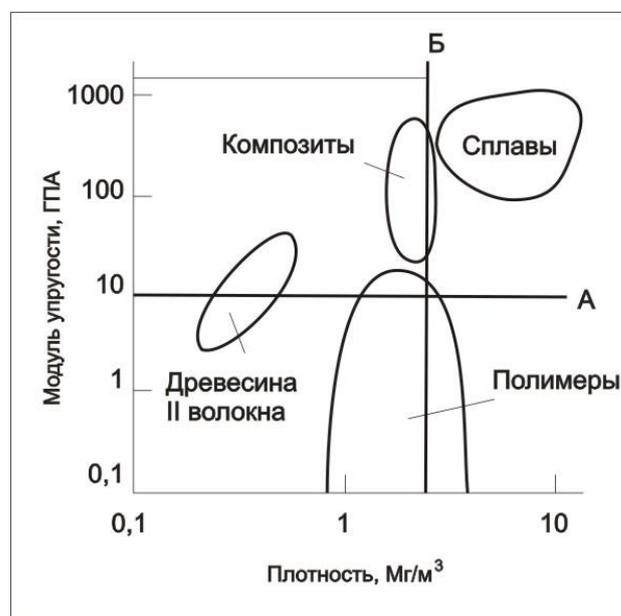
3. Сколько будет стоить обработанный материал (например, после закалки или отжига)?

Далее выбирается критерий отбора материала.

Для этого необходимо рассмотреть все материалы, подходящие для изготовления детали прибора, относительно того, насколько хорошо они удовлетворяют предъявленным требованиям. Из целого ряда материалов, которые имеются в наличии и подходят для поставленной задачи, нужно отобрать материал с оптимальными свойствами.

Одним из путей дальнейшего решения вопроса выбора является применение диаграмм «материалы—свойства». Так, в данном случае это может быть форма диаграммы, показанная на рисунке 1, где материалы указаны в координатах двух значений свойств: модуля упругости и плотности. Для выбора материалов, которые имеют модуль упругости, скажем, 10 ГПа, проведем линию А при этом значении через диаграмму и все материалы выше этой линии сформируем в группу, из которого может быть выбран нужный материал. Если необходимо требование, чтобы плотность была, по крайней мере, меньше 2 Мг/м³, то проводится линия Б на диаграмме при этом значении и все материалы слева от этой линии сформируются в группу по этому критерию.

Группа материалов с обоими критериями находится, таким образом, в верхнем левом углу диаграммы свойств.



Исходя из условий работы и напряженного состояния деталей приборов, материалы должны быть:

- прочными, т. е. хорошо сопротивляться пластическим деформациям;
- надежными, т. е. хорошо сопротивляться хрупкому внезапному разрушению;
- долговечными, т. е. сохранять работоспособность в течение расчетного промежутка времени.

Методы упрочнения материала детали следует выбирать те, которые улучшают перечисленные характеристики. Большое значение имеют знания о закаливании и прокаливаемости сталей.

Материал должен удовлетворять технологическим требованиям, т. е. минимальной трудоемкостью изготовления.

Материал должен удовлетворять экономическим требованиям. По возможности следует выбирать более дешевые и недефицитные материалы.

Для улучшения весовых характеристик изделия следует выбирать материалов с большой удельной прочностью (σ_b / ρ ; σ_T / ρ).

Более дорогие легированные стали, цветные сплавы следует применять лишь в тех случаях, когда более дешевые материалы не удовлетворяют требованиям, предъявленным к ним.

Применение легированной стали, цветных сплавов должно быть технически и экономически целесообразно.

Применение легированных сталей без упрочняющей термической обработки нецелесообразно.

Источники

1. Крамарухин Ю.Е. Приборы для измерения температуры. М.: Машиностроение, 1990. 208 с.

2. Кондаков А.И., Васильев А.С. Обоснование выбора материалов при технической подготовке производства деталей машин. М.: Машиностроение, 2008. 172 с.

3. Bolton W. Engineering Materials: Pocket Book. 3rd ed. Heinemann Newnes, 2000. 233p.

УДК 332.87

ОСОБЕННОСТИ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ НА КОММУНАЛЬНЫЕ УСЛУГИ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Игнатъева Оксана Анатольевна¹, Абдуллин Ильдар Икрамович²,
Сайткулов Игорь Абрикович³
ФГАОУ ВО КФУ, г. Казань

¹dip789@mail.ru¹, ²goch3@yandex.ru, ³saigon72@yandex.ru

В статье проведен анализ формирования цен на коммунальные услуги в России и за рубежом. ЖКХ – это залог комфортной и безопасной среды проживания, которая является неотъемлемой частью экономики, а именно таким показателем как социально-экономический потенциал территорий. Коммунальные услуги растут с каждым годом, занимая уже от 20 до 40 % доходов населения. По экспертным оценкам ЖКХ

охватывает в среднем от 50 до 70 % основных фондов, находящихся в муниципальной собственности и служит, таким образом, материальной основой функционирования местных органов исполнительной власти и важнейшей сферой их социальной ответственности.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, коммунальные услуги, социально-экономическая структура, инфляция, стоимость, доходы населения.

FEATURES OF PRICING FOR MUNICIPAL SERVICES IN RUSSIA AND ABROAD

Ignatieva Oksana Anatolyevna, Abdullin Ildar Ikramovich,
Saitkulov Igor Abrikovich

The article analyzes the pricing of utilities in Russia and abroad. Housing and communal services is a guarantee of a comfortable and safe living environment, which is an integral part of the economy, namely such an indicator as the socio-economic potential of the territories. Utilities are growing every year, occupying from 20 to 40 % of the population's income. According to expert estimates, the housing and communal services covers on average from 50 to 70 % of the fixed assets owned by the municipalities and thus serves as the material basis for the functioning of local executive bodies and the most important area of their social responsibility.

Keywords: housing and communal services, utilities, socio-economic structure, inflation, cost, population incomes.

Как известно, ЖКХ включает большой сектор сферы услуг. Для этого многоотраслевого хозяйства характерны некоторые особенности, объединяющие его с другими секторами жизнеобеспечения граждан. Основные проблемы современного ЖКХ связаны с организационным построением по территориальному и отраслевому признаку, двойному подчинению, неравномерностью спроса и предложения.

Современный ЖКХ представляет собой целостную систему, которая обеспечивает нормальную жизнедеятельность человека, а также развитие и функционирование социально-экономической и производственной инфраструктуры территории [1].

С каждым годом цены на коммунальные услуги имеют тенденцию к росту, однако качество часто остается на прежнем уровне. Потребители услуг считают, что государство нерационально распределяет ресурсы, расставляя неправильные приоритеты в области регулирования рынка услуг ЖКХ. Рассмотрим на рис. 1 рынок ЖКХ в России, годовой оборот которого составляет более четырех триллионов рублей.

Как видно из рисунка, из государственного бюджета было выделено менее 1 трлн руб. вся остальная сумма выплачивается гражданами, а это около 20 % от заработной платы.

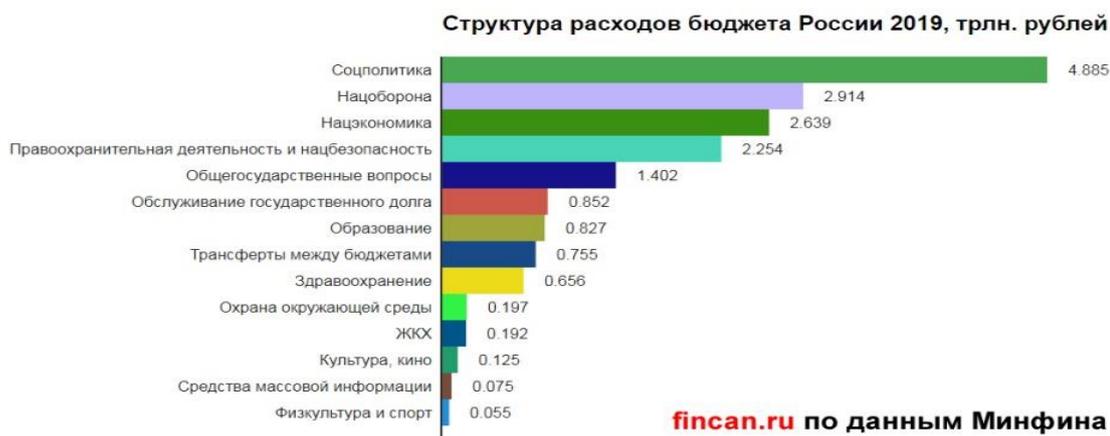


Рис. 1. Структура расходов бюджета России на 2019 г. [2]

Проследим сходство коммунальной деятельности с моделью совершенной конкуренции. Свойство коммунальных услуг не связано с выбором гражданами поставщика услуг, а также не каждый производитель услуг может зайти на этот рынок. Однородность ЖКХ говорит об их индивидуальности как блага, имея определенные нормы, позволяющие выполнять услуги. Однородность исключают возможность для людей показывать свои предпочтения, искать замену.

В сфере коммунальной деятельности механизм спроса и предложения не действует. Таким образом, ЖКХ может ставить любые цены на свои услуги, не имея никаких конкурентов.

Согласно статистике, цены на ЖКХ растут, однако, как видно из рис. 2, пропорционально стоимости услуг ЖКХ растут и доходы населения. Из этого можно сделать вывод, что государство регулирует ценообразование на услуги этого монополиста.

Из рис. 3 видно, что наибольший удельный вес в общей структуре расходов на ЖКХ имеют расходы на отопление, связано это с тем, что у нас газово-нефтяная страна, где 2/3 площади газифицировано. Соответственно на стоимость услуг ЖКХ влияет цена на газ, которая не формируется коммунальными услугами.

Если проследить аналогичные расходы на ЖКХ за рубежом, в развитых странах, то за коммунальные услуги жители этих стран платят больше, чем в России, причем более чем на 10 % расходов от семейного бюджета, согласно данным Минстроя.

Расходы населения на ЖКХ делятся на три части – текущее содержание и ремонт жилья, водоснабжение и самая большая из них это электроэнергия и отопление [5].

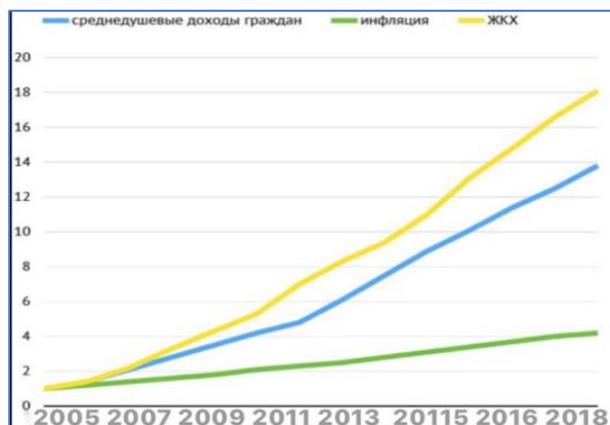


Рис. 2. Показатели среднедушевых доходов граждан, ЖКХ и уровня инфляции [3]

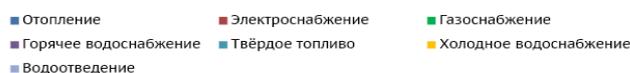


Рис. 3. Структура предоставляемых услуг ЖКХ, в % [4]

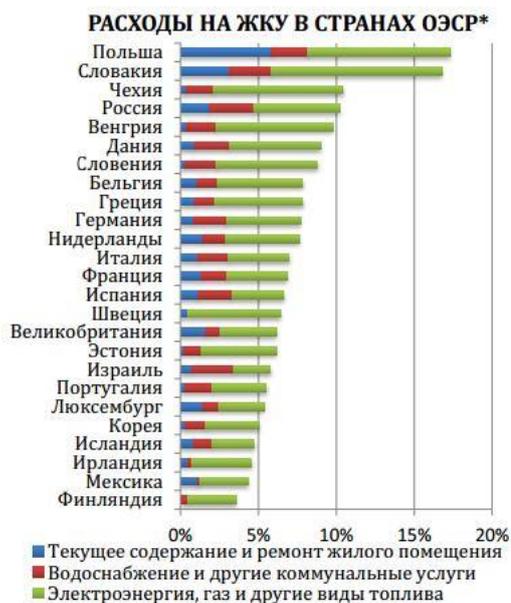


Рис. 4. Расходы на ЖКХ в странах ОЭСР

Для сравнения показатель ЖКХ в Украине является самым высоким, 40 % от заработка, что в 1,6 раза выше среднеевропейского показателя.

Средний уровень расходов на оплату услуг ЖКХ в странах Европы – около 25 %. Самый высокий уровень коммунальных платежей в Дании – 28 %, самый низкий на Мальте – 11 %. Подробный анализ построения представлен на рис. 5.

Доля расходов на коммунальные услуги в доходах

<i>Страна</i>	<i>Доля расходов на ЖКХ в доходах, %</i>
Украина	39
Дания	28
Финляндия	27
Франция	26
Чехия	26
Великобритания	25
Словакия	24
Германия	24
Италия	23
Польша	22
Литва	19
Россия	16
Белоруссия	12
Мальта	11

По данным ОЭСР

Рис. 5. Доля расходов на ЖКХ в доходах

Ежегодное повышение тарифов на коммунальные услуги, как правило, обусловлено ростом цен на энергоносители, увеличением ставок оплаты труда для работников соответствующих отраслей жилищно-коммунального хозяйства, ростом цен на горюче-смазочные и строительные материалы, услуги организаций по обслуживанию оборудования и другими причинами. Правительством РФ рекомендовано органам государственной власти субъектов Российской Федерации и органам местного самоуправления осуществлять изменение тарифов на оплату коммунальных услуг с учетом уровня доходов населения и мер по социальной защите малоимущих категорий граждан, а также реализации мероприятий, направленных на снижение издержек при оказании жилищно-коммунальных услуг и повышение качества обслуживания потребителей. В тарифы не должны включаться необоснованные затраты, связанные с монопольным положением жилищно-коммунальных организаций (административные

издержки, потери в сетях, использование неэффективных технологий и т. п.). При этом органы местного самоуправления и управляющие организации обязаны предоставлять гражданам по их запросам полную информацию о ценах и тарифах на коммунальные услуги.

Источники

1. Иванов А.Р. Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ): Проблемы и пути их решения // Бизнес в законе. 2018. № 6. С. 24–29.

2. Минфин России [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <https://minfin.gov.ru/ru/> (дата обращения: 05.04.2019).

3. Джабиева А.В. Проблемы функционирования ЖКХ в условиях трансформационной экономики России [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/problemy-funktsionirovaniya-zhkh-v-usloviyah-transformatsionnoy-ekonomiki-rossii> (дата обращения: 05.04.2019).

4. Formation of innovations in region business infrastructure / O.A. Ignateva [et al.]. Kazan: Otechestvo, 2019. 68 p.

5. Ignateva O.A, Mustafin A.N, Maksimova M.N. Effective realization of social partnership and supply chain management in the Russian Federation economy // International Journal of Supply Chain Management. 2019. Vol. 8, Is. 4. Pp. 572–576.

УДК 621.757

МЕТОД ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ ПРИ СИНТЕЗЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РАБОЧЕГО ОРГАНА СБОРОЧНОГО РОБОТА

Кузнецова Светлана Владимировна
ФГБОУ ВО «КГТА им. В.А. Дегтярева», г. Ковров
svkuznecova@gmail.com

Излагается подход к синтезу управления процессом движения рабочего органа робота. Управляемым процессом является движение детали по координате адаптации при автоматизированной сборке. От качества управления процессом зависит успех сборочной операции. Сформированы требования к управляемому процессу. В основу синтеза положен метод обратной задачи динамики.

Ключевые слова: автоматизированная сборка, алгоритм управления движением, желаемый процесс совмещения, метод обратной задачи динамики, синтез.

THE METHOD OF THE INVERSE DYNAMIC PROBLEM FOR SYNTHESIS OF THE MOTION CONTROL OF ASSEMBLY ROBOT TOOL

Kuznetsova Svetlana Vladimirovna

The paper presents the technique of the synthesis of the process movement's control of the assembly robot tool. The controlled process is the detail's movement to adaptation's coordinate at automated assembly. The success of assembly operation depends on quality of process control. The demands at guided adaptation process were generated. The method of the inverse dynamic problem is base of the synthesis.

Keywords: automated assembly, motion control algorithm, desired overlapping process, the method of the inverse dynamic problem, synthesis.

Статья посвящена вопросам синтеза управления процессом адаптации деталей при автоматизированной сборочной операции. Адаптация – это целенаправленное перемещение по программной траектории совмещения, характеризующееся уменьшением рассогласования между деталями в процессе их сборки [1]. Для синтеза управления предлагается воспользоваться методом обратной задачи динамики. Это метод синтеза систем, когда по заданным уравнениям объекта и требованиям к качеству системы управления определяется желаемое дифференциальное уравнение, решение которого удовлетворяет заданным требованиям, а затем из найденного уравнения выражается старшая производная и подстановкой её вместо старшей производной в уравнение объекта находится требуемый закон управления [2].

В обобщенном виде динамика процесса адаптации соответствует дифференциальному уравнению 2-го порядка:

$$a_0\ddot{y} + a_1\dot{y} + a_2y = b_0u, \quad a_0 > 0, \quad b_0 \neq 0. \quad (1)$$

В математической модели (1) присутствуют инерционные (параметр a_0), диссипативные (параметр a_1) и упругие элементы, характеризующие процесс движения присоединяемой детали при взаимодействии с базовой деталью (и/или средой) и перемещающим устройством (параметры a_2 и b_0 соответственно). Выходной переменной y является координата адаптации детали. Закон изменения выходной переменной: $y = y^P(t)$. Управлением u является закон смещения исполнительного органа (захвата сборочного робота).

Необходимо синтезировать закон управления, при котором ошибка рассогласования деталей $x(t) = y^P(t) - y(t)$ изменяется по закону (монотонно убывает):

$$x(t) = (C_1 + C_2 t)e^{\lambda t}, \quad (2)$$

где $\lambda = \lambda_{1,2}$ – корни характеристического уравнения; C_1, C_2 – произвольные постоянные, определяемые из начальных условий.

Синтезированное управляющее воздействие процессом адаптации положения детали при автоматизированной сборке, полученное на основе метода обратной задачи динамики, имеет вид:

$$u = \frac{1}{b_0} \left[a_0 \left[\left(\Omega_1 - \frac{a_1}{a_0} \right) \dot{x} + \left(\Omega_2 - \frac{a_2}{a_0} \right) x \right] + a_0 \ddot{y}^P(t) + a_1 \dot{y}^P(t) + a_2 y^P(t) \right]. \quad (3)$$

Структурная схема управления процессом адаптации положения детали при сборке, реализующего метод обратной задачи динамики представлена на рис. 1.

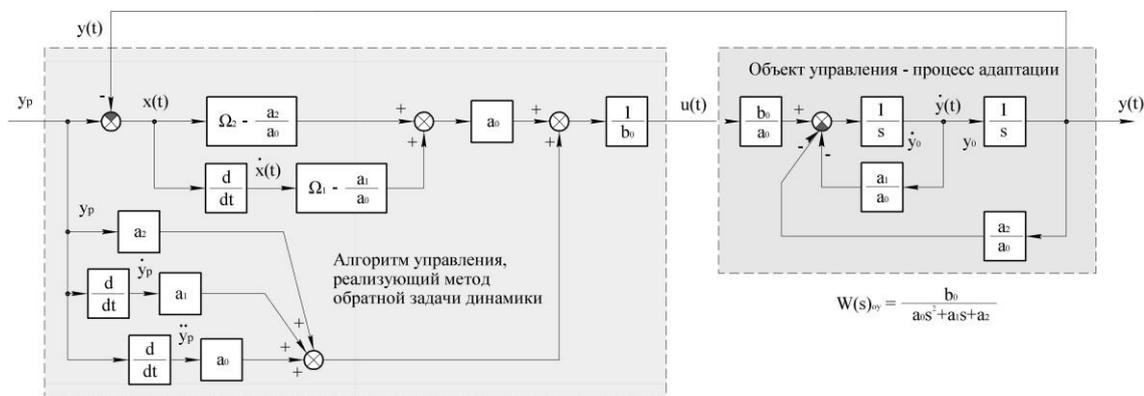


Рис. 1. Структурная схема управления процессом адаптации положения детали при сборке, реализующего метод обратной задачи динамики

Исходным материалом для синтеза параметров алгоритма управления служит желаемый (эталонный) процесс (рис. 2) совмещения деталей при сборке. Желаемый процесс характеризуется начальным рассогласованием деталей при сборке x_0 , допустимым рассогласованием ϵ между деталями и требуемым временем на адаптацию (время на перемещение детали по программной траектории совмещения).

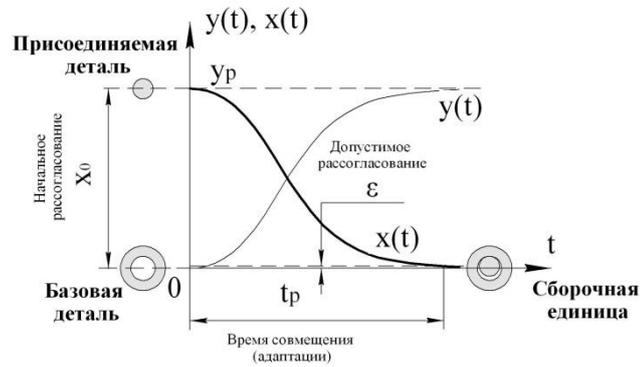


Рис. 2. Желаемый процесс адаптации деталей при сборке

Связь между коэффициентами желаемого уравнения процесса и постоянными времени, величина которых определяет длительность адаптации, может быть выражена следующим образом:

$$\Omega_1 = \frac{2}{T}; \quad \Omega_2 = \frac{1}{T^2}.$$

Корни характеристического уравнения вычисляются:

$$\lambda = \lambda_{1,2} = \frac{(-\Omega_1 \pm \sqrt{\Omega_1^2 - 4\Omega_2})}{2}.$$

Расчет констант

$$C_1 = x_0 = y_p - y_0 \text{ и } C_2 = \dot{x}_0 - \lambda x_0 = -\dot{y}_0 - \lambda(y_p - y_0),$$

определяемых начальным рассогласованием и начальной скоростью детали.

В итоге имеем желаемый закон уменьшения ошибки рассогласования во времени:

$$x(t) = x_0 \left(e^{-t/T} + \frac{t}{T} e^{-t/T} \right). \quad (4)$$

Решая трансцендентное уравнение

$$-\varepsilon + e^{-t_p/T} + \frac{t_p}{T} e^{-t_p/T} = 0,$$

при заданных времени t_p на процесс адаптации и допустимом рассогласовании ε , вычисляем постоянную времени желаемого T процесса.

Таким образом, исходя из требований, предъявляемых к процессу адаптации: начальному рассогласованию между деталями x_0 , конечному допустимому рассогласованию ε (при котором возможна сборка) и времени на адаптацию t_p , выполняется выбор формы желаемого (эталонного) динамического процесса. Затем вычисляется постоянная времени T модели эталонного процесса. Далее рассчитываются параметры алгоритма формирования управляющего воздействия Ω_1, Ω_2 . И, самый ответственный этап – проводится идентификация (распознавание) параметров объекта управления – получение коэффициентов a_0, a_1, a_2, b_0 (аналитическим или экспериментальным путем).

Источники

1. Симаков А.Л. Обоснование методов и средств адаптации соединяемых деталей на базе принципов автоматического управления и выявленных взаимосвязей при автоматизированной сборке: дис. ... д-ра техн. наук. Ковров, 2003. 373 с.
2. Ким Д.П. Теория автоматического управления: учеб. пособие в 2 т. М.: Физматлит, 2007. Т. 2: Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. 440 с.

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ОАО «ЯМАЛ СПГ»

Куклин Павел Андреевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
dwanderer2@gmail.com

В качестве объекта исследования рассматривается процесс механической и химической очистки воды для обеспечения временного жилого городка пресной питьевой водой.

Ключевые слова: АСУТП (автоматизированная система управления технологическим процессом), ВЖК – временный жилой комплекс, SCADA – диспетчерское управление и сбор данных.

DEVELOPMENT OF AUTOMATED WATER TREATMENT PROCESS CONTROL SYSTEM AT YAMAL LNG

Kuklin Pavel Andreevich

Mechanical process is considered as the subject of the study and chemical treatment of water to provide a temporary residential camp with fresh drinking water.

Keywords: APCS (automated process control system), temporary residential complex, SCADA – dispatch control and data collection.

На данный момент на установке механической очистки пресной воды управление технологическим процессом осуществляется вручную оператором станции. В состав существующей системы входят: блочный шкаф управления фирмы Rital с внешним монитором Samsung Led 14d; микроконтроллер Siemens Simatic S7-1200, SCADA система Vin CC.

Недостатками данной системы являются:

- 1) необходимость присутствия оперативного персонала в здании операторной установки очистки воды;
- 2) данная локальная АСУ не интегрирована в единую систему управления временным жилым поселком, нет возможности дистанционного управления и мониторинга состояния контрольно-измерительных приборов.

Целью работы является разработка нового программного обеспечения для автоматизированной системы управления технологическим процессом очистки воды на ОАО «Ямал СПГ» без применения дополнительных технических средств.

Для решения цели необходимо выделить следующие задачи:

1. Вывести 185 аналоговых и 96 дискретных сигналов из контроллера операторной установки очистки воды в центральную операторную временного жилого поселка по интерфейсу Modbus TCP/IP.
2. Изучение существующих программно-технических средств на ОАО «Ямал СПГ» для оценки возможности дальнейшего применения при разработке новой системы.
3. Детальное проектирование и разработка уникальных алгоритмов управления технологическим процессом, создание мнемосхем и рабочего интерфейса программы для оператора.
4. Тестирование и доработка программного обеспечения.

Решение поставленных задач. Между зданиями операторной установки очистки воды и центральной контроллерной станцией уже прокинут и заведен в кросс оптический кабель связи NHXCH FE180 / E90, за счет чего обеспечена связь между системами. В здании центральной операторной ВЖК используется полноценный комплекс АСУ Yokogawa Stardom с 4 авто-матизированными рабочими станциями операторов и комплексом кросс шкафов, микроконтроллер FCN-RTU, Сервер FAST/TOOLS, и инженерной станции инженера АСУ. Разработка новой АСУ будет осуществляться с станции инженера АСУ, она представляет собой персональный компьютер с характеристиками процессор процессор Intel Core i7-970, Плата ASUS LGA1366 Rampage III Extreme X58/ICH10R, память DDR3 2048MBx2 1600MHz, жесткий диск 1Tb Seagate Barracuda 7200.12, блок питания FSP 900W

Проектирование новой системы управления осуществляется в программном пакете Logic Designer. Проект представлен в виде древовидной структуры и включает в себя библиотеки (libraries), логические программные единицы (logical POU), оборудование (physical hardware). Первым шагом для создания проекта является загрузка необходимых библиотек от производителя программно-логического контроллера, в данном случае это Yokogawa STARDOM. Logical POU – это основные программные единицы, которые представляют из себя законченные фрагменты программы, подпрограммы или функции; Physical hardware (оборудование, содержит основную информацию о проекте: тип и IP-адрес контроллера; исполняемые задачи, состоящие из набора логических POU; переменные ввода/вывода; глобальные переменные. При создании POU выбрал следующие языки программирования: язык структурированного текста ST; язык инструкций IL; язык функциональных блоков FBD; язык лестничных диаграмм LD; язык структурных схем последовательности SFC. После создания кода в программе провел конфигурирование аппаратных средств при помощи утилиты «Resource Configurator Editor», задал IP адрес контроллера, определил метки для переменных ввода/вывода, провел компиляцию программы.

Вывод. В ходе процессе работы был разработано программное обеспечение, состоящее из графической и логической части. Логическая часть в свою очередь состоит из персональных функциональных блоков. Каждый блок состоит из массива данных и чувствует в процессе управления работой различных элементов системы управления.

Источники

1. Мельцер М.И. Разработка алгоритмов АСУП. М.: Статистика, 2014. 240 с.
2. «Сетевая система управления STARDOM» [Электронный ресурс]
URL: <http://www.yokogawa.ru/upload/iblock/57d/57d7ca13e0637d0e9839fb5c769d5f4e.pdf> (дата обращения: 11.05.2019).

УДК 621.317.422

СИСТЕМА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА В ПРИБОРЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Цыбрий Ирина Константиновна¹, Симоненко Николай Игоревич²

¹Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

²ООО «Корвита», г. Ростов-на-Дону

¹irconst@mail.ru, ²nick.1984@mail.ru

В статье рассмотрен модуль предварительной обработки измерительного сигнала в приборе для контроля коэрцитивной силы твердых сплавов. Приведено описание структуры исследуемого модуля, а также представлены осциллограммы результатов работы блока.

Ключевые слова: коэрцитивная сила, неразрушающий контроль качества, твердые сплавы

SIGNAL PRE-PROCESSING SYSTEM IN THE INSTRUMENT FOR CONTROL OF COERCITIVE FORCE OF HARD ALLOYS

Tsybrii Irina Konstantinovna, Simonenko Nikolai Igorevich

The article considers the module for preliminary processing of the measuring signal in the device for monitoring the coercive force of solid alloys. The structure of the module under study is described, as well as oscillograms of the research results.

Keywords: coercive force, non-destructive quality control, solid alloys

Спеченные твердые сплавы благодаря высокой твердости и износостойкости широко применяются во всех отраслях промышленности для обработки материалов резанием, оснащения горного инструмента,

штампов, инструмента для волочения, калибровки, прессования и др. Основным методом неразрушающего контроля качества изделий из твердых сплавов является измерение коэрцитивной силы, которая для сплавов одной марки определяется в первую очередь средним размером зерен карбидной фазы.

В работах [1] и [2] описаны принцип действия и структура прибора, позволяющего определять коэрцитивную силу партии однотипных твердосплавных изделий путем сравнения с известной коэрцитивной силой контрольного изделия.

На рис. 1 представлена обобщенная структурная схема устройства. Основу измерительной системы составляет феррозонд [3] – полый соленоид L1 с вводимыми в него измерительной и балансной катушками индуктивности L2 и L3. Внутри катушки L2 помещают измеряемый образец, а на соленоид L1 подают переменное напряжение 220 В (или 350 В) 50 Гц. Для вычисления коэрцитивной силы осуществляется предварительная настройка прибора: в измерительную катушку помещают контрольный образец с заведомо известной коэрцитивной силой, которую вводят в память прибора вручную. Результат измерения получают как функцию напряжений, снятых с феррозонда для обоих образцов, предварительно преобразованных в цифровые отсчеты. Устройство управления УУ позволяет осуществлять ручной ввод команд и автоматизирует процесс измерений. Измерительный модуль представляет собой микропроцессорную систему, имеющую в своем составе также запоминающее устройство и АЦП.

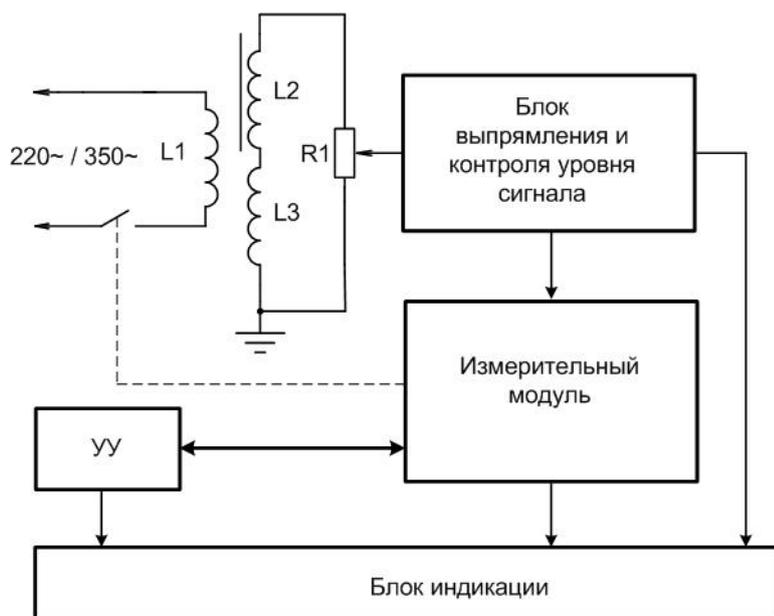


Рис. 1. Структурная схема прибора для измерения коэрцитивной силы

Перед цифровой обработкой измерительного сигнала, его необходимо подготовить: исключить из сигнала отрицательную составляющую, повысить информативность сигнала и нормировать его по амплитуде для предотвращения выхода из строя АЦП и искажения результатов. Для этого в состав прибора включен модуль выпрямления и контроля уровня сигнала; его схемотехника является аналоговой и не включает в себя цифровые решения.

Структурная схема блока выпрямления и контроля уровня сигнала представлена на рис. 2.

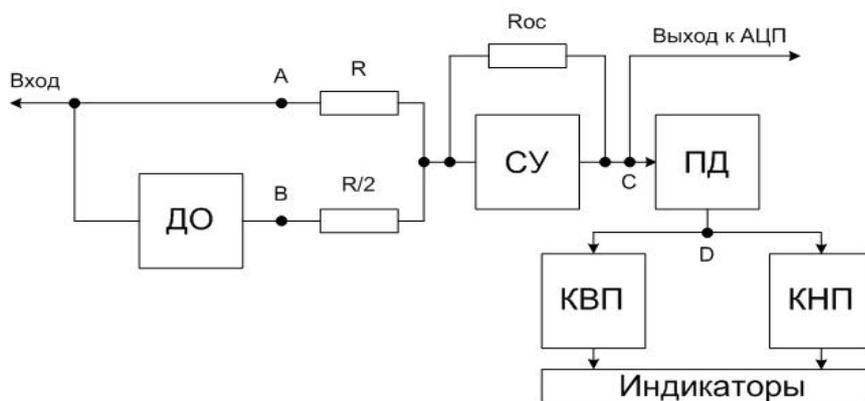


Рис. 2. Структурная схема блока выпрямления и контроля уровня сигнала

В состав модуля входят следующие блоки: диодный ограничитель ДО, суммирующий усилитель СУ, пиковый детектор ПД, компаратор верхнего предела КВП и компаратор нижнего предела КНП, а также индикаторы.

Диодный ограничитель [4] и суммирующий усилитель [5] позволяют выпрямить измерительный сигнал – инвертировать отрицательную составляющую напряжения, поэтому данное устройство называют также схемой выделения модуля. Из рис. 3 можно понять принцип выделения модуля сигнала. В точке A напряжение соответствует входному. В точке B диодный ограничитель не пропускает положительную составляющую сигнала.

Суммирующий усилитель является также и инвертирующим, а правильно подобранные резисторы в схеме позволяют сформировать на выходе C блока сумму напряжений из точек A и B в соответствии с формулой:

$$U_{(C)} = -R_{oc} \cdot \left(\frac{U_{(A)}}{R} + \frac{-U_{(A)}}{R/2} \right) = |U_{(A)}|$$

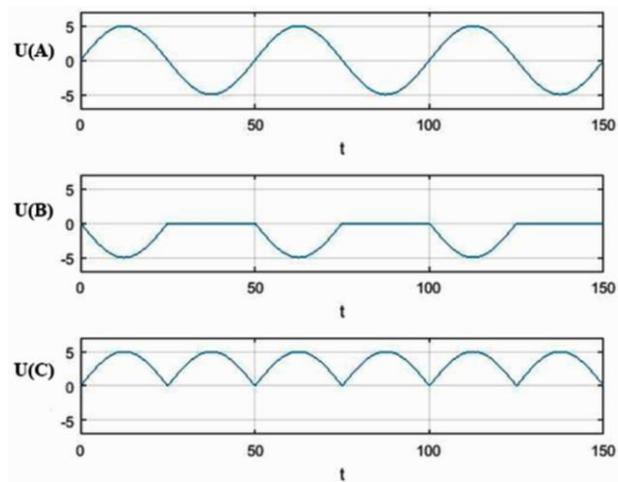


Рис. 3. Напряжение в точках *A*, *B* и *C* модуля выпрямления сигнала

На рис. 4 представлена осциллограмма измерительного сигнала на входе устройства и выходе суммирующего усилителя. На входе *A* блока присутствует напряжение с феррозонда, в котором присутствует как положительная, так и отрицательная составляющая. На выходе *C* блока (осциллограмма с высоким контрастом) – модуль входного напряжения. Такое преобразование позволяет точнее обрабатывать измерительный сигнал микропроцессорной системой.

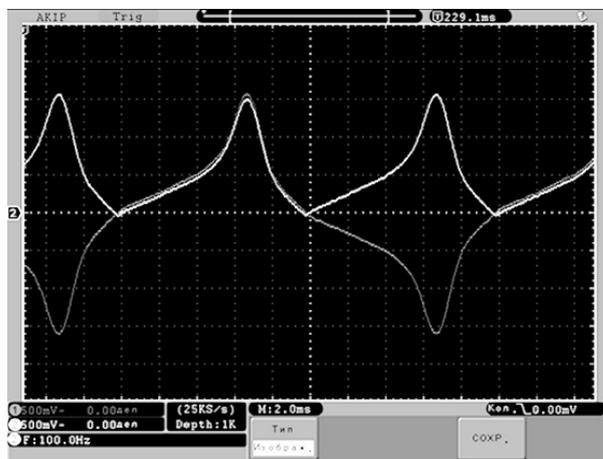


Рис. 4. Осциллограммы измерительного сигнала до и после выпрямления

Блок контроля уровня сигнала позволяет визуально отслеживать неприемлемые уровни амплитуды измерительного сигнала, способные негативно повлиять на оборудование или результаты измерений.

Регулирование уровня сигнала осуществляется резистором *I* (см. рис. 1), а пиковый детектор [6] сглаживает пульсации входного сигнала с точностью достаточной для адекватного контроля его уровня.

Сглаживание пульсаций необходимо для адекватной работы двух компараторов, которые настроены таким образом, что первый из них подает сигнал о превышении верхнего порога напряжения, а второй – о снижении амплитуды сигнала до приемлемого уровня. На рис. 5 представлены осциллограммы результата работы блока контроля уровня сигнала. Здесь видно, что форма результирующего напряжения является огибающей напряжения, поданного на вход модуля.

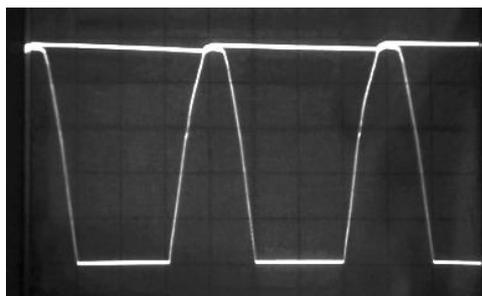


Рис. 5. Осциллограммы результата работы блока контроля уровня сигнала

Таким образом, аналоговый модуль позволяет выпрямить измерительный сигнал для исключения из него отрицательной составляющей и повышения точности математической обработки, а также осуществлять визуальный контроль при масштабировании измерительного сигнала.

Источники

1. Симоненко Н.И., Цыбрий И.К. Испытательный стенд для измерения магнитных характеристик твердых сплавов // *Фундаментальные основы, теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: матер. 19-й Междунар. молод. науч.-практ. конф.* Новочеркасск, 2018. С. 127–131.

2. Цыбрий И.К., Симоненко Н.И., Богданов И.Н. Система цифровой обработки сигнала в приборе для определения коэрцитивной силы твердых сплавов // *Трансформация мирового научно-технического знания : сб. науч. тр. / под общ. ред. Е.П. Ткачевой.* Белгород, 2018. С. 117–120.

3. Кифер И.И. Испытания ферромагнитных материалов. 3-е изд. М.: Энергия, 1969. 360 с.

4. Достал И. Операционные усилители / пер. с англ. Б.Н. Бронина. М.: Мир, 1982. 512 с.

5. Картер Б. Операционные усилители для всех / пер. с англ. А.Н. Рабодзея. М.: Додэка-XXI, 2011. 509 с.

6. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. 5-е изд. перераб. М.: Мир, 1998. 359 с.

Секция 2. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В ТЭК И ЖКХ

УДК 621.316.1

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Авдеева Варвара Юрьевна¹, Валиуллина Дилия Мансуровна²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹arya_avdeeva@mail.ru, ²valiullinadiliya@mail.ru

Рассмотрены вопросы, которые зависят от показателя электрической энергии в распределительных сетях. Представлены возможные методы для снижения потерь электроэнергии.

Ключевые слова: электрическая энергия, потери, экономичность, эффективность, учёт электроэнергии, себестоимость, напряжение, компенсация.

MEASURES TO REDUCE ELECTRICAL ENERGY LOSSES IN DISTRIBUTION NETWORKS

Avdeeva Varvara Yurievna, Valiullina Dilia Mansurovna

Issues that depend on electric energy index are considered in distribution networks. Possible methods for reducing power losses are presented.

Keywords: electrical energy, losses, economy, efficiency, accounting of electricity, cost, voltage, compensation.

Потери электрической энергии в сетях являются важнейшим показателем их экономичности, эффективности работы энергопередающей компании, состояния системы учета электроэнергии. Эта величина указывает на появляющиеся проблемы в области развития, реконструкции, повышения точности учета электроэнергии, улучшения методов их управления и эксплуатации.

От коэффициента потерь электроэнергии зависят:

- себестоимость передачи и распределения энергии [1];
- напряжение сети в режиме максимальных нагрузок в наиболее удаленной точке;
- степень отклонения от оптимального режима работы сети [2];
- степень полезного использования отпущенной электроэнергии;
- размер розничных тарифов на электроэнергию.

Следовательно для снижения потерь электроэнергии необходимо применить такие методы, как:

- налаживание учета выработки и потребления электроэнергии;
- повышение класса напряжения электрической сети с учётом повышения нагрузок;
- компенсация реактивной мощности для снижения потерь энергии;
- замена проводов на головных участках сети;
- внедрение современного оборудования, автоматизации и дистанционного управления;
- снижение расхода электрической энергии на «собственные нужды» электроустановок.

Уменьшение показателя электрической энергии достигается только с помощью целенаправленных мероприятий на определенные появившиеся нарушения [3]. Критерием эффективности данных мероприятий надежное, качественное и экономичное электроснабжение потребителей, которое обеспечивается при нормативном значении потерь электроэнергии на ее передачу и распределение. Естественно, чтобы правильно оценить величину потерь, проанализировать и принять нужные меры, необходима объективная информация о работе устройств в распределительных сетях, в первую очередь об использовании мощности трансформаторов. Чтобы получить такие данные необходима современная измерительная техника и компьютеры с внедрением телеметрии в этих сетях [4].

Источники

1. Бохмат И.С, Воротницкий В.Э., Татаринов Е.П. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах // Электрические станции. 1998. № 9.
2. Дерзкий В.Г., Скиба В.Ф. Обоснование уровня нормативных потерь электроэнергии в распределительных сетях // Энергетические сети и системы. 2007. № 6.
3. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. М.: Энергоатомиздат, 1989. 172 с.
4. Овчинников А.А. Потери электроэнергии в распределительных сетях [Электронный ресурс] // Новости электротехники. 2002. № 6 (18). URL: http://news.elteh.ru/arh/2003/18_19/ (дата обращения: 14.06.2019).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ НА ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООБМЕНА В НИХ

Акопов Владимир Сергеевич¹, Салова Ирина Александровна²
ФГАОУ ВО ГУАП, г. Санкт-Петербург
¹vakopov@yandex.ru, ²salova_irine@mail.ru

В работе проведен анализ и получены характеристики процесса нагревания воды в полипропиленовой трубе с помощью саморегулирующегося кабеля в условиях различных температур окружающей среды.

Ключевые слова: теплообмен, саморегулирующийся греющий кабель, полипропиленовые трубы, моделирование, метод конечных элементов.

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF THE WATER PIPES MATERIAL ON THE HEAT EXCHANGE PROCESSES IN THEM

Akopov Vladimir Sergeevich , Salova Irina Alexandrovna

The work analyzed and obtained the characteristics of the process of heating water in the polypropylene pipe with the help of a self-regulating cable in different environmental temperatures.

Keywords: heat exchange, self-regulating heating cable, polypropylene water pipes, simulation, finite element method.

Анализ основных качественных характеристик водопроводных труб показывает, что основными конкурентами в плане практического реального использования являются стальные и полипропиленовые трубы. С развитием современных технологий в строительстве, традиционные стальные водопроводные системы постепенно вытесняются трубопроводами из полимерных материалов.

В связи с этим предлагаемая публикация посвящена анализу процессов теплообмена в полипропиленовых трубах при обогреве их извне с помощью саморегулирующегося кабеля, как это показано в [1]. Оценка возможности термозащиты воды от замерзания в этих трубопроводах проводится путем моделирования тепловых процессов в трубах наружной части водопроводной системы.

Для моделирования выбран метод конечных элементов, реализованный в программном комплексе ELCUT[2]. Исследования процессов изменения температуры выполнялись для полипропиленовых водопроводных труб сечением 20 мм.

На рис. 1 представлена геометрическая модель, на которой приняты следующие обозначения: 1 – вода; 2 – труба; 3 – саморегулирующийся греющий кабель VC-F [1, 2]; 4 – контур задания граничных условий; 5, 6 – контуры для определения температуры по соответствующим сечениям.

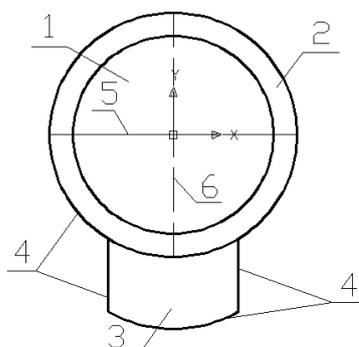


Рис. 1. Геометрическая модель трубы с греющим кабелем

Для моделирования в ELCUT необходимо задать свойства кабеля, трубы и воды, а также на границе 4 задать температуру окружающей среды T_n и коэффициент конвекции α . Для VC-F кабеля задается удельная плотность $\rho = 2163 \text{ кг/м}^3$, удельная теплопроводность $\lambda = 0,25 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°К)}$, теплоемкость $C_p = 750 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°К)}$, а также зависимость линейной мощности P (на 1 м длины) кабеля от температуры [1]. Для полипропиленовой трубы приняты следующие свойства материала: удельная плотность $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, удельная теплопроводность $\lambda = 0,22 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°К)}$, теплоемкость $C_p = 1930 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°К)}$. Для воды перечисленные свойства зависят от текущего значения температуры. Эти зависимости приведены в [1]. В модели пренебрегаем тепловыми потерями за счет лучистой теплоотдачи, которая зависит от температуры воздуха и температуры поверхности трубы, а также от степени черноты поверхности трубы.

Полученные в процессе исследований характеристики процесса нагревания воды от температуры показаны ниже на рис. 2–4. Анализ материалов исследований, приведенных на этих рисунках, позволяет сделать следующие выводы:

- температурный градиент при обогреве полипропиленовой трубы с водой в ее центре составляет 0,0166 град/с;
- полипропиленовая труба с достаточной эффективностью может быть защищена системой тепловой защиты водопроводной воды от замерзания с помощью саморегулирующихся нагревательных кабелей.

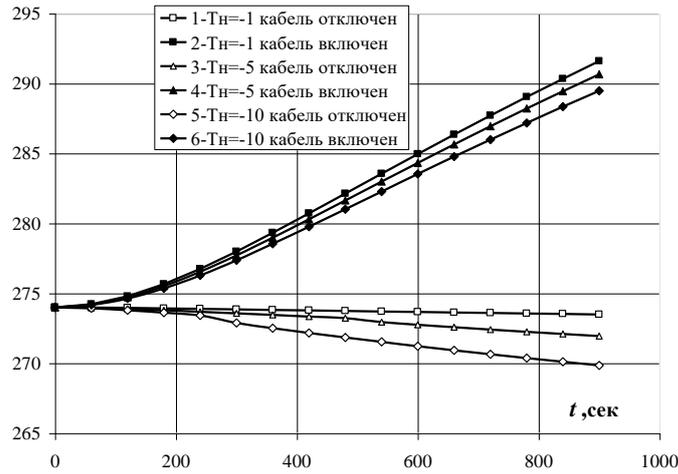


Рис. 2. Динамика изменения температуры воды в центре полипропиленового трубопровода при различных температурах T_n наружной среды

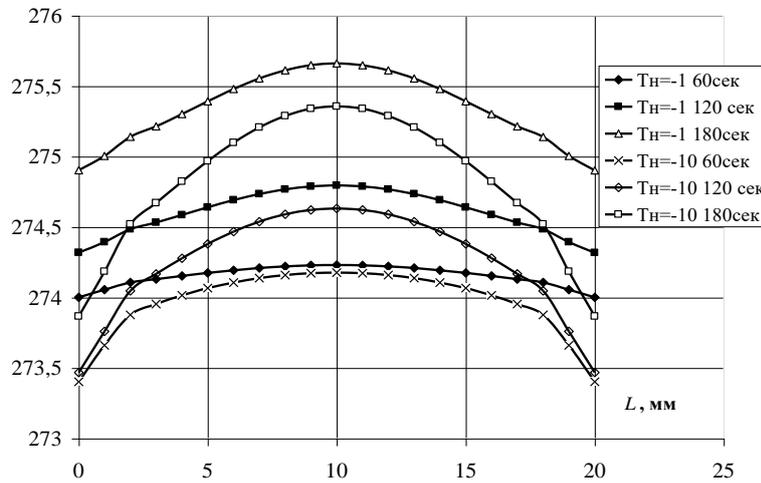


Рис. 3. Распределение температуры для полипропиленовой трубы вдоль контура 5 в зависимости от T_n и времени нагрева

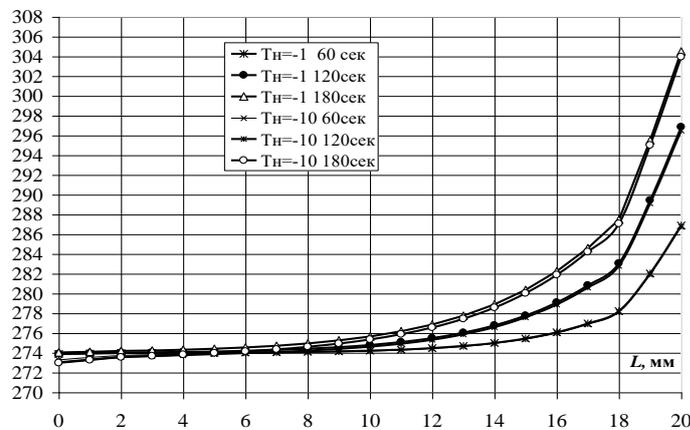


Рис. 4. Распределение температуры в полипропиленовой трубе вдоль контура 6 (сверху – вниз) в зависимости от T_n и времени нагрева

Источники

1. Акопов В.С., Салова И.А. Моделирование противооблуденительной системы методом конечных элементов // Завалишинские чтения – 2016: сб. тр. СПб., 2016. С. 16–20.

2. ELCUT v.6.0. Комплекс программ для моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач: руководство пользователя. СПб.: Производственный кооператив ТОР, 2014.

3. «HLLe2-CF. Саморегулирующаяся нагревательная лента в оболочке из фторполимера мощностью 31 Вт/м» [Электронный ресурс]. URL: <http://alfaopt.alloy.ru/product/sistema-videonablyudeniya/hlle2cf-camoregulyuyushaya-nagrevatel'naya-lent-9818682/> (дата обращения: 27.09.2019).

УДК 621.317.7

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Альзаккар Ахмад¹, Фуад Алхадж Хассан²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹Ahmadalzakkar86@gmail.com, ²Fouadhajjhassan42@gmail.com

Рассмотрена проблема ухудшения показателей качества электроэнергии в питающих сетях (по ГОСТ 32144) [1], вносимые электроустановками с цифровыми блоками питания (ЦБП), в частности от системных блоков компьютеров и светодиодных ламп различных типов и технических характеристик.

Ключевые слова: показатель качества электроэнергии, цифровой блок питания, светодиодная лампа, высшие гармоники.

STUDIES ON THE IMPACT OF NON-TRADITIONAL POWER SUPPLIES ON INDICATORS ELECTRIC POWER QUALITY

Ahmad Alzakkar, Alhaj Hassan Fuad

The problem of deterioration of electric power quality indicators is considered in supply networks (as per GOST 32144) [1], introduced by electrical installations with digital power supply units (DPU), in particular from system units of computers and light-diode lamps of various types and technical characteristics.

Keywords: energy quality indicator, digital power supply unit, LED lamp, higher harmonics.

На рис. 1 приведена [2] классическая структурная схема импульсного источника питания с мостовым выпрямителем и входной емкостью.

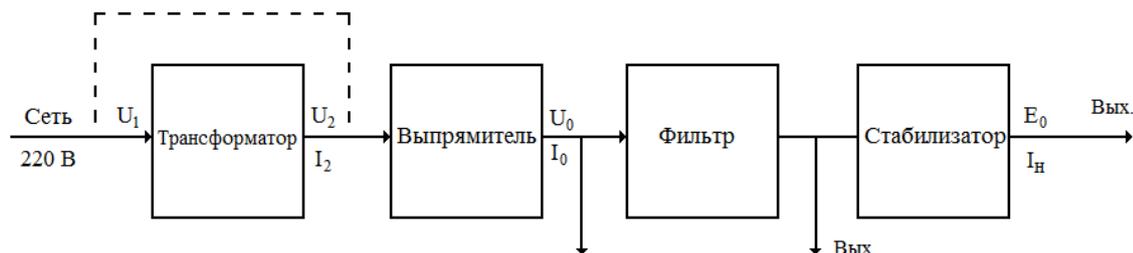


Рис. 1. Структурная схема импульсного источника питания

На рис. 2 представлена [3] осциллограмма тока потребления светодиодных ламп с разными драйверами промышленного производства.

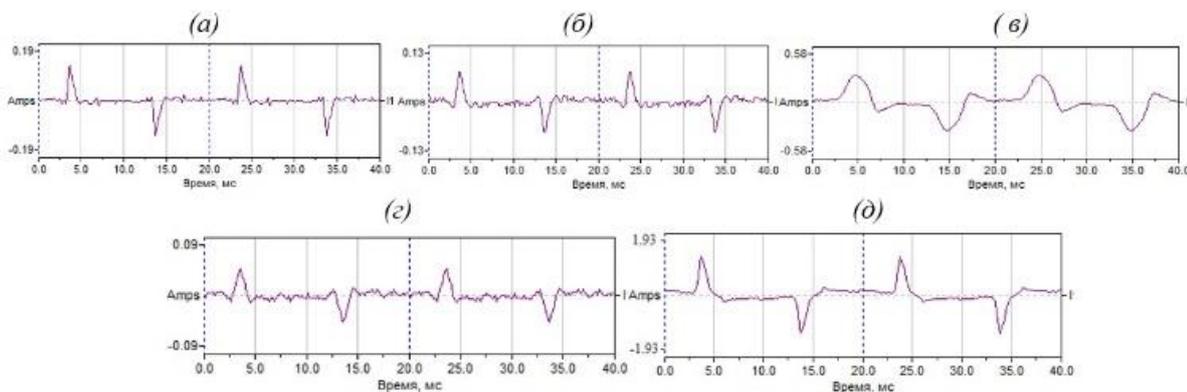


Рис. 2. Осциллограмма тока потребления светодиодных ламп: *а* – ЭРА 8 Вт; *б* – Philips 7 Вт; *в* – iЕК 10 Вт; *г* – Osram 8 Вт; *д* – всех ламп

Из осциллограммы видно, что ток потребления представляет периодическую несинусоидальную функцию.

Сравнительный значения гармонических составляющих напряжений

Типы приборов	Гармонический состав напряжения (в % к фазному току)						
	3	5	7	9	11	13	THD _U (%)
Osram 4 Вт	1,7	0,7	0,2	0,8	0,2	0	2,1
Osram 6 Вт	1,8	0,7	0,4	0,9	0	0,2	2,3
Osram 8 Вт	0,5	0,8	0,5	0	0	0,3	1,2
Osram 10 Вт	1,6	0,3	0,5	0,8	0	0,5	2
Phillips 4 Вт	1,5	0,8	0,2	0,3	0	0,1	1,21
Phillips 5 Вт	1,4	0,9	0	0	0	0	0,95
Phillips 7 Вт	2	0,5	0,3	0	0	0	1,2

Результаты измерения тока в нулевом и фазном проводе

Типы приборов	Значения измерения тока в проводе		Соотношение I_0/I_Φ
	нулевым	фазном	
Osram 4 Вт	0,004	0,011	0,40
Osram 6 Вт	0,009	0,023	0,38
Osram 8 Вт	0,007	0,041	0,18
Phillips 4 Вт	0,002	0,027	0,06
Phillips 5 Вт	0,002	0,032	0,07
Phillips 7 Вт	0,003	0,039	0,07

Рекомендовано, чтобы в электрических сетях, имеющих [4] светодиодные лампы различных типов и технических характеристик был произведен выбор соответствующего фильтра по поддержанию качества электроэнергии и надежности систем электроснабжения [5].

Показано, что коэффициент искажения синусоидальности кривой тока превышает допустимый стандарт ГОСТ 32144 [1], даже с полностью симметричными нагрузками. Это явление приводит к значительному увеличению активных потерь по сравнению с использованием идеального синусоидального режима. Кроме того, обнаружено появление четных гармонических составляющих от светодиодных ламп различной мощности и фирм, что приводит к существенному росту тока в нулевом проводе.

Источники

1. ГОСТ 32144-2013. Нормы качественной электрической энергии в системах общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.
2. A Single-Stage Single-Switch LED Driver Based on Class-E Converter / Yijie Wang [et al.] // IEEE Transactions on Industry Applications. 2016. Vol. 52, Is. 3. Pp. 2618–2626.
3. Власов А.Б., Ремезовский В.М., Мухалев В.А. Контроль качества электрической энергии на подстанциях морского порта // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология, № 1, с. 108-115, Февраль. 2017.
4. Дубинин В.В., Попов А.Н. Контроль показателей качества электроэнергии в промышленных электрических сетях // Ползуновский Вестник. 2013. № 4-2. С. 66–71.
5. Анализ факторов разнесения, применяемых к ограничениям гармонической эмиссии для энергосберегающих ламп / В. Кук [и др.] // Матер. 14-й Междунар. конф. по гармонизации и качеству энергии. 2010. С. 1–6.

ВИДЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА И ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Анисимов Владислав Александрович¹, Валиуллина Диля Мансуровна²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹va_anisimov77@mail.ru, ²valiullinadiliya@mail.ru

В тезисе изложено общее представление о наиболее широко используемых и инновационных методах диагностики и контроля технического состояния силовых трансформаторов и трансформаторного масла, их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: силовой трансформатор, трансформаторное масло, вибрационная диагностика, хроматографический анализ, тепловизионный контроль.

TYPES OF CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE TRANSFORMER AND TRANSFORMER OIL

Anisimov Vladislav Aleksandrovich, Valiullina Diliya Mansurovna

The thesis outlines a general idea of the most widely used and innovative methods for diagnosing and monitoring the technical condition of power transformers and transformer oil, their advantages and disadvantages.

Keywords: power transformer, transformer oil, vibration diagnostics, chromatographic analysis, thermal imaging control.

В число основных методов диагностики силовых трансформаторов под рабочим напряжением входят:

- хроматографический анализ масла;
- тепловизионное обследование;
- измерение частичных разрядов;
- контроль влажности и температуры в трансформаторе;
- измерение вибропараметров;
- метод флуоресцентной спектроскопии;
- спектрофотометрия и флуометрия;
- фото-акустическая спектроскопия.

Порядок выполнения работ следующий:

- отбор масла из бака трансформатора;
- тепловизионное обследование узлов трансформатора;
- измерение частичных разрядов в нулевом проводе трансформатора;

- измерение частичных разрядов акустическим методом;
- измерение вибрационных характеристик;
- анализ результатов измерений и экспертиза технического состояния;
- оформление технического отчета.

Хроматографический анализ – один из методов оценки технического состояния силового трансформатора на основании анализа его масла. Современные средства позволяют вести мониторинг без привлечения специального оборудования. Приборы выполняют отбор проб непрерывно, что дает возможность проследить за развитием дефектов и вовремя принять соответствующие меры [1].

Для характеризования определенных дефектов в силовых трансформаторах, анализируют масло на содержание следующих газов: водород H_2 , кислород O_2 , азот N_2 , ацетилен C_2H_2 , этан C_2H_6 , метан CH_4 , этилен C_2H_4 , окись СО и двуокись CO_2 углерода.

При использовании хроматографического анализа, испытаниям подлежат следующие показатели масла:

- цвет, прозрачность, запах;
- наличие газовых фракций, вкраплений воды;
- диэлектрическая проницаемость;
- тангенс угла диэлектрических потерь;
- степень кислотности, вязкости;
- способность к окислительным реакциям;
- электрическая прочность;
- глубина полимеризации;
- износ металла.

Выявление мелкодисперсных абразивных загрязнителей, полихлорированных бифенилов. Цель тепловизионного контроля – выявления локальных дефектов с помощью тепловизора, что позволит сократить объем, сроки и стоимость ремонтных работ, увеличить межремонтные сроки, повысить безопасность и надежность работы электрооборудования. Контроль проводится высокоточным профессиональным тепловизором со специализированным программным обеспечением для обработки полученной информации [2].

В первую очередь на неравномерность тепловых свойств объекта оказывают влияние такие факторы как:

- теплопроводность материала объекта контроля;
- неоднородность плотности материала, наличие механических повреждений (сколов, трещин, щелей) в материале;

- недостаточное количество или низкое качество теплоизоляционного материала;
- электрическое сопротивление материала в случае токопроводящих объектов;
- наличие (отсутствие) источников тепла внутри (около) анализируемого объекта;
- повышенная влажность материала.

Вибрационная диагностика – метод диагностирования технического оборудования, основанный на анализе параметров вибрации, либо создаваемой работающим оборудованием, либо являющейся вторичной вибрацией.

Важным достоинством применения вибрационных диагностических методов является возможность проведения технической оценки качества прессовки обмоток и магнитопровода трансформатора. Вибрационный метод является одним из немногих, позволяющим проводить диагностическое обследование в процессе работы трансформатора [3].

При проведении вибрационной диагностики состояния трансформаторов следует учитывать, что из-за различных конструктивных особенностей вибрационные процессы, происходящие на поверхности бака, в различной степени связаны с дефектами состояния, особенно если они имеют место во внутренних элементах трансформатора, таких как обмотка, магнитопровод, или в устройстве РПН.

Использование методов контроля технического состояния силовых трансформаторов и дальнейшее их совершенствование, позволяет достичь следующих результатов:

- предотвратить сотни аварий;
- сэкономить средства;
- обеспечить энергетическую безопасность;
- повысить надёжность работы сетей.

Источники

1. Чупак Т.М., Южанников А.Ю. Оценка состояния трансформатора на основе золотого сечения // Фундаментальные исследования. 2016. № 9. С. 81–82.

2. Альмухаметов И.И., Давиденко И.В. Исследование взаимного влияния параметров трансформаторного масла // Тр. 1-й науч.-техн. конф. молодых ученых Уральского энергетического института. Екатеринбург, 2016. С. 167–170.

3. Львов, М.Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше // Электричество. 2010. № 2. С. 27–31.

4. Высокогорец С.П. Разработка новых методов и алгоритма оценки качества эксплуатационных масел силовых трансформаторов напряжением 35–110 кВ: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2012. 17 с.

УДК 621-313

ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩЕЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СТАНКОВ-КАЧАЛОК НЕФТИ

Артыкаева Эльмира Мидхатовна
ГБОУ ВО «АГНИ», г. Альметьевск
85elmira@bk.ru

В статье дается сравнительный анализ нескольких видов электроприводов а базе вентильных магнитоэлектрических двигателей взамен традиционных асинхронных двигателей. Показаны преимущества применение таких приводов и их энергетическая эффективность.

Ключевые слова: нефтедобыча, станки-качалки нефти, линейный двигатель.

ENERGY POWER OF OIL PRODUCTION PUMPING

Artukaeva Elmira Midhatovna

There is comparative analysis of several types of electric valve on the basis of magneto-electric engines instead of traditional asynchronous motors. The advantages of using such drives and their energy efficiency.

Keywords: oil production, conventional pumping unit, linear motor.

Значительный объем отечественной нефтедобычи осуществляется с помощью станков-качалок нефти (СКН). Простота обслуживания и надежность СКН, также возможность их применения в осложненных горно-геологических условиях вывели этот способ добычи на ведущее место в нефтедобывающей отрасли. В СКН используется насос возвратно-поступательного действия, приводимый в движение электроприводом на базе асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором. Современные требования энергосбережения делают актуальными задачи улучшения энергетических характеристик и эффективности нефтедобывающего оборудования.

При анализе энергоэффективности привода необходимо учитывать характер нагрузки в течение различных промежутков времени, составляющих полный цикл (период) работы станка-качалки, характеризующийся динамограммой. Из рассмотрения динамограммы следует, что нагрузка электродвигателя привода станка-качалки в течении цикла изменяется в 4-5 раз. Однако АД с короткозамкнутым ротором имеют перегрузочную способность, как правило, не превышающую 2,5 от номинального момента. С учетом этого обстоятельства на практике приходится выбирать АД повышенной мощности.

Исследования авторов [1] показывают, что более эффективным электроприводом станков-качалок нефти является электропривод на базе вентильного двигателя с постоянными магнитами на роторе, что особенно актуально для приводов малodeбитных скважин. Это обстоятельство объясняется тем, что вентильный двигатель, в сравнении с асинхронным двигателем, имеет значительно большую перегрузочную способность: $M_{\max} = (5-10)M_{\text{ном}}$, более высокий КПД и меньшие потери холостого хода. При современных ценах на электроэнергию применение регулируемого электропривода на базе вентильного электродвигателя дает экономию электроэнергии, которая как показывают расчеты, покрывает первичные затраты. Стоимость вентильного двигателя мощностью до 10 кВт на порядок, а иногда и на два порядка (в совокупности с электроприводом может быть и больше) превышает стоимость соответственно необходимого для СКН АД с короткозамкнутым ротором.

Другим способом повышения эффективности работы электрооборудования скважин, оснащенных станками-качалками, является замена вращающихся электродвигателей вентильными электродвигателями линейного типа, в которых подвижная часть оснащена постоянными магнитами кольцевой формы, и совершает возвратно-поступательные движения. В этом случае упрощается кинематическая схема, так как появляется возможность создания механизма СКН без редуктора. Конструктивно линейный вентильный электродвигатель (см. рисунок) представляет собой цилиндрическую модульную систему, в которой используются сосредоточенные катушечные обмотки кольцевой формы. В целях повышения напряжения и снижения потребляемого тока в этой конструкции отдельные модули соединяются последовательно. Такое соединение не только позволяет экономить расход меди, но и создает возможность увеличения длины хода подвижной части электродвигателя.

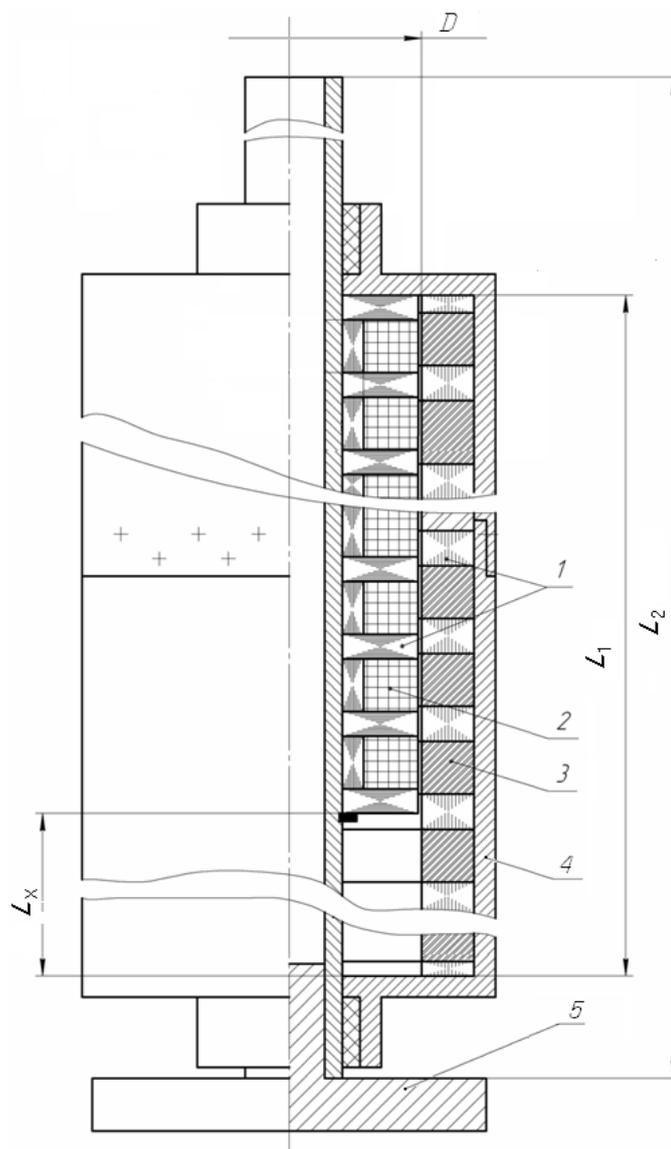


Рис. 1. Конструкция линейного вентильного двигателя: 1- магнитопроводы ротора и статора; 2 – обмотка статора; 3 – постоянный магнит; 4 – ротор; 5 – фланец статора

В последние годы в печати появилась информация об эффективном применении обмоток типа «Славянка» в высоковольтных двигателях большой мощности [2]. Обмотка типа «Славянка» состоит из двух частей, имеющих общие зажимы, и соединенных параллельно. При этом фазы одной ее части соединены в треугольник, а другой – в звезду. Преимущество от применения обмотки типа «Славянка» заключается в том, что по сравнению с обычной обмоткой снижается количество высших гармоник, приближая кривую ЭДС к синусоиде.

Эффективность ее применения особенно выражена для асинхронных двигателей, тогда как в вентильных двигателях применение целесообразно лишь для обмоток с укороченным шагом.

Источники

1. Артыкаева Э.М., Генин В.С., Нестерин В.А. Перспективы повышения энергоэффективности нефтедобывающих штанговых насосных установок // Электротехника. 2011. № 10. С. 2–7.

2. Kasten H., Hofmann W. Electrical machines with higher efficiency through combined star-delta windings // 2011 IEEE International Electric Machines & Drives Conference. 2011. Pp. 1374–1379.

3. Проектирование электрических машин: учеб. для вузов / под ред. И.В. Копылова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 496 с.

УДК 621.313

ПРИМЕНЕНИЕ НЕОДИМОВЫХ МАГНИТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Афанасьев Анатолий Юрьевич¹, Морозов Дмитрий Сергеевич²

ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

¹afanasiev_eo@mail.ru, ²morozov-d97@mail.ru

В статье показаны применения и перспективы использования неодимовых магнитов в электродвигателях. Приведены сведения о характеристиках данных неодимовых магнитов и их сравнение с другими видами магнитов. Описана технология изготовления неодимовых магнитов.

Ключевые слова: неодимовые магниты, коэрцитивная сила, электродвигатель, магнитодвижущая сила.

APPLICATION OF NEODIUM MAGNETS FOR ELECTRIC MOTORS

Afanasyev Anatoly Yuryevich, Morozov Dmitry Sergeevich

The article shows the use and prospects for the use of neodymium magnets for electric motors. Information about characteristics of these magnets and their comparison is given. The technology of manufacturing neodymium magnets is described.

Keywords: neodymium magnets, coercive force, electric motor, magnetomotive force.

Одним из основных способов возбуждения электрических двигателей является использование постоянных магнитов, среди которых различают ферритовые (выполненные из ферритов – соединений оксида железа Fe_2O_3 с основными оксидами других металлов, например, барием

Ва или стронцием Sr), редкоземельные магниты (из редкоземельных элементов: неодима Nd или самария Sm), литые магниты (из сплавов металлов), полимерные магниты и др.

В настоящее время в конструкции электродвигателя широко применяются неодимовые магниты, химическая формула которых следующая: $Nd_2Fe_{14}B$ (сплав неодим-железо-бор). Важнейшими достоинствами таких магнитов являются высокие показатели следующих характеристик: B_r , H_c , H_{cmax} , $(BH)_{max}$. С развитием электротехники и по сегодняшний день неодимовые магниты активно применяются в различных отраслях. Они практически полностью вытеснили ферритовые, в частности, широко применяются в электродвигателях, что объясняется следующими показателями:

- высокие значения остаточной намагниченности, которая напрямую отражается на мощности электрического двигателя;
- большая коэрцитивная сила, от которой зависит магнитодвижущая сила магнита;
- стойкость (магниты из Nd-Fe-B теряют лишь 0,1–1 % собственной намагниченности за одно десятилетие).

Неодимовые магниты обладают отличной магнитной плотностью энергии, значение которой может достигать 512 кДж/м^3 . К примеру, благодаря высокой намагничивающей способности этот магнит способен поднять груз в 1000 раз больше собственного веса. К недостаткам магнитов из Nd-Fe-B относят низкую коррозионную стойкость, которая может быть устранена нанесением защитных покрытий из цинка, меди, хрома или никеля.

В основе изготовления неодимовых магнитов лежит порошковая технология, которая позволяет производить магниты следующих типов: прессованные магниты, литые и спеченные магнитопласты. Специальный магнитный материал (сплав неодим-железо-бор) выплавляют в индукционной печи, после чего путем дробления полученного сплава образуется порошок, который прессуют в магнитном поле, а затем спекают. Для достижения максимально возможной анизотропии структуры материала выполняют дополнительную прессовку при нагреве. В результате химических реакций возможно образование структур с различными магнитными свойствами, но именно соединение $Nd_2Fe_{14}B$ обладает наибольшей анизотропностью благодаря лучшей ориентации кристаллической структуры. На рис. 1 представлена таблица параметров для трех типов магнитов.

Магнит	B_r (Тл)	H_c (кА/м)	BH_{max} (кДж/м ³)	T_k (°С)
Nd ₂ Fe ₁₄ B (спеченный)	1.0–1.4	750–2000	200–440	310–400
SmCo ₅ (спеченный)	0.8–1.1	600–2000	120–200	720
Sr-ferrite (спеченный)	0.2–0.4	100–300	10–40	450

Рис.1. Параметры магнитных структур

Также неодимовые магниты можно применять в конструкции шагового двигателя, различных компрессорных и подъемных устройствах. Кроме того, вследствие хороших показателей удельной магнитной энергии данные магниты используются в приборах, в медицине для установок магнитно-резонансной томографии (МРТ). Стоит отметить, что неодимовые магниты применяются для создания генераторов с магнитным возбуждением, так как мощность генератора прямо пропорциональна магнитодвижущей силе используемого магнита.

Рассмотрим следующий пример: сравним показатели магнитодвижущей силы, создаваемой неодимовым магнитом размером 40×40×20 мм, с медной катушкой индуктивности (рис. 2).

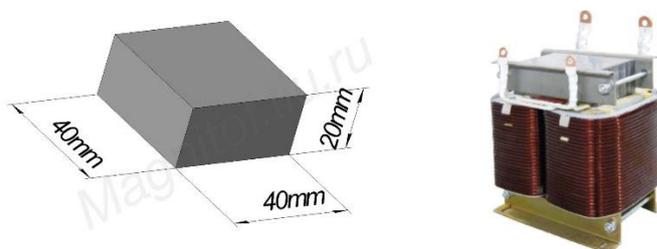


Рис. 2. Неодимовый магнит и медная катушка индуктивности

Величина магнитодвижущей силы (МДС) для сечения магнита вычисляется по формуле:

$$F = H_c \cdot h,$$

где H_c – коэрцитивная сила магнита, h – высота магнита.

Величина МДС для

$$F = k_{зм} \cdot b \cdot h \cdot j,$$

где $k_{зм}$ – коэффициент заполнения медью обмотки, b – ширина сечения катушки, h – высота сечения катушки, j – плотность тока.

Найдем необходимую ширину катушки, которая будет обладать такой магнитодвижущей силой, что и неодимовый магнит шириной 40 мм. При этом плотность тока примем 3 А/мм^2 , коэффициент заполнения медью 0,4; $H_c = 300 \text{ А/мм}$. Приравняв формулы для вычисления МДС неодимового магнита и катушки индуктивности, и выразив величину b получим выражение:

$$b = \frac{H_c}{k_{зм} \cdot j} = \frac{300}{3 \cdot 0,4} = 250 \text{ мм.}$$

Таким образом, видим, что ширина сечения медной катушки более чем в 6 раз больше ширины сечения неодимового магнита. Такое свойство, как компактность размеров данных магнитов, делает его незаменим для изготовления изделий, требующих малые габаритные размеры.

Источники

1. Постоянные магниты: справочник / А.Б. Альтман [и др.]; под ред. Ю. М. Пятина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1980. 488 с.
2. Проектирование электрических машин: учеб. для вузов / под ред. И.В. Копылова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 496 с.

УДК 621-83-061

МАГНИТНЫЙ РЕДУКТОР

Афанасьев Анатолий Юрьевич¹, Студнева Евгения Евгеньевна²
ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань
¹ afanasiev_eo@mail.ru, ² ytathnbnb1997@gmail.com

В статье предложена модель магнитного редуктора с функцией с изменений передаточного отношения.

Ключевые слова: магнитный редуктор, диск статора, диск ротора, механическая передача, магнитная передача, передаточное отношение.

MAGNET REDUCER

Afanasyev Anatoly Yuryevich, Evgenia Evgenievna Studneva

The article proposes a model of a magnetic gearbox with a function with gear ratio changes.

Keywords: magnetic reducer, stator disk, rotor disk, mechanical transmission, magnetic transmission, gear ratio.

На сегодняшний день, редукторы широко распространены во всех сферах промышленности и народного хозяйства. Редукторы, удовлетворяющие самым жестким критериям долговечности и надежности, применяются на предприятиях энергетики и нефтепереработки в отопительных системах, вентиляторах, винтовых компрессорах, генераторных установках.

Существует два основных вида передачи: механические и магнитные. Однако наибольшее применение получили механические передачи: зубчатая (прямозубая, коническая, планетарная), червячная, цепная, винт-гайка. Преимуществом магнитного редуктора является бесконтактная передача, максимально крутящий момент, бесшумны, отсутствие подшипниковых уплотнений от утечек масла.

Многие машины в процессе работы требуют изменения передаточного числа.

Магнитный редуктор, который был взят за прототип, не имеет функции изменения передаточного отношения редуктора [1].

Предложенный бесконтактный магнитный редуктор может быть использован в качестве передаточного устройства в механических системах с большим ресурсом работы при ударных нагрузках.

На рис. 1 показано продольное сечение магнитного редуктора.

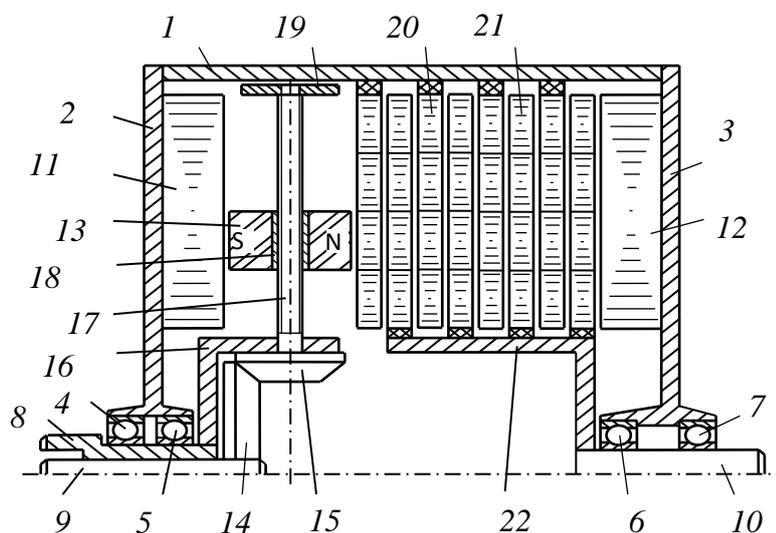


Рис. 1. Продольное сечение магнитного редуктора: 1 – корпус; 2, 3 – подшипниковые щиты; 4–7 – подшипники; 8 – входной вал; 9 – вал переключения; 10 – выходной вал; 11, 12 – магнитопроводы; 13 – постоянный магнит; 14 – ведущее колесо; 15 – ведомое колесо; 16 – втулка входного вала; 17 – винт; 18 – втулка винта; 19 – кольцо; 20 – диск статора; 21 – диск ротора; 22 – втулка ротора

На рис. 2 показано поперечное сечение магнитного редуктора.

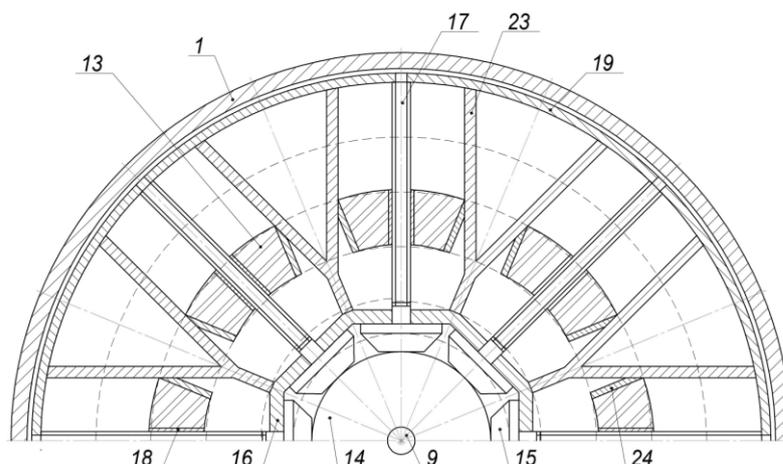


Рис. 2. Поперечное сечение магнитного редуктора: 23 – клин; 24 – направляющая

Диски статора и ротора (рис. 3) имеют четыре кольцевых полосы, каждая из которых состоит из ферромагнитных \blacksquare и немагнитных \square секторов. Для статора на одно полюсное деление приходится 4–5–6–7 ферромагнитных секторов, а для ротора – 3–4–5–6 ферромагнитных секторов. Здесь $p = 4$. Радиусы полос ротора совпадают с радиусами полос статора. Радиальный размер постоянных магнитов 13 совпадает с радиальной шириной одной полосы дисков.

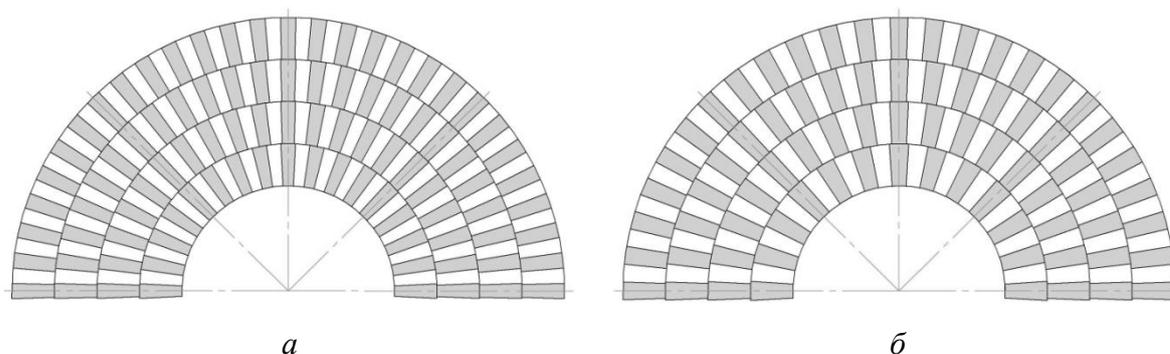


Рис. 3. Диски статора (а) и ротора (б)

Магнитный редуктор работает следующим образом. При вращении входного вала 8 вместе с валом 9 переключения происходит вращение постоянных магнитов 13. При этом благодаря эффекту муара диски 21 ротора вместе с втулкой 22 ротора и выходным валом 10 вращаются так, что области минимального магнитного сопротивления совпадают с полюсами постоянных магнитов. Передаточное отношение магнитного редуктора может иметь значения 3–4–5–6.

Источники

1. Магнитный редукторпатент: пат. 2545166 Рос. Федерация № 2013138975/07; заявл. 20.08.2013; опубл. 27.03.2015, Бюл. № 9.

УДК 531.383

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫМ СЛЕДЯЩИМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Васянов Владимир Викторович¹, Галяутдинов Алмаз Асхатович²
ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань
¹vasyanov21@yandex.ru, ²almazzik74@yandex.ru

В данной статье предложена микропроцессорное управление цифровым следящим электроприводом на основе лабораторного стенда. Представлена примерная модель системы и функциональная схема микропроцессорного управления цифровым электроприводом постоянного тока (МУЦЭПТ).

Ключевые слова: модель, микропроцессорное управление, электропривод, программатор, импульсный датчик.

MICROPROCESSOR CONTROL OF DIGITAL FOLLOW-UP ELECTRIC DRIVE

Vasyanov Vladimir Viktorovich¹, Galyautdinov Almaz Askhatovich²

This article proposes microprocessor control of a digital servo drive based on a laboratory bench. An approximate model of the system and a functional diagram of microprocessor control of a digital direct current electric drive (MUCEPT) are presented.

Keywords: model, microprocessor control, electric drive, programmer, pulse sensor.

Модель системы выполнен в виде стенда (рис. 1). Стенд состоит из стола 1. На столе вертикально расположена панель с гнездами для измерений необходимых параметров различных блоков системы управления электроприводом. На данной панели закреплен фальшпанель 2 с схематическим изображением в виде блок-схемы системы МУЦЭПТ. Также на данной панели заложено индицирование угла поворота и частоты вращения вала привода.

Электронная вычислительная машина (ЭВМ) 3 с программатором 4 и источником питания 5 нагрузочного устройства расположена на приборном столе 6.

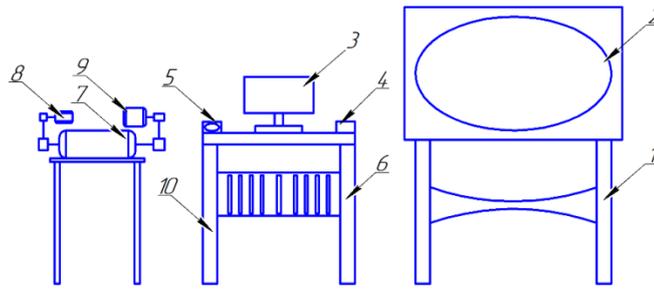


Рис. 1. Стенд микропроцессорного управления цифровым электроприводом постоянного тока

Электродвигатель постоянного тока 7 с импульсным датчиком 8 и нагрузочным устройством 9 укреплены на тумбе и на стойке.

На полке приборного стола 6 установлена рельсы с электронными блоками системы управления и коммутационной аппаратурой. Данный вид расположение дает возможность свободного доступа к платам электронных блоков в случае замены или в процессе изучения.

Электродвигатель постоянного тока с электроприводом представляет собой двухканальную цифровую следящую систему автоматического регулирования. В канале отрицательной обратной связи предусмотрен импульсный датчик, подключенный к ЭВМ для выдачи информации по углу поворота и частоте вращения вала электродвигателя.

Функциональная схема МУЦЭПТ изображена на рис. 2.

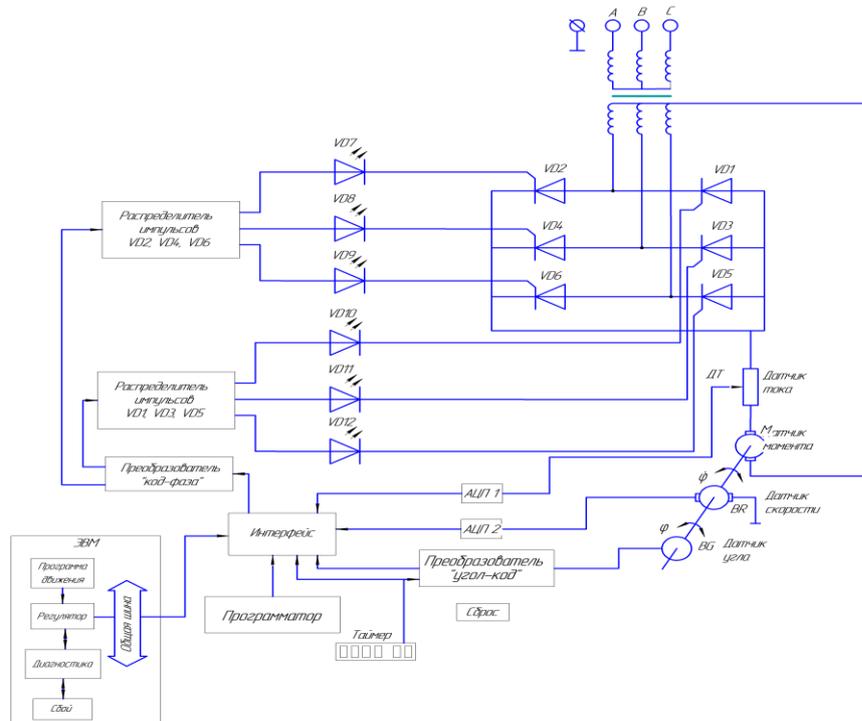


Рис. 2. Функциональная схема МУЦЭПТ

Предлагается модульный принцип построения ЭВМ в котором осуществляется связь между модулями через единый канал обмена информации. Данный тип построения предложен, чтобы обеспечить быстрое действие обмена информации между центральным процессором, памятью и внешними устройствами.

Источники

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов. Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 373 с.

2. Васильев Б.Г. Электропривод. Энергетика электропривода: учеб. М.: Солон-пресс, 2015. 268 с.

УДК 621.314.222.6:621.315.614.6

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ СТАРЕНИЯ БУМАЖНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Ву Нгок Зан¹, Новиков Вячеслав Федорович²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹vndan@cnd.edu.vn, ²npo_aist@mail.ru

В работе рассмотрена возможность диагностики силовых трансформаторов по оценке старения бумажной изоляции в процессе их эксплуатации. Рассмотреть механизм старения бумажной изоляции под влиянием различных негативных факторов. Установлено, что для диагностики маслонаполненного электрооборудования можно использовать метод тонкослойной хроматографии, который характеризуется экспрессией и простотой проведения исследований.

Ключевые слова: Силовой трансформатор, целлюлозной изоляции, тонкослойная хроматография, жидкостная хроматография, колоночная хроматография, бумажная изоляция.

THE PROBLEM OF ASSESSING THE AGING OF PAPER INSULATION IN THE OPERATION OF POWER TRANSFORMERS

Vu Ngoc Dan, Novikov Vyacheslav Fedorovich

The paper considers the possibility of diagnosing power transformers by assessing the aging of paper insulation during their operation. Consider the aging mechanism of paper insulation under the influence of various negative factors. It was found that for the diagnosis of oil-filled electrical equipment, thin-layer chromatography, which is characterized by expression and ease of research, can be used.

Key words: Power transformer, cellulose insulation, thin layer chromatography, liquid chromatography, column chromatography, paper insulation.

В процессе эксплуатации силовых трансформаторов бумажная изоляция претерпевает деградацию, обусловленную развитием процессов деструкции. Формирование множества диагностических признаков для оценки износа бумажной изоляции силовых трансформаторов должно основываться на глубоком анализе физико-химических процессов, происходящих в целлюлозной изоляции под воздействием эксплуатационных факторов. Показано, что процессы деградации целлюлозной изоляции обмоток трансформаторов сопровождаются каталитической и кислотным алкоголизмом, термической деструкцией и дегидратацией. Гидролиз и окислительная деструкция бумажной изоляции являются наиболее значимыми и приводят к снижению механической прочности бумаги и образованию воды [1].

Получены кинетические зависимости, адекватно описывающие процесс деструкции целлюлозной изоляции обмоток силовых трансформаторов при их длительной эксплуатации. При этом показано, что из-за достаточно сложной сетки параллельных и последовательных химических реакций, приводящих к деградации целлюлозы, и множественности факторов, влияющих на кинетику их развития, не представляется возможным спрогнозировать с необходимой точностью степень износа изоляции обмоток трансформатора путем анализа воздействий эксплуатационных факторов.

Проведен анализ экспериментальных значений степени полимеризации образцов электроизоляционных бумаг и изоляции обмоток эксплуатируемых трансформаторов. Установлено, что при эксплуатации силовых трансформаторов с намоточной бумагой с исходной различной степенью полимеризации и отвечающей по своим физико-химическим характеристикам требованиям ГОСТ 645 [2]. Предельно-допустимой степени износа целлюлозы изоляции составляет около 12 лет [3].

При исчерпании ресурса бумажной изоляции обмоток трансформатора, резко возрастает риск повреждения из-за возможности возникновения витковых замыканий, вследствие снижения механической прочности бумаги и местного увеличения концентрации влаги. В этом случае происходит 4-х кратное снижение механической прочности изоляции в сравнении с исходной, что резко повышает риск возникновения витковых замыканий и повреждения трансформатора [4].

При деструкции бумажной изоляции образуются фурановые соединения, которые ухудшают диэлектрические свойства трансформаторного масла. Для контроля за их содержанием в трансформаторном масле в настоящей работе использовали метод тонкослойной хроматографии на пластинках «Sorbfill» [5, 6].

Предварительно методом воскодецей жидкостной колоночной хроматографии были подобраны оптимальные по селективности экспериментальные зависимости, связывающие время удерживания экспериментов от длины сорбционного слоя.

Источники

1. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. ГОСТ 645-89. Бумага кабельная для изоляции кабелей на напряжение от 110 до 500 кВ. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1989. 5 с.
3. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: Изд-во ЭНАС, 2004. 256 с.
4. Определение степени полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов / М.Ю. Львов [и др.] // Электрические станции. 2008. № 8. С. 49–52.
5. Новиков В.Ф., Карташова А.А., Танеева А.В. Инструментальные методы анализа: моногр. в 3 ч. / под ред. проф. В.Ф. Новикова. Казань: Казан. гос. энерг. ун – т. 2018. Ч. 3: Газохроматографический контроль производственных процессов в энергетике. 328 с.
6. РД 34.51.304-94. Методические указания по применению в энергосистемах тонкослойной хроматографии для оценки остаточного ресурса твердой изоляции по наличию фурановых соединений в трансформаторном масле. М.: СПО ОРГРЭС. 1995.

УДК 332.87

ИННОВАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЁТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Галиуллина Эльмира Рамилевна, Зарипова Римма Солтановна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
zarim@rambler.ru

Сегодня среди промышленных групп, групп потребителей и законодателей растет озабоченность по поводу доступности и цен на энергоносители. В этой статье обсуждается, как достижения в области измерений и коммуникационных технологий решают эти проблемы для поставщика энергии и потребителя. Коммунальные предприятия как на регулируемых, так и на нерегулируемых рынках начинают предлагать программы реагирования спроса, которые позволяют потребителям участвовать в колебаниях цен на оптовом энергетическом рынке.

Ключевые слова: электронный счетчик, интервальный счетчик, учет электроэнергии, энергетический рынок.

INNOVATIONS IN AUTOMATED COMMERCIAL ELECTRICITY ACCOUNTING SYSTEM

Galiullina Elmira Ramilevna, Zaripova Rimma Soltanovna

Concerns about energy affordability and prices are growing among industry groups, consumer groups and lawmakers today. This article discusses how advances in measurement and communication technologies solve these problems for the energy supplier and consumer. Utilities in both regulated and unregulated markets are beginning to offer demand response programs that allow consumers to participate in price fluctuations in the wholesale energy market.

Keywords: electronic meter, interval meter, electric energy accounting, energy market.

Измерительные технологии постоянно развиваются в ногу с непрерывным развитием микрокомпьютеров, памяти, электронных сборок и коммуникационных технологий. Инновационные измерительные и коммуникационные технологии, доступные на современном рынке коммунальных услуг, начинают революционизировать способы сбора и использования коммунальными службами как данных о ежедневном использовании, так и данных счетов [1].

На первый взгляд, стоимость заселения жилых районов с помощью интервальных счетчиков и необходимого системного программного обеспечения непомерно высока. Кроме того, регулирующие органы в некоторых областях не рассматривали вопросы ценообразования в ответ на спрос, технологии, необходимой для ее эффективного внедрения, и того, кто оплачивает расходы на инфраструктуру [2]. Эти проблемы могут помешать коммунальным предприятиям вкладывать средства в счетчики, которые были разработаны для крупных коммерческих и промышленных учетных записей только для того, чтобы они могли предложить своим жильцам концепцию реагирования на спрос. Это особенно верно для дерегулированных рынков, где клиент может не оставаться с конкретным поставщиком услуг более пары лет.

Исторически интервальные данные были выбранным методом для сбора данных о ежедневном использовании нагрузки в точках доставки энергии. В течение многих лет интервальная запись данных использовалась на крупных счетах и на подстанциях в точках доставки для обеспечения ежедневного использования кВт, кВАр, кВА и коэффициента мощности. До сегодняшнего дня у коммунальных предприятий не было иного

выбора, кроме как использовать аналогичные устройства записи данных для сбора [3] интервальных данных от небольших учетных записей и жилых помещений с целью предоставления почасовых профилей использования нагрузки как для потребителя, так и для поставщика энергии. В дополнение к предоставлению данных профиля нагрузки, интервальные данные использовались для вычисления общего энергопотребления, максимального спроса, времени использования энергии и для реализации динамического или критического ценового уровня. Информация о профиле также используется коммунальными службами для исследований нагрузки, которые анализируют модели использования, поддерживают существующие или планируемые тарифы, а также для разработки стимулов и программ по снижению затрат для бытовых потребителей.

Несмотря на то, что данные выставления счетов могут быть вычислены на основе интервальных данных, существует определенный риск маркировки вычисленных результатов как данных выставления счетов. Процесс проверки, редактирования и оценки данных необходим для подтверждения того, что собранные интервальные данные соответствуют реальному потреблению энергии, наблюдаемому на счетчике. Если обнаружено несоответствие, то для оценки потерянных данных требуется уровень оценки и редактирования, который обычно не рассматривается как данные выставления счетов, но считается измененными данными. Существует также элемент времени данных интервала. Любое отклонение в отношении данных интервалов в реальном времени может оказать существенное влияние на вычисленный спрос и данные о времени использования энергии.

Дополнительное внимание для проверки, редактирования и оценки уделяется интервальным данным в тех случаях, когда поток данных прерывается где-то в процессе. Такие прерывания могут возникать из-за проблем со счетчиком, инициатором импульса, носителем записи или при передаче данных с полевого участка в систему центрального офиса [4]. Кроме того, отключения электроэнергии следует отличать от периодов чистого нулевого потребления. Валидация проверяет, что собранные данные соответствуют разности энергий между показаниями счетчика запуска и остановки и что количество собранных интервалов соответствует сообщенному времени между сборами данных. В случае сбоя какой-либо из процедур валидации требуется оценка и редактирование данных. Очень сложные процедуры используются утилитами

для оценки потерянных данных. Данные за одно и то же время из аналогичных учетных записей, данные за одно и то же время за предыдущие дни для одного и того же счета, среднее значение за последние несколько дней и данные за тот же день за год назад, а также другие варианты, все использовались для оценки недостающих данные. Большинство оценочных данных смещено в пользу потребителя, так что количество счетов не будет оспариваться как искусственно высокое. Несмотря на это, данные оценочного интервала могут быть оспорены, и иногда коммунальные предприятия должны идти на уступки для этого [5].

Автономные электронные счетчики, которые поддерживают многосезонные, многоуровневые тарифы, доступны уже несколько лет. Поскольку предполагаются более динамичные программы реагирования на ценообразование критических уровней, возникает необходимость изменить периоды пиковых платежей. Любые изменения в программе возможны на ежедневной основе, делают эти типы счетчиков непригодными для реализации программ экономии затрат. Следовательно, в сфере коммунальных услуг существовало мнение, что для реализации цен критического уровня могут использоваться только интервальные данные. Данные интервала используются для восстановления динамически изменяющихся данных выставления счетов за критические уровни. Тем не менее, благодаря комбинированию счетчика с поддержкой нескольких скоростей и двусторонней связи, потребление в течение критических пиковых периодов может быть легко перенаправлено в регистры хранения альтернативных скоростей в счетчике, даже если это происходит в разное время на ежедневной основе. Например, регистр выставления счетов критического уровня может быть задействован в течение двух часов сегодня, трех часов завтра, одного часа послезавтра и так далее. Когда необходимо выставить счет, полная энергия, используемая во время критических пиковых периодов, легко считывается с счетчика. Таким образом, необходимость в интервальных данных устраняется как требование для реализации критических уровней тарификации как в режиме реального времени, так и в реальном времени.

Исходя из предыдущего опыта, сбор интервальных данных представляется дорогостоящим и обременительным решением для реализации реагирования на спрос и других программ выставления счетов, предусмотренных сейчас или в будущем. Тем не менее, производители

измерительного оборудования разработали новую технологию и теперь предлагают однофазные электронные счетчики, которые предоставляют данные о спросе, времени использования и выставлении счетов непосредственно со счетчика. Необходимость собирать интервальные данные и вычислять данные выставления счетов больше не является единственным решением. Доступны бытовые электронные счетчики, которые могут рассчитывать ежедневное использование нагрузки, спрос и критическое использование уровня внутри счетчика. Данные выставления счетов легко доступны как потребителю, так и поставщику услуг локально на счетчике через дисплей счетчика. Данные выставления счетов также могут передаваться в системы автоматизации удаленного учета с использованием двусторонней связи. Несмотря на то, что эти счетчики хранят и передают данные выставления счетов, а не интервальные данные, эти счетчики могут также записывать данные интервалов для исследований нагрузки, но данные интервалов не нужны для получения ежедневного потребления энергии и сложных форм данных выставления счетов.

Источники

1. Шкода Т.А., Кондратьева М.Н. Внедрение автоматизированной системы коммерческого учета электрической энергии в рамках энергосервисного договора // Региональная экономика: теория и практика. 2017. Т. 15. С. 565–578.

2. Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Трансформация систем учета и контроля в условиях цифровой экономики // Наука Красноярья. 2019. Т. 8, № 3-2. С. 112–115.

3. Афанасьев В.В., Зарипова Р.С. Разработка перспективных приборов учета электроэнергии с применением компонентов цифровой электроники // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии: сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Альметьевск, 2017. С. 69–74.

4. Хафизов Х.В., Зарипова Р.С. Разработка информационно-измерительной системы для удалённого мониторинга параметров электрооборудования // Актуальные проблемы метрологического обеспечения научно-практической деятельности: сб. матер. II Всеросс. научн.-техн. конф. с Междунар. участием. Архангельск, 2018. С. 263–266.

5. Зарипова Р.С., Галямов Р.Р., Шарифуллина А.Ю. Организация производства в условиях цифровой экономики // Наука Красноярья. 2019. Т. 8, № 1-2. С. 20–23.

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУМАЖНО-МАСЛЯНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Гарипова Аделя Маратовна, Козлов Владимир Константинович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
garipova1996Adeli@bk.ru, kozlov_vk@bk.ru

В статье рассмотрен вопрос определения степени полимеризации бумажно-масляной изоляции трансформаторов с помощью оптического метода исследования в видимой области спектра. Произведен обзор методики по определению степени полимеризации бумажно-масляной изоляции с помощью спектрального прибора.

Ключевые слова: Степень полимеризации, изоляция, разрушение, диапазон, трансформатор, спектр отражения.

OPTICAL METHOD OF DETERMINING DEGREE OF POLYMERISATION OF PAPER-OIL INSULATION

Garipova Adelia Maratovna, Kozlov Vladimir Konstantinovich

The article considers the issue of determining the degree of polymerisation of paper-oil insulation of transformers using the optical method of research in the visible spectrum. The procedure for determining the degree of polymerization of paper-oil insulation with the help of a spectral device was reviewed.

Keywords: Degree of polymerization, insulation, destruction, range, transformer, reflection spectrum.

Изоляционная система современного маслонаполненного оборудования, в том числе и высоковольтных трансформаторов, лежит в основе организации надежного бесперебойного энергоснабжения и является ключевым элементом, гарантирующим безаварийную эксплуатацию подобного рода оборудования. Разработка надежных методов и средств, позволяющих правильно оценить работоспособность изоляции конкретного трансформатора на данный момент и спрогнозировать ее работоспособность на будущее время, является актуальной задачей.

Как показывают отечественные и зарубежные исследования, объективным показателем для оценки степени износа бумажной изоляции является степень полимеризации, характеризующая физико-химическое разрушение изоляции в процессе эксплуатации.

Бумага – многокомпонентный материал, состоящий в основном из специально обработанных мелких растительных волокон, тесно переплетенных между собой, связанных силами сцепления различного вида и образующих тонкий лист.

Бумажную изоляцию пропитанную трансформаторным маслом принято называть бумажно-масляной изоляцией. В витковой и маслобарьерной изоляции используются целлюлозные бумаги и картон, которые согласно существующей классификации относятся к электроизоляционным.

Изготавливают их преимущественно из сульфатной небеленой целлюлозы с малой зольностью и высокой чистотой без наполнителей и проклеивающих веществ. Отличаются эти виды бумаги высокой механической прочностью, хорошими диэлектрическими свойствами и чистотой. Все они, кроме конденсаторной, обычно вырабатываются на двух сеточных столовых бумагоделательных машинах

Степень полимеризации (СП) – основной параметр определения остаточного ресурса твердой изоляции и определяется согласно ГОСТ 25438 и МЭК 450.

При снижении степени полимеризации изоляции согласно РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» до 250 единиц, резко возрастает риск повреждения трансформатора из-за возможности возникновения витковых замыканий под рабочим напряжением, при коротких замыканиях, а также при воздействии грозовых и коммутационных перенапряжений вследствие снижения механической прочности бумаги и местного увеличения концентрации влаги из-за развития процесса дегидратации бумажной изоляции.

В работе характеристики изоляционных конструкций не остаются неизменными. В изоляционных материалах протекают физико-химические процессы, изменяющие их структуру или состав. Поэтому качество изоляции с течением времени ухудшается: электрическая и механическая прочности снижаются, диэлектрические потери и проводимость растут.

Ухудшение во времени характеристик изоляции в условиях нормальной эксплуатации называется естественным старением.

Процессы, определяющие старение изоляции, разделяются на две группы:

- процессы изменений состава или структуры самих изоляционных материалов;
- процессы проникновения в изоляцию из окружающей среды различных примесей, ухудшающих ее электрические характеристики.

Кроме того, ухудшение изоляции может происходить вследствие ошибок персонала, а также из-за непредвиденных стихийных или аварийных обстоятельств.

Практическое значение процессов старения состоит в том, что они ограничивают сроки службы изоляционных конструкций. В связи с этим при разработке и изготовлении оборудования высокого напряжения, а также при организации его эксплуатации должны предусматриваться меры, которые будут снижать темпы старения изоляции до такого уровня, при котором обеспечивается требуемый срок службы изоляционных конструкций более 20–30 лет.

Отбор образца витковой изоляции может выполняться на отключенном трансформаторе при проведении ремонта. Представительность заложенного в трансформатор образца целлюлозной изоляции, а также образцов барьерной изоляции в отношении достигнутого уровня деструкции изоляции обмоток не обеспечивается в полной мере, потому что такие образцы расположены в баке трансформатора в условиях, не отвечающих наиболее нагретой зоне.

Методы по определению степени полимеризации бумаги предусматривают отбор образца изоляции с последующим его исследованием в химической лаборатории. Недостатком этих методов является необходимость отбора пробы изоляции, что приводит к определенному разрушению витковой или барьерной изоляции. Проведение оценки степени полимеризации бумажной изоляции с отбором образца изоляции на трансформаторах, которые отработали свой номинальный срок службы, не желателен, поскольку при этом вносится дефект в изоляцию. Поэтому возникает необходимость разработки новых устройств и методов неразрушающего контроля для оценки степени полимеризации бумажной изоляции без отбора проб, а также без использования химических реагентов.

В настоящее время разработан способ определения степени полимеризации бумажно-масляной изоляции трансформаторов на длинах волн в видимой области спектра 650–655 нм. Данный способ включает определение степени полимеризации бумажно-масляной изоляции трансформаторов путем определения спектров отражения.

Разработанная методика измерений распространяется на бумажную изоляцию и устанавливает требования к содержанию и выполнению работ при измерении степени полимеризации бумажной изоляции в диапазонах от 250 до 1200 единиц для трансформаторной бумаги и от 250 до 2000 единиц для электрокартона оптическим методом. Оценка производится для трансформаторов 110 кВ и выше.

Проведенные исследования спектров отражения образцов бумаги с различной степенью полимеризации, позволяют повысить чувствительность метода и точность определения степени полимеризации бумажной изоляции.

Источники

1. РД 34.43.206-94. Методика количественного химического анализа определения содержания производных фуранов в электроизоляционных маслах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [Электронный ресурс]: утв. Департаментом науки и техники РАО «ЕЭС России» 25 марта 1994 г. URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4294844/4294844647.htm> (дата обращения: 23.07.2019).

2. ГОСТ 13525.2-80 Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения прочности на излом при многократных перегибах. М.: Стандартинформ, 2007. 2 с.

3. Аракелян В.Г. Химия, механизмы и кинетика старения целлюлозных материалов. Часть I. Химия, механизмы и кинетика разложения целлюлозы // Электротехника. 2006. № 6. С. 29–38.

4. Козлов В.К., Сабитов А.Х., Низамутдинов Б.Р. Исследование процесса старения бумажно-масляной изоляции в видимом диапазоне // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 3-4. С. 81–85.

УДК 621.313.3

КОНСТРУКЦИИ РОТОРА РЕАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С АНИЗОТРОПНОЙ МАГНИТНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ РОТОРА

Гельвер Фёдор Андреевич

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург
gелver@bk.ru

В статье рассмотрены различные конструкции ротора реактивной электрической машины с анизотропной магнитной проводимостью ротора (РЭМАМПР). Предложены новые конструкции ротора РЭМАМПР которые позволяют совместить высокую технологичность изготовления и высокий показатель энергетической эффективности такой электрической машины. Кроме того предложенные конструкции ротора позволяют спроектировать и изготовить многополюсную РЭМАМПР с поперечной шихтовкой полюсов ротора.

Ключевые слова: реактивная электрическая машина с анизотропной магнитной проводимостью ротора, пакет полюса ротора, технологичность, энергетическая эффективность, продольная и поперечная шихтовка ротора, ALA, TLA.

ROTOR STRUCTURES OF REACTIVE ELECTRIC MACHINE WITH ANISOTROPIC MAGNETIC CONDUCTIVITY OF ROTOR

Gelver Fedor Andreevich

The article considers various rotor designs of a reactive electric machine with anisotropic magnetic conductivity of the rotor (REMAMPR). New designs of the REMAMPR rotor have been proposed that allow combining high technological effectiveness of manufacture and high energy efficiency of such an electric machine. In addition, the proposed rotor designs make it possible to design and manufacture a multi-pole RAMAMPR with transverse mixing of the rotor poles.

Keywords: reactive electric machine with anisotropic magnetic conductivity of rotor, package of rotor poles, processability, energy efficiency, longitudinal and transverse charging of rotor, ALA, TLA.

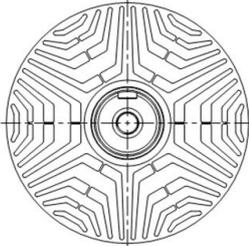
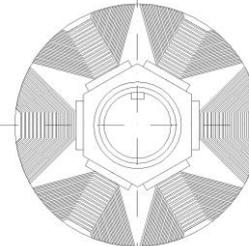
Практически все ведущие мировые производители электродвигателей (ABB, Siemens, KSB, GRUNDFOS) и электроприводов на их основе проявляют большой интерес к РЭМАМПР. Такие электродвигатели в составе регулируемого электропривода обладают более высокими энергетическими характеристиками и лучшими массогабаритными характеристиками по сравнению с самой распространенной асинхронной электрической машиной. В связи с усилением требования экологического характера и требования повышения энергетической эффективности такие электроприводы пользуются большим спросом и популярностью. Кроме того повышение энергетической эффективности электрооборудования является приоритетным направлением мировой политики.

Конструктивно РЭМАМПР представляет собой электрическую машину переменного тока, как правило, с явнополюсным пассивным ротором без обмотки возбуждения и без постоянных магнитов, у которого магнитный поток создается реактивным током, протекающим по обмотке статора. При этом статор РЭМАМПР конструктивно выполнен так же, как и в обычной электрической машине переменного тока. Вращающий момент в таком электродвигателе возникает из-за различия в магнитных проводимостях по продольной L_d и поперечным осям L_q . При этом ротор стремится занять по отношению к вращающемуся полю статора такое положение, при котором магнитное сопротивление для силовых линий поля было бы минимальным. Конструкция ротора РЭМАМПР заставляет

пульсировать индуктивности фазных обмоток статора и определяет эффективность их работы. Чем больше отношение L_d/L_q , тем выше энергетическая эффективность реактивной электрической машины.

Существует множество конструкции ротора РЭМАМПП отличающихся как формой ротора, организацией специальных вырезов и используемыми материалами. Наиболее распространены две конструкции ротора РЭМАМПП: с продольной шихтовкой пакетов полюсов ротора (ALA – Axially Laminated Anisotropic) [1] и поперечной шихтовки пакета ротора со специальными вырезами (TLA – Transversally Laminated Anisotropic) сравнительные характеристики которых представлены в таблице.

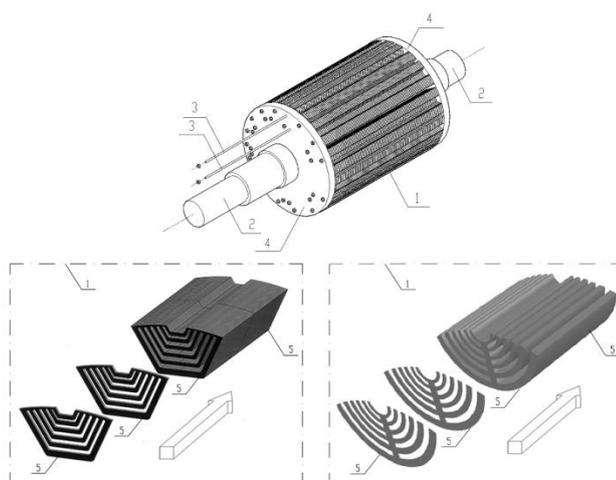
Сравнительные характеристики РЭМАМПП с различными конструктивными исполнениями ротора

Характеристики	Наиболее распространенные конструкции роторов РЭМАМПП	
	Поперечная шихтовка пакетов полюсов ротора TLA	Продольная шихтовка пакетов полюсов ротора ALA
Поперечный разрез ротора		
L_d/L_q	6...8	10...15
$\cos(\varphi)$	0,7	0,8...0,9

Согласно значению величины L_d/L_q РЭМАМПП с поперечной шихтовкой пакета ротора (TLA) по энергетической эффективности проигрывает РЭМАМПП с продольной шихтовкой пакета полюса ротора (ALA). Кроме того РЭМАМПП с продольной шихтовкой пакета полюса ротора (ALA) можно изготовить с большим числом пар полюсов что невозможно реализовать в конструкции РЭМАМПП с поперечной шихтовкой пакета ротора (TLA). Однако РЭМАМПП с поперечной шихтовкой пакета полюса ротора (TLA) более технологична в изготовлении и такую машину в составе регулируемого электропривода как раз промышленно выпускают фирмы ABB, GRUNDFOS, Siemens, KSB и другие. Кроме того концернам KSB и GRUNDFOS оптимизацией конструкции ротора удалось добиться самого высокого на данный момент времени класса показателя энергетической эффективности электродвигателя IE5. По сравнению с классом IE4, потери в таких электрических машинах на 20 % ниже.

Предложены две конструкции ротора РЭМАМППР [2, 3] которые сочетают в себе высокую технологичность изготовления и высокий показатель энергетической эффективности такой электрической машины. Кроме того предложенные конструкции роторов позволяют изготовить ротор РЭМАМППР с любым требуемым числом пар полюсов.

Конструкция ротора РЭМАМППР (см. рисунок) содержит отдельно набранные пакеты полюсов 1, скрепленные вдоль оси вала 2 машины с помощью немагнитных шпилек 3 и немагнитных шайб 4. При этом в первом варианте каждый из полюсов 1 ротора набран из листов 5 ферромагнитного материала шихтованных поперек оси вала машины. Каждый лист 5 содержит вырезы, организующие пути для замыкания линий магнитного потока. Вторая конструкция ротора РЭМАМППР также содержит пакеты полюсов 1 ротора выполненные отдельно друг от друга. При этом каждый из листов 5 пакета полюса 1 состоит из нескольких отдельных криволинейно вырезанных полосок ферромагнитного материала организующих путь для замыкания линии магнитного поля.



Конструкция ротора и двух вариантов набора пакетов полюса ротора РЭМАМППР

Еще одним из достоинств предложенных конструкции является возможность увеличения величины пускового момента РЭМАМППР за счет реализации пусковой (демпферной) обмотки [2, 3].

Источники

1. Синхронная машина с анизотропной магнитной проводимостью ротора: пат. 2541513 Рос. Федерация № 2013118822/07; заявл. 23.04.2013; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5.

2. Синхронная электрическая машина с анизотропной магнитной проводимостью ротора: пат. 2689319 Рос. Федерация № 2018113883; заявл. 16.04.2018; опубл. 27.05.2019, Бюл. № 15.

3. Синхронная электрическая машина с анизотропной магнитной проводимостью ротора: пат. 2687080 Рос. Федерация № 2018118931/07; заявл. 22.05.2018; опубл. 07.05.2019, Бюл. № 13.

УДК 621.313.333

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ С НЕССИМЕТРИЕЙ ФАЗНЫХ ОБМОТОК СТАТОРА ГЕНЕРАТОРА

Глазырин Глеб Владимирович¹, Митрофанов Николай Александрович²

¹НГТУ, г. Новосибирск

²ООО «Газпром добыча Ямбург», г. Новый Уренгой

²n.a.mitrofanov27@gmail.com

Рассматриваются переходные процессы в системе генератор-трансформатор-нагрузка. Математическая модель реализована в программном пакете MATLAB. В модели учтен один из возможных видов несимметрии – неодинаковое число витков в фазных обмотках, что позволяет моделировать межвитковые короткие замыкания без учета появления дополнительных короткозамкнутых контуров. Выполнена верификация модели посредством сравнения результатов расчета переходных процессов, полученных при использовании разработанной модели и с помощью средств MATLAB Simulink. Проведен анализ результатов моделирования для режимов: холостого хода и нагрузочного режима.

Ключевые слова: синхронная машина, переходной процесс, электроэнергетическая система, дифференциальные уравнения, численный метод, насыщение магнитопровода.

MODELING OF TRANSITION PROCESSES IN AN AUTONOMOUS ENERGY SYSTEM WITH NONSYMMETRY OF PHASE WINDINGS OF THE STATOR OF THE GENERATOR

Glazyrin Gleb Vladimirovich, Mitrofanov Nikolay Aleksandrovich

Transients in the generator-transformer-load system are considered. The mathematical model is implemented in the MATLAB software package. The model takes into account one of the possible types of asymmetry - an unequal number of turns in phase windings, which

allows you to simulate inter-turn short circuits without taking into account the appearance of additional short-circuited circuits. The model was verified by comparing the results of the calculation of transients obtained using the developed model and using MATLAB Simulink tools. The analysis of the simulation results for the modes: idle and load mode.

Keywords: synchronous machine, transient process, electric power system, differential equations, numerical method, magnetic core saturation.

Существующие программные пакеты моделирования переходных процессов в электроэнергетических системах, такие как MATLAB Simulink [1], Mustang, используют для описания электромагнитных процессов синхронной машины уравнения Парка – Горева [2], которые предполагают полную симметрию фазных обмоток статора. Очевидно, что такой метод моделирования не может быть применен для расчета процессов машине с отличающимися параметрами фазных обмоток. В статье приведен вывод системы дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы трехфазной синхронной машины с учетом индивидуальных активных сопротивлений и индуктивностей обмоток. Далее произведено сравнение результатов моделирования переходных процессов в системе, выполненного посредством библиотеки блоков SimPowerSystems, входящей в состав среды MATLAB Simulink, с результатами, полученными с помощью предложенного метода.

В работе [3] подробно представлен вывод систем уравнений, описывающих переходные процессы в генераторе, поэтому в данной работе их рассматривать не будем. Для точного расчета переходных процессов необходимо моделирование как генератора. Схема подключения нагрузки представлена на рис. 1.

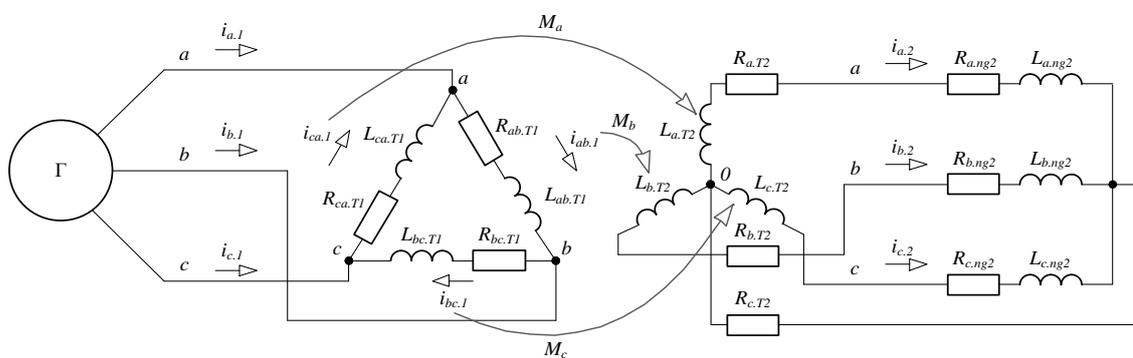


Рис. 1. Схема подключения нагрузки

При расчете переходных процессов в системе дифференциальные уравнения принимают вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Psi_{ab}}{dt} = -u_{abT.1} - \left[(R_{g.a} + R_{g.b})i_{ab} - R_{g.a}i_{ca} - R_{g.b}i_{bc} \right]; \\ \frac{d\Psi_{bc}}{dt} = -u_{bcT.1} - \left[(R_{g.b} + R_{g.c})i_{bc} - R_{g.b}i_{ab} - R_{g.c}i_{ca} \right]; \\ \frac{d\Psi_{ca}}{dt} = -u_{caT.1} - \left[(R_{g.c} + R_{g.a})i_{ca} - R_{g.c}i_{bc} - R_{g.a}i_{ab} \right]; \\ \frac{d\Psi_f}{dt} = u_f - R_f i_f, \end{array} \right.$$

где $R_{g.\eta}$ ($\eta = a, b, c$) – активное сопротивление фазной обмотки генератора. Мгновенные значения падений напряжения на активных сопротивлениях контуров $u_{\Sigma k}$ определяются как:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{\Sigma ab} = -M_{bT.1} \frac{(R_{bng.2} + R_{bT.2})}{L_{\Sigma b.2}} i_{b.2} - (R_{g.a} + R_{g.b} + R_{ab.1})i_{ab} + R_{g.a}i_{ca} + R_{g.b}i_{bc}; \\ u_{\Sigma bc} = -M_{cT.1} \frac{(R_{cng.2} + R_{cT.2})}{L_{\Sigma c.2}} i_{c.2} - (R_{g.b} + R_{g.c} + R_{bc.1})i_{bc} + R_{g.b}i_{ab} + R_{g.c}i_{ca}; \\ u_{\Sigma ca} = -M_{aT.1} \frac{(R_{ang.2} + R_{aT.2})}{L_{\Sigma a.2}} i_{a.2} - (R_{g.c} + R_{g.a} + R_{ca.1})i_{ca} + R_{g.c}i_{bc} + R_{g.a}i_{ab}. \end{array} \right.$$

Значения собственных индуктивностей фазных обмоток, обмотки возбуждения, продольной, поперечной демпферных обмоток и взаимных индуктивностей обмоток $L_a, L_b, L_c, L_f, L_{yd}, L_{yq}, M$ определены в [4], и останавливаться на их рассмотрении не имеет смысла. Так как процесс определения производных для разных контуров однотипен, рассмотрим лишь одно уравнение для контура ab статора:

$$\begin{aligned} \frac{d\Psi_{ab}}{dt} &= \frac{\partial\Psi_{ab}}{\partial\gamma} \omega + \frac{di_{ab}}{dt} L_{ab.e} + \frac{di_{bc}}{dt} M_{.ab.e} + \frac{di_{ca}}{dt} M_{ca.e} + (M_{af} - M_{bf}) \frac{di_f}{dt} +, \\ &+ (M_{ayd} - M_{byd}) \frac{di_{yd}}{dt} + (M_{ayq} - M_{byq}) \frac{di_{yq}}{dt} = -L_{n.ab} \frac{di_{ab}}{dt} - u_{\Sigma ab}. \end{aligned}$$

Уравнения для остальных контуров могут быть получены тем же способом. Частную производную потокосцепления по углу выразим следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Psi_{ab}}{\partial \gamma} = & \frac{dL_{ab.e}}{d\gamma} i_{ab} + \frac{dM_{.ab.e}}{d\gamma} i_{bc} + \frac{dM_{ca.e}}{d\gamma} i_{ca} + \frac{d(M_{af} - M_{bf})}{d\gamma} i_f +, \\ & + \frac{d(M_{ayd} - M_{byd})}{d\gamma} i_{yd} + \frac{d(M_{ayq} - M_{byq})}{d\gamma} i_{yq}. \end{aligned}$$

В результате подстановки получим уравнение, связывающее функции времени – токи в обмотках и угол поворота ротора – и производные этих функций. При рассмотрении всех контуров синхронной машины вместо одного уравнения получим следующую систему уравнений в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} L_{ab\Sigma} & M_{.ab.e} & M_{ca.e} & M_{abf} & M_{abyd} & M_{abyq} \\ M_{.ab.e} & L_{bc\Sigma} & M_{bc.e} & M_{bcf} & M_{bcyd} & M_{bcyq} \\ M_{ca.e} & M_{bc.e} & L_{ca\Sigma} & M_{caf} & M_{cayd} & M_{cayq} \\ M_{abf} & M_{bcf} & M_{caf} & L_f & M_{fyd} & 0 \\ M_{abyd} & M_{bcyd} & M_{cayd} & M_{fyd} & L_{yd} & 0 \\ M_{abyq} & M_{bcyq} & M_{cayq} & 0 & 0 & L_{yq} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} di_{ab}/dt \\ di_{bc}/dt \\ di_{ca}/dt \\ di_f/dt \\ di_{yd}/dt \\ di_{yq}/dt \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} -(\partial \Psi_{ab} / \partial \gamma) \omega + u_{\Sigma ab} \\ -(\partial \Psi_{bc} / \partial \gamma) \omega + u_{\Sigma bc} \\ -(\partial \Psi_{ca} / \partial \gamma) \omega + u_{\Sigma ca} \\ -(\partial \Psi_f / \partial \gamma) \omega - R_f i_f + u_f \\ -(\partial \Psi_{yd} / \partial \gamma) \omega - R_{yd} i_{yd} \\ -(\partial \Psi_{yq} / \partial \gamma) \omega - R_{yq} i_{yq} \end{bmatrix},$$

где M_{kf} , M_{kyd} , M_{kyq} ($k = ab, bc, ca$) – значения взаимной индуктивности обмотки возбуждения, продольной и поперечной демпферных обмоток.

Помимо системы необходимо определить значения токов во вторичной обмотке трансформатора, для чего воспользуемся системой уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{di_{a.2}}{dt} &= \frac{M_{aT.1}}{L_{\Sigma a.2}} \frac{di_{ca.1}}{dt} - \frac{(R_{ang.2} + R_{aT.2})}{L_{\Sigma a.2}} i_{a.2}; \\ \frac{di_{b.2}}{dt} &= \frac{M_{bT.1}}{L_{\Sigma b.2}} \frac{di_{ab.1}}{dt} - \frac{(R_{bng.2} + R_{bT.2})}{L_{\Sigma b.2}} i_{b.2}; \\ \frac{di_{c.2}}{dt} &= \frac{M_{cT.1}}{L_{\Sigma c.2}} \frac{di_{bc.1}}{dt} - \frac{(R_{cng.2} + R_{cT.2})}{L_{\Sigma c.2}} i_{c.2}. \end{aligned} \right.$$

Полученная система уравнений позволяет определять производные токов в обмотках по известным значениям функций (токов, угла поворота ротора и частоты). В качестве примера для сравнения моделей выполнены расчеты переходных процессов генератора ТВВ-200-2АУЗ с полной симметрией фазных обмоток статора и трансформатор ТДЦ-250000/110. Работа системы рассматривается в нормальном установившемся режиме под нагрузкой. Результаты расчетов с помощью моделирования численным методом и в среде MATLAB Simulink приведены на рис. 2 и 3.

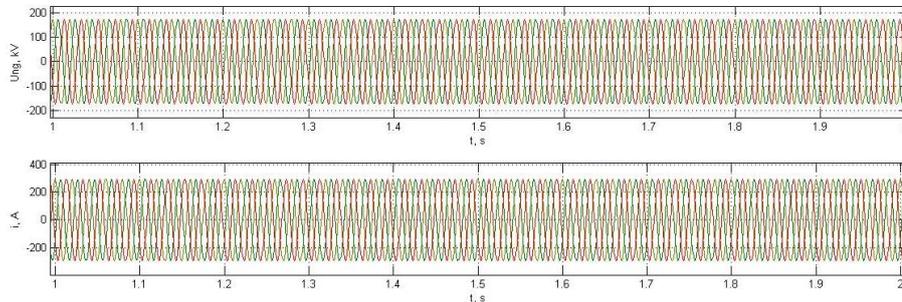


Рис. 2. Результаты расчетов численным методом моделирования в нормальном установившемся режиме под нагрузкой

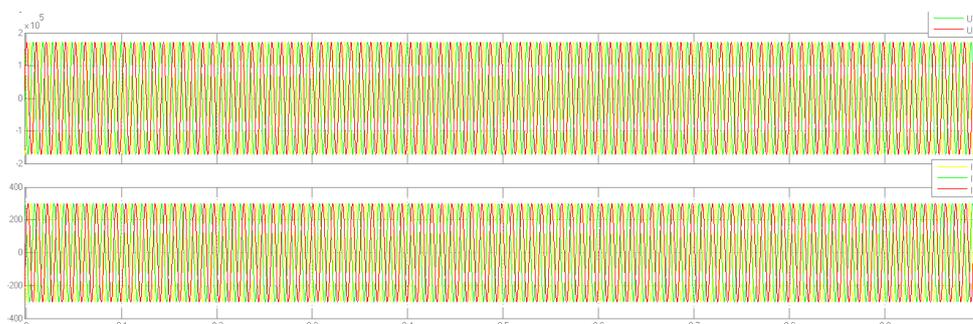


Рис. 3. Результаты расчетов в среде Simulink в нормальном установившемся режиме под нагрузкой

Из сравнения полученных результатов можно увидеть, что при численном методе моделирования получено следующее: амплитудное значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора составляет $u_{abT.2} = 172,7$ кВ, амплитудное значение фазного тока вторичной обмотки трансформатора – $i_{a.2} = 294$ А. При моделировании генератора в среде MATLAB Simulink эти значения составляют $u_{abT.2} = 176,1$ кВ, $i_{a.2} = 302$ А, соответственно.

Полученные в ходе исследования результаты сравнения расчетного метода и модели в среде MATLAB Simulink при работе с симметричными фазными контурами статора и без учета насыщения магнитной системы показали достоверность предлагаемого численного метода моделирования. Реализованная математическая модель дает возможность рассматривать влияние несимметрии фазных контуров статора и насыщения магнитной системы при моделировании синхронной машины.

Источники

1. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. Москва: ДМК Пресс, 2013. 288 с.
2. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. М.: Энергия, 1970. 518 с.
3. Глазырин Г. В. Моделирование переходных процессов синхронной машины с несимметрией фазных обмоток статора // Вестник МЭИ. 2017. № 5. С. 34–39.
4. Горев А.А. Переходные процессы синхронной машины. Л.: Наука, 1985. 502 с.

УДК 621-311

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Грачева Елена Ивановна¹, Алимова Алсу Нюрхайдаровна²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹grachieva.i@bk.ru, ²aan-678@rambler.ru

Рассмотрен способ прогнозирования надежности контактных соединений аппаратов низкого напряжения по постепенным отказам, основа которого лежит в изменении сопротивления контактов с использованием веерных случайных функций.

Ключевые слова: надежность, вероятность отказа, сопротивление контактов, контактные соединения.

ASSESSMENT OF RELIABILITY OF CONTACT CONNECTIONS OF LOW VOLTAGE EQUIPMENT

Gracheva Elena Ivanovna, Alimova Alsu Nurkhaydarovna

A method for predicting the reliability of contact connections of low-voltage devices by gradual failures, the basis of which lies in changing the resistance of contacts using random fan functions, is considered.

Keywords: reliability, probability of failure, contact resistance, contacts connections.

Эмпирические исследования показывают, что контакты коммутационных аппаратов низкого напряжения одни из самых надежных элементов.

Параметр, который характеризует вероятность безотказной работы – это величина сопротивления контактов r , так как другие параметры нормированы в определенных пределах. В результате износа сопротивление контактов принимает критическое значение $r_{кр}$, при котором происходит их отказ.

Сопротивление контактов можно рассматривать как случайную функцию количества коммутационных циклов $r(z)$.

$$r(z) = r_0 + \int_0^z v dz, \quad (1)$$

где r_0 – начальное значение сопротивления контактов; v – скорость изменения сопротивления контактов (угловой коэффициент).

В работе [1] получены экспериментальные кривые зависимости сопротивления от количества коммутационных циклов, а в [2] – эмпирические выражения для определения номинального тока и разброса сопротивлений в зависимости от бросков тока для некоторых коммутационных аппаратов.

Как следует из [3], начальное (расчетное) значение сопротивления контактов рассчитывается по эмпирическим формулам: для магнитных пускателей – $r_0 = 825 / I_H$; для автоматических и контакторов: $r_0 = 760 / I_H$, где I_H – номинальный ток коммутационного аппарата.

На основе этих сведений проведены расчеты, позволяющие определить вероятность безотказной работы аппарата в зависимости от количества коммутационных циклов.

В соответствии с изложенным выражение (1) примет вид:

$$r(z) = r_0 + vz + az^2.$$

В установлено, что эмпирические функции распределения аппроксимируются нормальным законом. Полученный вывод позволяет использовать метод малой выборки Стьюдента для вычисления среднего значения начального сопротивления контактов всей генеральной совокупности аппаратов с требуемой доверительной вероятностью [4].

При этом представляется возможным рассматривать функцию $r(z)$ как веерную случайную, все реализации которой являются параболой, исходящими из одной точки, называемой полюсом. Ордината полюса принимается равной $r_{0,cp}$ ($r_{0,cp}$ — среднее значение начального сопротивления контактов) [5]:

$$r_{0,cp} = \bar{r} - k\sigma_{м.в}$$

Где $\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}$ — выборочная средняя величина; $\sigma_{м.в} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (r_i - r_{cp})^2}}{n-1}$ — среднее квадратическое отклонение малой выборки.

Коэффициент k зависит от количества испытанных образцов n и доверительной вероятности β , с которой гарантируется получение $r_{0,cp}$.

Для определения v_{cp} и a_{cp} может быть использован тот же метод, что и для определения $r_{0,cp}$.

Характеристика случайной функции примет вид:

$$r_{cp}(z) = r_{0,cp} + v_{cp}z + a_{cp}z^2 \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы контактов находится из выражения:

$$P(Z) = 1 - F(z),$$

где $F(z) = \int_0^z f(z)dz$ — вероятность ненадежной работы контакта; $f(z)$ — плотность вероятности безотказно выполненных коммутаций.

Решение может быть получено из следующих соображений. Вероятность исправной работы контактов определяется выражением

$$R(r) = \int_{r_{0.ср}}^{r_{кп}} f(r) dr$$

Так как текущие значения $r(z)$, как указано выше, распределяются по нормальному закону, имеем:

$$f(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_r^2}} \exp\left[-\frac{(r - r_{ср})^2}{2\sigma_r^2}\right], \quad (3)$$

где $r_{ср}$ – среднее значение сопротивления контакта; σ_r – среднее квадратическое отклонение сопротивления.

Таким образом, получим

$$R(R) = \int_{r_{0.ср}}^{r_{кп}} (2az + v) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_r^2}} \exp\left[-\frac{\left(r - (a_{ср}z^2 + v_{ср}z + r_{0.ср})\right)^2}{2\sigma_r^2}\right] dz, \quad (4)$$

а плотность вероятности

$$f(z) = (2az + v) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_r^2}} \left(\frac{\exp\left[-\frac{\left(r_{кп} - (a_{ср}z^2 + v_{ср}z + r_{0.ср})\right)^2}{2\sigma_r^2}\right]}{\exp\left[-\frac{\left(r_{0.ср} - (a_{ср}z^2 + v_{ср}z + r_{0.ср})\right)^2}{2\sigma_r^2}\right]} \right). \quad (5)$$

Вероятность безотказной работы контактов определяется по формуле:

$$R(z) = 1 - \int_0^z f(z) dz =$$

$$= \int_{r_{0.cp}}^{r_{kp}} (2az + v) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_r}} \left(\exp \left[-\frac{(r_{kp} - (a_{cp}z^2 + v_{cp}z + r_{0.cp}))^2}{2\sigma_r^2} \right] - \exp \left[-\frac{(r_{0.cp} - (a_{cp}z^2 + v_{cp}z + r_{0.cp}))^2}{2\sigma_r^2} \right] \right) dz$$

Разработанный метод является общим и позволяет прогнозировать надежность аппаратов с достаточной точностью.

Источники

1. Souza R.T., Costa E.G. Characterization of contacts degradation in circuit breakers through the dynamic contact resistance // Transmission & Distribution Conference and Exposition. Latin America (PES T&D-LA). Medellin, 2014. Pp. 367–370.
2. Gheorghita C.M., Adam M. About contact resistance of the electrical equipment // 2017 Inter-national Conference on Modern Power Systems (MPS). Cluj-Napoca, 2017. Pp. 298–301.
3. Рябчицкий, М.В., Нечаев Д.Н., Кокорин А.В. Низковольтные коммутационные (силовые) аппараты для нужд электроэнергетики // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2014. № 8 (61). С. 4–10.
4. Фёдоров О.В. Некоторые особенности структуры систем внутри-цехового электроснабжения // Надежность и безопасность энергетики. 2015. № 3 (30). С. 30–33.
5. Назарычев А.Н., Новомлинский Э.В., Андреев Д.А. Оценка технического состояния электрооборудования на основе расчетов интегральных показателей // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: матер. Международного науч. семинара им. Ю.Н. Руденко. Сыктывкар, 2016. С. 171–179.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Гумерова Рушана Хасяновна, Молостов Илья Андреевич
ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань
lya.molostov96@mail.ru

В данной работе представлена математическая модель и схема замещения преобразователя частоты на базе IGBT-модулей.

Ключевые слова: преобразователь частоты, математическая модель, схема замещения, выпрямитель.

MATHEMATICAL MODEL AND EQUIVALENT CIRCUITS OF FREQUENCY CONVERTER

Gumerova Rushana Khasyanovna, Molostov Ilya Andreevich

This paper presents a mathematical model and equivalent circuit of a frequency converter based on IGBT modules.

Key words: frequency converter, mathematical model, equivalent circuit, rectifier.

В настоящее время преобразователи частоты занимают важнейшее место в вопросе управления электрическими двигателями. Поэтому важно понимать процессы, которые реализуются в данном устройстве. Одним из решений является построение математической модели и схемы замещения преобразователя частоты.

Питание обмотки статора синхронного двигателя осуществляется от преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока, электрическая схема которого представлена на рис. 1. Схема содержит диодный выпрямитель, LC -фильтр и автономный инвертор на IGBT-модулях.

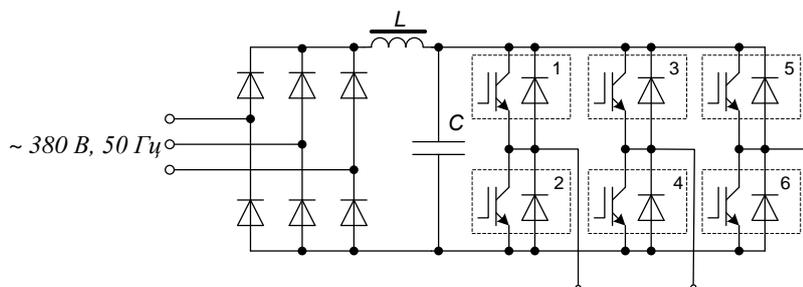


Рис. 1. Силовая схема преобразователя частоты

Общепринятым подходом к исследованию и моделированию процессов в электрической машине при ее работе с промышленной сетью является представление самой сети как источника бесконечной мощности с постоянным действующим значением ЭДС и постоянной частотой. Поэтому сеть можно представить как идеализированный источник трех симметричных синусоидальных ЭДС $e^c_A(t)$, $e^c_B(t)$, $e^c_C(t)$, схема замещения которого представлена на рис. 2.

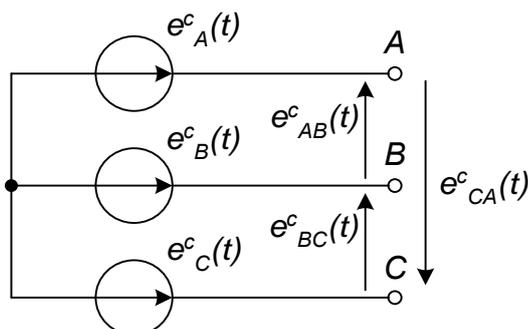


Рис. 2. Схема замещения питающей сети

В процессе математического моделирования диоды выпрямителя представляются в схеме замещения сопротивлениями R_{VD} в прямом направлении и бесконечно большим сопротивлением в обратном направлении. Информация о времени задержки включения диодов вводится непосредственно в их переключающую функцию.

При подобном подходе к моделированию звено выпрямителя целесообразно рассматривать совместно со звеном источника энергии. В этом случае совместная схема замещения будет иметь вид, показанный на рис. 3.

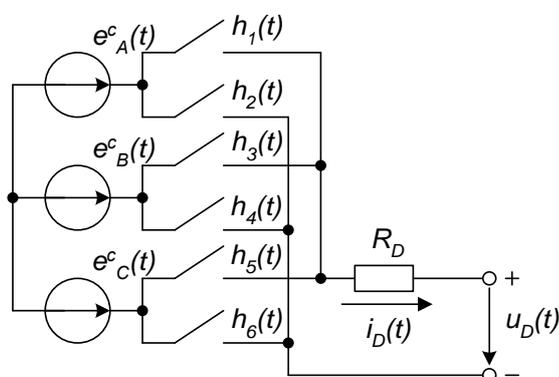


Рис. 3. Совместная схема замещения питающей сети и выпрямителя

Для трехфазного выпрямителя, выполненного по схеме Ларионова, эквивалентные параметры схемы замещения (рис. 3) равны:

$$u_D(t) = \sum_{n=1}^6 E_m \cos \left[\omega t - (n-1) \frac{\pi}{3} \right] \cdot h_n(t);$$

$$h_n(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ 1 \left[t + \frac{T}{12} - (n-1) \frac{T}{6} - kT \right] - 1 \left[t - \frac{T}{12} - (n-1) \frac{T}{6} - kT \right] \right\},$$

где $n = 1, 2, \dots, 6$; $R_D = 2 \cdot R_{VD}$.

Для уменьшения пульсаций на выходе выпрямителя устанавливают LC-фильтр. Необходимость в нем обусловлена также особенностью работы инвертора напряжения на активно-индуктивную нагрузку. При такой нагрузке должен происходить возврат энергии, накопленной в индуктивностях нагрузки, в источник постоянного тока через обратные диоды. Поскольку в рассматриваемом преобразователе частоты источником постоянного тока является выпрямитель, обладающий односторонней проводимостью, то функции приемника возвращаемой энергии выполняет обычно фильтр, имеющий в таком случае емкостный выход. Емкость конденсатора должна быть достаточной, чтобы обеспечить не только требуемый коэффициент сглаживания пульсаций выходного напряжения, но и требуемый уровень пульсаций, вызванных периодическим возвратом реактивной энергии.

Эквивалентная схема источника, выпрямителя и фильтра, объединенных в одно звено эквивалентного источника, представлена на рис. 4 и описывается уравнениями, представленными ниже. При этом полагается, что ток $i_{L_D}(t)$ не имеет прерывистого характера вследствие значительной индуктивности нагрузки:

$$u_{C_D}(t) = u_D(t) - L_D \frac{di_{L_D}}{dt} - i_{L_D}(t) \cdot R_D;$$

$$i_D(t) = i_{L_D}(t) - i_{C_D}(t);$$

$$i_{C_D}(t) = C_D \frac{du_{C_D}}{dt}.$$

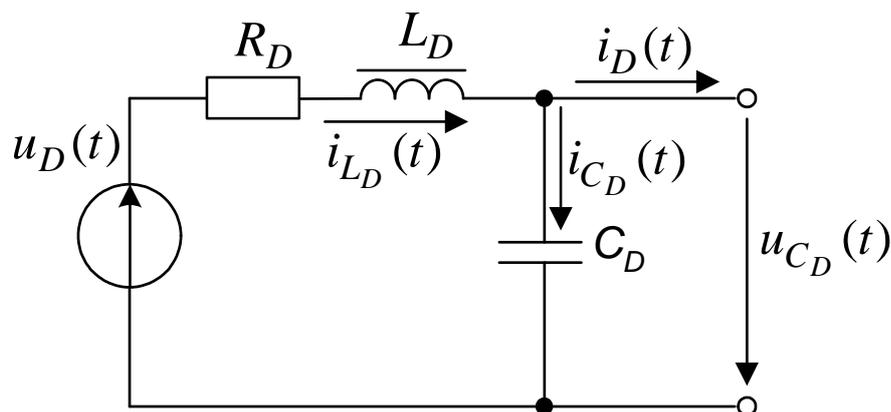


Рис. 4. Схема эквивалентного источника

Здесь L_D, C_D – индуктивность и емкость фильтра, соответственно.

Источники

1. Колпаков А.И. Особенности проектирования частотных преобразователей средней и большой мощности // Электронные компоненты. 2003. № 6. С. 1–3.
2. Петров Д.Н. Применение современных преобразователей частоты // Силовая электроника. 2005. № 1. С. 62–68.

УДК 621.311.6

ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И СПОСОБЫ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Денисова Алина Ренатовна¹, Аманова Гулфия Азаматовна²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹denisova_ar@mail.ru, ²amanova.gulfiya@mail.ru

В статье рассмотрены проблемы надежности, их критерии и влияние ряда факторов, в результате воздействия которых надежность снижается. Для дальнейшего нормального функционирования электрооборудования предложены способы повышения надежности.

Ключевые слова: надежность, электрооборудование, критерии надежности, эксплуатация, мероприятия.

ISSUES OF RELIABILITY AND EFFECTIVE OPERATION OF ELECTRICAL SYSTEMS AND WAYS OF ITS IMPROVEMENT

Denisova Alina Renatovna, Amanova Gulfia Azamatovna

The article considers reliability problems, their criteria and the influence of a number of factors, as a result of which reliability is reduced. For the further normal operation of electrical equipment, methods for improving reliability are proposed.

Keywords: reliability, electrical equipment, reliability criteria, operation, measures.

Проблема надежности электрооборудования в настоящее время становится все более значимой, так как большинство промышленных предприятий и в настоящее время используют оборудование, установленное во времена СССР. В связи с этим наблюдается физический и моральный износ основного фонда электрооборудования.

Как известно, применительно к электрооборудованию выделяют механический, электрический и моральный износы. Механический износ происходит из-за длительных постоянных или переменных воздействий на его отдельные детали или сборочные узлы, электрический износ ввиду потери электроизоляционными материалами электрооборудования изоляционных качеств, моральный износ – это устаревание исправного электрооборудования, дальнейшая эксплуатация которого нецелесообразна из-за создания нового, технически более совершенного или более экономичного электрооборудования аналогичного назначения. Однако иногда эксплуатация морально изношенного электрооборудования может быть технически и экономически целесообразной, если при его капитальном ремонте осуществляется модернизация и его надежность повышается.

В свою очередь, надежность – это свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения его эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортировки. Надежность применительно к системам электроснабжения означает бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

Для повышения надежности сложных технических систем в условиях эксплуатации проводят ряд мероприятий:

- 1) разработка научных методов эксплуатации;
- 2) сбор, анализ и обобщение опыта эксплуатации;

- 3) связь проектирования с производством изделий машиностроения;
- 4) повышение квалификации обслуживающего персонала.

Научные методы эксплуатации включают в себя научно обоснованные методы подготовки изделия к работе, проведения технического обслуживания, ремонта и других мероприятий по повышению надежности сложных технических систем в процессе их эксплуатации. Порядок и технологию проведения этих мероприятий описывают в соответствующих руководствах и инструкциях по эксплуатации конкретных изделий. При эксплуатации изделий большую роль играет накопленный опыт, значительную часть которого используют для решения частных организационно-технических мероприятий. Однако накопленные данные целесообразно и необходимо использовать и для создания будущих изделий с высокой надежностью. Возможными источниками статистической информации могут быть сведения, полученные по результатам различных видов испытаний и эксплуатации. Они периодически оформляются в виде отчетов о техническом состоянии и надежности изделий. Изучение особенностей их поведения дает возможность использования накопленных данных для проектирования будущих изделий. Эффективность эксплуатационных мероприятий во многом зависит от квалификации обслуживающего персонала. С целью поддержания надежности изделий на заданном уровне в процессе эксплуатации необходимо проводить комплекс мероприятий, представленный в виде двух групп: мероприятия по соблюдению правил и режимов эксплуатации; мероприятия по восстановлению работоспособного состояния.

К первой группе мероприятий относятся: обучение обслуживающего персонала, соблюдение требований эксплуатационной документации, последовательности и точности проводимых работ при техническом обслуживании, диагностический контроль параметров и наличие запасных частей, осуществление авторского надзора и т. п.

К основным мероприятиям второй группы относятся: корректирование системы технического обслуживания, периодический контроль за состоянием изделия и определение средствами технического диагностирования остаточного ресурса и предельного состояния, анализ причин отказов и организация обратной связи с разработчиками и изготовителями изделий.

На основе изученных данных приходим к выводу, что одним из важнейших направлений повышения надежности электрооборудования является своевременное и качественное проведение профилактических мероприятий, организуемых электротехнической службой. Имеющийся

отечественный и зарубежный опыт показывает, что достаточно прогрессивной формой обслуживания и ремонта является планово-предупредительная система ремонтов электрооборудования (ППР). Основным направлением совершенствования существующей системы обслуживания электрооборудования является переход на новую стратегию обслуживания по текущему состоянию, важным условием которой является создание и внедрение устройств диагностики, позволяющих решить задачу контроля параметров электротехнического изделия в процессе эксплуатации.

Источники

1. Переходова А.А. Оценка надежности технического состояния оборудования на основе методов теории надежности // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по матер. LXXVII студ. Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2019.

2. Хан Д.Д., Доганаксой Н., Микер У.К. Анализ надежности с учетом видов отказов: полезный способ оценки и повышения надежности // Методы менеджмента качества. 2009. № 6. С. 38–44.

3. Денисова А.Р., Панов Д.Ю. Энергоэффективные мероприятия в административных учреждениях // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: сб. тр. V Всерос. науч.-техн. конф. Тольятти, 2017. С. 268–272.

4. Рудаков А.И., Роженцова Н.В., Фетисов Л.В. Инновации в электроэнергетических комплексах и системах: учебное пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. 147 с.

УДК 620.92

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Димукашева Гульназ Ержановна
ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа,
dimukashevage@mail.ru

В статье приведен анализ электрического привода для синхронных машин. Виды и пути повышения его эффективности.

Ключевые слова: электрический привод, синхронная машина, генераторы.

TRENDS AND WAYS OF IMPROVING MODERN ELECTRIC DRIVE SYSTEMS

Dimukasheva Gulnaz Yerzhanovna

The article provides an analysis of the electric drive for synchronous machines. Types and ways to increase its effectiveness.

Keywords: electric drive, synchronous machine, generators.

Электрический привод (электропривод, ЭП) – это управляемая электромеханическая система, которая преобразовывает электрическую энергию в механическую и обратно и управляет этим процессом. Электропривод подразделяют на привод переменного тока (с синхронными и асинхронными машинами) и привод постоянного тока. Синхронными машинами (СМ) называют такой вид электрических машин переменного тока, при котором частота вращения ротора равна частоте вращения магнитного поля в воздушном зазоре. Синхронные машины обратимы: могут работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя. Синхронные машины состоят из двух частей: неподвижного статора и вращающегося ротора. По своему устройству СМ отличаются от асинхронных машин лишь конструкцией ротора.

Современные системы возбуждения. Все генераторы, синхронные компенсаторы и двигатели, изготавливаемые в настоящее время, оснащены современными полупроводниковыми системами возбуждения. В этих системах используется принцип выпрямления трехфазного переменного тока повышенной или промышленной частоты возбудителей или напряжения возбуждаемой машины. Для оснащения генераторов выпускается три типа систем возбуждения:

- системы тиристорные независимые (СТН);
- системы тиристорные самовозбуждения (СТС);
- системы бесщеточные диодные (СБД).

Пути повышения энергетической эффективности. Одна из главных причин сложности достижения высокой энергетической эффективности – это изменение направления потока энергии в цикле. Не допустить такое искажение можно лишь согласившись о равноправности всех режимов в цикле, если они необходимы для осуществления технологического

процесса. К тому же тормозной режим в транспортном средстве ничем не хуже с технологической точки зрения режима разгона. Чтобы устранить проблему, проводят ряд математических преобразований.

Источники

1. Копылов И.П. Электрические машины. 4-е изд., испр. М.: Энергоиздат, 2004. 607 с.
2. Ильинский Н.Ф. Основы электропривода: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: МЭИ, 2003. 224 с.
3. Мачулин П. С. Современные проблемы разработки электропривода // Молодой ученый. 2016. № 10. С. 273–275.
4. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. Иваново: ИГЭУ, 2008. 298 с.

УДК 621-313.3

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ МИКРОРАЙОНА «ОКТЯБРЬСКИЙ» Г. КИРОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ ИЗ ЗА ДЕЙСТВИИ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА РАБОТУ СИЛОВЫХ И ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Додарбеков Умарджон Аъзамович¹, Мухаметгалеев Танир Хамитевич²

¹ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

²ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹Dodarbekov.1996@mail.ru, ²banzay-13-13@yandex.ru

В работе рассмотрены вопросы электроснабжения и произведен расчет микрорайона «Октябрьский» г. Киров. В расчет сети электроснабжения микрорайона входят: характеристика города и его потребителей, расчет нагрузки микрорайона, выбор числа, мощности и размещение ТП на плане, определение расчетных токов нагрузки, выбор сечения кабельных линий и выбор защитных аппаратов, расчет токов короткого замыкания и проверка аппаратуры защиты ТП, определение потерь мощности и электроэнергии в распределительной сети напряжением 0,4кВ и потери в трансформаторах.

Ключевые слова: Асинхронные электродвигатели, трансформатор, сечение кабеля, защитные аппараты и частотных преобразователя на работу силовых и осветительных приемников.

POWER SUPPLY OF OKTYABRSKY MICRODISTRICT G. KIROV TAKING INTO ACCOUNT THE EFFECT OF VOLTAGE NON-SINUSOIDITY DUE TO THE EFFECT OF FREQUENCY CONVERTERS ON POWER OPERATION AND LIGHTING RECEIVERS

Dodarbekov Umardzhon Azamovich, Mukhametgaleev Tanir Khamitevich

The work considered the issues of electricity supply and calculated the Oktyabrsky microdistrict in Kirov. The calculation of the power supply network of the microdistrict includes: the characteristics of the city and its consumers, the calculation of the load of the microdistrict, the selection of the number, capacity and placement of TC on the plan, the determination of design load currents, the selection of the section of cable lines and the selection of protective devices, the calculation of short-circuit currents and the verification of TC protection equipment, the determination of power and power losses in the distribution network with a voltage of 0.4kV and loss in transformers.

Keywords: asynchronous motors, transformer, cross-section cables, protective devices and frequency converters for operation of power and lighting receivers.

Октябрьский район, как часть территории муниципального образования «Город Киров», является внутригородской территорией, границы которой устанавливаются в соответствии с действующим законодательством и Уставом муниципального образования «Город Киров». В состав территории Октябрьского района муниципального образования «Город Киров» входит территория Октябрьского района в границах городской черты и населенные пункты в соответствии с Реестром населенных пунктов Кировской области. Он расположен на территории площадью 274,2 кв. км. В состав района входят 72 сельских населённых пункта. На территории района:

- более 4000 жилых домов;
- проживает свыше 166 тыс. человек;
- работают около 3400 предприятий различных форм собственности, в том числе 459 промышленных, 260 строительных, 215 транспортных;
- 46 предприятий, занимающихся научной и конструкторской деятельностью.

В районе работает большое количество малых предприятий всех форм собственности. Продукция некоторых из них пользуется большим спросом не только в г. Кирове, но и за его пределами. Это такие предприятия как ООО «Фарес», ООО «Лотус», ЗАО «Меховая радуга» (изделия из меха), СП «Вятская корона», ОАО «Отделение разработки систем» (системы управления технологическими процессами), ООО «Мебель братьев Баженовых» и др.

После вычисления полной расчетной мощности микрорайона, которая равна 3101,703 кВт, было определено ориентировочное число трансформаторной подстанции для первого варианта четыре трансформаторной подстанции мощности 630 кВт, а для второго варианта три трансформаторной подстанции равной мощности 1000 кВт, в которых должны функционировать по два трансформатора в каждой. Был произведен выбор кабелей 0,4 кВт и защитной аппаратуры.

На территории района находится насосная станция НС-Р1, предназначенная для водоснабжения зданий микрорайона. На станции установлен электродвигатель насоса со следующими данными: тип ротора – с короткозамкнутым ротором; категория – асинхронные электродвигатели; серия 5АМ; номинальное рабочее напряжение – 220/380 и 380/660 В; мощность – 75 кВт; КПД – 93,6 %; $\cos \varphi = 0,92$; частота вращения – 3000 об/мин; высота оси вращения – 250 мм; степень защиты – IP54, IP55; способ охлаждения – IC411; режим работы – S1; монтажное исполнение – IM3011, IM1081, IM1082, IM2081, IM2082, IM3031; масса – 475 кг; класс энергоэффективности – IE1.

Для регулирования производительности насосной станции скорость этого двигателя насоса регулируется с помощью частотного преобразователя фирмы «Шнейдер Электрик» серии ATV -61 на соответствующую мощность. При выборе схемы электроснабжения учитывалось негативное влияние частотно-регулируемого электропривода насоса на питающую сеть.

Источники

1. Киреева Э.А., Шерстнев С.Н. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов): справ. изд. М.: КНОРУС, 2012. 864 с.

2. Козлов В.А. Электроснабжение городов. 5-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Энергоатомиздат Ленинградское отделение, 2012. 264 с.

3. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Главгосэнергонадзор России, 2013. 692 с.

4. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mrsk-1.ru/docs/instrukt.pdf> (дата обращения: 15.09.2022).

5. СН 541-82. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов. М.: Стройиздат, 1982. 16 с.

6. СП-31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Дуров Роман Сергеевич¹, Варнакова Екатерина Владимировна²,
Кобзев Кирилл Олегович³
ФГБОУ ВПО «ДГТУ», г. Ростов-на-Дону
¹roma.0107@mail.ru, ²katya-arena97@mail.ru, ³5976765@mail.ru

В предлагаемой статье рассмотрены вопросы дистанционного управления электротехническими комплексами преимущественно беспроводного типа. Представлена классификация подземных систем БДУ по виду канала передачи информации. Проведен анализ чувствительности АД на основании схемы замещения фазы и ее математического описания. В заключении обозначена актуальная задача разработки алгоритмов идентификации параметров и токов ротора трехфазного АД.

Ключевые слова: актуальность, асинхронный электропривод, системные свойства, идентификация, чувствительность

ACTUAL PROBLEMS OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE AND METHODS OF THEIR SOLUTION

Durov Roman Sergeevich, Varnakova Ekaterina Vladimirovna, Kobzev Kirill Olegovich

The article deals with the issues of remote control of electrical complexes mainly wireless type. The classification of underground BDU systems by the type of information transmission channel is presented. The analysis of BP sensitivity on the basis of the phase substitution scheme and its mathematical description is carried out. In conclusion, the actual task of developing algorithms for identifying parameters and currents of the rotor of three-phase AD is outlined

Keywords: relevance, asynchronous electric drive, system properties, identification, sensitivity

Введение. На современном этапе развития науки и техники системы электропривода прочно занимают лидирующее положение среди приводных устройств и обеспечивают бесперебойную и надежную работу технологических механизмов во многих отраслях промышленности и специальной техники.

В качестве приводного двигателя наибольшее распространение находит асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором. Современный асинхронный электропривод реализуется на базе силовой

полупроводниковой техники с применением микропроцессорного управления. Его возможности позволяют организовать регулирование выходных координат электропривода в широком диапазоне, с высокой точностью и быстродействием [1].

Современные преобразователи частоты с микропроцессорным управлением позволяют реализовывать традиционные или создавать новые программные алгоритмы и синтезировать асинхронные электроприводы с широким набором эксплуатационных характеристик, что в свою очередь позволяет удовлетворить требования, накладываемые со стороны самых разных технологических объектов. Однако даже в составе частотно-регулируемого электропривода не всегда обеспечиваются режимы работы с максимальными энергетическими показателями [2].

Одной из актуальных задач является повышение точности математического описания АД с учетом насыщения магнитопровода и потерь в стали. При построении алгоритмов управления частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами в большинстве случаев используется математическое описание обобщенной электрической машины, поэтому при построении математической модели АД с учетом насыщения магнитопровода и потерь в стали целесообразно использовать теорию обобщенной электрической машины.

Широко распространено управление АД с напряжением питания, пропорциональным его частоте. Такое управление является малоэкономичным, поскольку не учитывается требуемый электромагнитный момент. При малом моменте поддерживать магнитный поток на уровне номинального нерационально. Для построения высокоэффективных с точки зрения энергосбережения частотно-регулируемых асинхронных электроприводов необходимо использовать теорию оптимального управления токами АД по критерию минимума мощности потерь или максимума КПД.

Для эффективного управления асинхронным двигателем, работающим в составе частотно-регулируемого электропривода, необходимо знать текущие значения его параметров таких как активные сопротивления фаз обмоток статора и ротора, индуктивности фаз обмоток статора и ротора, взаимная индуктивность, суммарный момент инерции подвижных частей и статический момент. Перечисленные параметры в процессе функционирования электропривода могут изменяться в силу многих причин, например, таких, как нагрев и охлаждение обмоток, изменение состояния магнитной цепи и др. Таким образом, для реализации более точных алгоритмов управления, обеспечивающих эффективное энерго- и ресурсосбережение, необходима оценка (идентификация) перечисленных параметров в режиме нормального функционирования электропривода [1].

Анализ системных свойств асинхронного электропривода.

Асинхронный электропривод обычно является составной частью электромеханической системы, выполняющей определенные технические или производственные задачи. Анализ системных свойств разомкнутого электропривода с силовым полупроводниковым преобразователем и трехфазным АД позволит реализовывать более эффективные алгоритмы частотного управления. К системным свойствам электропривода традиционно относят управляемость, наблюдаемость и чувствительность. Полная управляемость – это свойство, состоящее в возможности перевода объекта управления из произвольного начального состояния в конечное состояние за заданное время.

Под наблюдаемостью понимается свойство объекта управления, заключающееся в возможности восстановления всех фазовых координат по известному закону изменения вектора наблюдения.

Чувствительностью является свойство объекта управления изменять процессы при изменении первичных параметров.

Анализ полной управляемости и наблюдаемости производится с использованием матриц управляемости и наблюдаемости соответственно, а для анализа чувствительности используются функции чувствительности, представляющие собой частные производные от величин или процессов по параметрам или по функциям отклонений. При этом на основе векторно-матричного описания электропривода формируются матрицы управляемости и наблюдаемости, а также определяются функции чувствительности.

При анализе управляемости для фазовых координат электропривода вводится понятие «порядок управляемости», который при нулевых начальных условиях и напряжении управления, изменяющемся по закону единичной функции, совпадает с младшей степенью разложения законов изменения фазовых координат в ряд Маклорена. Анализ наблюдаемости трехфазного АД является актуальным в связи с тем, что величины короткозамкнутого ротора не подлежат непосредственному измерению. Информация о токах или потокосцеплениях ротора необходима при идентификации параметров трехфазного АД, а также при реализации алгоритмов векторного управления.

Проведен анализ чувствительности АД на основании схемы замещения фазы и ее математического описания. Записаны уравнения функций чувствительности, а также разработана схема устройства генерации функций чувствительности по шести параметрам схемы замещения фазы АД.

Целесообразно провести анализ системных свойств асинхронного электропривода, на основании которого могут быть решены следующие вопросы:

1) анализ управляемости разомкнутой системы «силовой полупроводниковый преобразователь-асинхронный двигатель», в результате которого можно установить порядок управляемости каждой из фазовых координат электропривода;

2) наблюдение токов короткозамкнутого ротора на основании информации о напряжениях и токах фаз статора АД, полученной путем непосредственного измерения этих величин;

3) анализ чувствительности разомкнутой системы «силовой полупроводниковый преобразователь-асинхронный двигатель», на основании которого можно записать выражения функций чувствительности и разработать структурную схему устройства генерации функций чувствительности [3].

Идентификация параметров и токов короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя. Для эффективного управления асинхронным двигателем, работающим в составе частотно-регулируемого электропривода, необходимо знать текущие значения параметров схемы замещения фазы и нагрузки. Перечисленные параметры в процессе функционирования электропривода могут изменяться в силу многих причин, поэтому для реализации более точных алгоритмов управления, обеспечивающих эффективное энерго- и ресурсосбережение, необходима оценка (идентификация) перечисленных параметров [4].

В большинстве случаев параметры схемы замещения фазы АД определяют по результатам опытов холостого хода и короткого замыкания, что не всегда возможно (например, в режиме нормального функционирования электропривода) и малоэффективно (низкая точность оценки). В связи с этим актуальной является задача идентификации параметров АД. Далее приводится обзор работ, посвященных решению данной задачи.

Относительная погрешность предлагаемого метода при оценке активного сопротивления статора составила не более 5 %, а активного сопротивления ротора не более 36 %. В статье рассмотрена существующая аналоговая реализация идентификатора частоты вращения и составляющих потокосцепления ротора. Недостатками схемы являются сложность системы управления, невысокая надежность и сложностью наладки. Здесь же предложены подходы к синтезу цифровых (микропроцессорных) идентификаторов частоты вращения и составляющих потокосцепления ротора АД.

Актуальной является задача разработки алгоритмов идентификации параметров и токов ротора трехфазного АД. Для ее решения наиболее целесообразно использовать непрерывный градиентный метод поиска минимума функции [5].

1. При переходе от асинхронного двигателя к обобщенной электрической машине целесообразно выбирать матрицы преобразования токов и напряжений с сохранением основных электрических и магнитных величин. При этом целесообразно провести анализ конструктивных свойств обобщенной электрической машины на основе трехфазного асинхронного двигателя.

2. Актуальным является построение математической модели асинхронного двигателя с учетом насыщения магнитопровода и потерь в стали, что позволит повысить точность расчетов при моделировании, а также разрабатывать энергосберегающие алгоритмы управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

3. Для решения проблемы энергосбережения требуется разработка алгоритма функционирования и функциональной схемы асинхронного электропривода с оптимальным управлением токами при учете насыщения магнитопровода и потерь в стали из условия максимума КПД и минимума мощности потерь.

4. Для построения эффективных электромеханических систем необходим анализ управляемости, наблюдаемости и чувствительности асинхронного электропривода.

5. Целесообразна разработка методики и устройств идентификации параметров асинхронного электропривода в режиме нормального функционирования. Наряду с этим актуальной является задача идентификации токов короткозамкнутого ротора (задача идентификации процессов), которая должна решаться параллельно с задачей идентификации параметров.

6. Для более полной реализации возможностей систем векторного управления необходима разработка алгоритмов частотно-токового векторного управления асинхронным двигателем с учетом насыщения магнитопровода.

Источники

1. Епифанов А.П. Электропривод. СПб.: Лань, 2012. 400 с.
2. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2013. 224 с.

3. Анучин А.С. Системы управления электроприводов. Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 373 с.

4. Яни А.В. Регулируемый асинхронный электропривод: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2016. 464 с.

5. Макаров В. Г. Анализ современного состояния теории и практики асинхронного электропривода // Вестник Казанского технологического университета. 2011. Т. 14, № 6. С. 109–120.

УДК 62-83

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Дуров Роман Сергеевич¹, Варнакова Екатерина Владимировна²,

Кобзев Кирилл Олегович³

ФГБОУ ВПО «ДГТУ», г. Ростов-на-Дону

¹roma.0107@mail.ru, ²katya-arena97@mail.ru, ³5976765@mail.ru

В предлагаемой статье представлены пять особенностей развития современных электроприводов. Рассмотрены перспективы развития элементной базы электроприводов, а также варианты расширения областей применения регулируемых электроприводов переменного тока. Уделено внимание совершенствованию механических преобразователей движения, их проектированию и реализации.

Ключевые слова: электропривод, микропроцессорные контроллеры, элементная база, механические преобразователи движения, совершенствование.

FEATURES OF DEVELOPMENT OF THE MODERN ELECTRIC DRIVE

Durov Roman Sergeevich, Varnakova Ekaterina Vladimirovna, Kobzev Kirill Olegovich

The article presents five features of the development of modern electric drives. The prospects for the development of the element base of electric drives, as well as options for expanding the application areas of adjustable AC drives are considered. Attention is paid to the improvement of mechanical motion transducers, their design and implementation.

Keywords: electric drive, microprocessor controllers, element base, mechanical motion converters, improvement.

Благодаря постоянному совершенствованию технических показателей электроприводов они во всех областях применения являются основой современного технического прогресса. При этом в развитии

современного автоматизированного электропривода наблюдается ряд особенностей, обусловленных состоянием его элементной базы и потребностями производства.

Первой особенностью электропривода на данном этапе его развития является расширение области применения регулируемого электропривода, главным образом за счет количественного и качественного роста частотно-регулируемых электроприводов переменного тока.

Достигнутые в последние годы успехи в совершенствовании тиристорных и транзисторных преобразователей частоты привели к интенсивному развитию регулируемых электроприводов, использующих асинхронные электродвигатели более простой конструкции и с меньшей металлоемкостью, что приводит к вытеснению регулируемых электроприводов постоянного тока, которые в настоящее время в России имеют пока преимущественное применение [1].

Второй особенностью развития современного электропривода является повышение требований к динамическим и статическим показателям электропривода, расширение и усложнение его функций, связанных с управлением технологическими установками и процессами. Развитие электропривода идет по пути создания систем числового программного управления и расширения использования средств современной микропроцессорной техники.

Это приводит к усложнению систем электроприводов, поэтому большое значение приобретает правильное определение задач, которые могут быть эффективно решены с использованием современных микропроцессорных контроллеров.

Третьей особенностью развития электропривода является стремление к унификации его элементной базы, созданию комплектных электроприводов с использованием современной микроэлектроники и блочно-модульного принципа. Реализация на этой основе идет процесс дальнейшего развития и совершенствования комплектных электроприводов с использованием систем частотного управления электродвигателями переменного тока [2].

Четвертой особенностью развития современного электропривода является широкое его применение для реализации энергосберегающих технологий при управлении производственными процессами. Развитие промышленности определяет возрастающее значение автоматизированного электропривода, как энергетической основы автоматизации производственных процессов [1].

Электрический привод является основным потребителем электрической энергии. Из всего объема электроэнергии, вырабатываемой в нашей стране, более 60 % преобразуется с помощью электропривода в механическое движение, обеспечивая работу машин и механизмов во всех отраслях промышленности и в быту. В связи с этим энергетические показатели массовых электроприводов малой и средней мощности имеют важнейшее значение при решении технических и экономических задач [3].

Проблема рационального, экономичного расходования электроэнергии требует сегодня особого внимания. Соответственно, в развитии электропривода требует безотлагательного решения задача рационального проектирования и использования электропривода с точки зрения энергопотребления. Эта проблема требует проведения исследований и разработки мероприятий, направленных на повышение КПД электроприводов и на организацию управления технологическими машинами, уменьшающего потребление ими электроэнергии.

Пятой особенностью развития современного электропривода является стремление к органическому слиянию двигателя и механизма. Это требование определяется общей тенденцией развития техники, направленной на упрощение кинематических цепей машин и механизмов, что стало возможным благодаря совершенствованию систем регулируемого электропривода конструктивно встраиваемого в механизм [4].

Одним из проявлений этой тенденции является стремление к широкому использованию безредукторного электропривода. В настоящее время созданы мощные безредукторные электроприводы прокатных станков, шахтных подъемных машин, основных механизмов экскаваторов, скоростных лифтов. В этих электроприводах используются тихоходные двигатели, имеющие номинальную скорость вращения от 8 до 120 об/мин. Несмотря на повышенные габариты и массу таких двигателей, применение безредукторных электроприводов по сравнению с редукторными приводами оправдывается их большей надежностью и быстродействием.

Современное состояние, перспективные задачи и тенденции развития электропривода, определяют необходимость совершенствования его элементной базы.

Перспективы развития элементной базы электропривода. Рассматривая развитие современного электропривода необходимо учитывать, что объективной тенденцией совершенствования электротехнического оборудования является его усложнение, обусловленное повышением требований технологических процессов и расширением потребительских свойств электротехнических изделий.

В этих условиях основной задачей развития электропривода и его средств управления является наиболее полное удовлетворение требований по автоматизации рабочих машин, механизмов и технологических линий. При этом наиболее эффективно эти возможности могут быть реализованы при использовании современных регулируемых электроприводов с микропроцессорным управлением.

В настоящее время главной задачей является расширение областей применения регулируемых электроприводов переменного тока. Успешное решение этой задачи позволяет повысить электровооруженность труда, механизировать и автоматизировать многие технологические установки и процессы, что значительно увеличит производительность труда.

Для этого необходимо решить ряд научно-технических и производственных проблем в области электротехники, так как развитие систем электроприводов требует совершенствования элементов механических передач, электрических двигателей, полупроводниковых силовых преобразователей и микроконтроллеров.

Совершенствование механических преобразователей движения.

Комплексное решение вопросов совершенствования современных электроприводов и электромеханических комплексов на их основе требует особого внимания к проектированию и реализации механических преобразователей движения. В настоящее время усиливается тенденция к упрощению механических устройств технологического оборудования и усложнению их электротехнических компонентов.

При проектировании нового технологического оборудования стремятся к использованию «коротких» механических передач и безредукторных электроприводов. Выполненные исследования показали, что по массогабаритным показателям и КПД безредукторные электроприводы сравнимы с массогабаритными показателями и КПД редукторных электроприводов, если учитывается не только электродвигатель, но и редуктор [3].

Существенным выигрышем в применении жёстких механических передач и безредукторных электроприводов является достижение более высоких качественных показателей систем управления движением исполнительных органов машин и надёжности механизмов. Это объясняется тем, что протяженные механические передачи, охваченные обратными связями, существенно ограничивают из-за наличия упругих механических колебаний полосу пропускания частот системы управления электропривода.

Простейшие механические передачи общепромышленного применения обычно из-за податливости зубьев, валов и опор имеют несколько резонансных частот упругих колебаний. Если к этому добавить необходимость усложнения механики из-за применения устройств выборки люфтов, то становится очевидно, что применение безредукторных приводов будет все актуальней, особенно для технологического оборудования высокой производительности и качества.

Перспективным направлением развития электроприводов является применение линейных электродвигателей, которые позволяют исключить не только редуктор, но и устройства, преобразующие вращательное движение роторов двигателей в поступательное движение рабочих органов машин. Электропривод с линейным двигателем является органической частью общей конструкции машины, предельно упрощает ее кинематику и создаст возможности для оптимального конструирования машин с поступательным движением рабочих органов [5].

В последнее время интенсивное развитие получило технологическое оборудование со встроенными в механизм электродвигателями. Примерами таких устройств являются: электроинструмент; встраиваемые в шарнирные соединения двигатели приводов роботов и манипуляторов; электроприводы подъемных лебедок, в которых двигатель конструктивно объединяется с барабаном, выполняющим функции ротора.

В последние годы в отечественной и зарубежной практике определилась тенденция к более глубокой интеграции электромеханического преобразователя (электродвигателя) с рабочим органом и некоторыми устройствами управления. Это, например, мотор-колесо в тяговом электроприводе, электрошпиндель в шлифовальных станках, челнок – поступательно движущийся элемент линейного электропривода ткацкого оборудования, исполнительный орган координатного построителя с двухкоординатным (X, Y) двигателем.

Указанная тенденция прогрессивна, поскольку интегрированные электроприводы обладают меньшей материалоемкостью, имеют улучшенные энергетические показатели, компактны и удобны в эксплуатации. Однако созданию надежных и экономичных интегрированных электроприводов должны предшествовать комплексные теоретические и экспериментальные исследования, а также конструкторские разработки, выполненные на современном уровне, обязательно включающие оптимизацию параметров, получение оценок надежности. Причём работы в указанном направлении должны выполняться специалистами различных профилей.

Источники

1. Кисаримов Р.А. Электропривод: справ. М.: РадиоСофт, 2012. 352 с.
2. Денисов В.А. Электроприводы переменного тока с частотным управлением: учеб. пособие. Ст. Оскол: ТНТ, 2013. 164 с.
3. Курбанов С.А., Магомедова Д.С. Основы электропривода: учеб. пособие. СПб.: Лань П, 2016. 192 с.
4. Анучин А.С. Системы управления электроприводов. Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 373 с.
5. Козырев А.А. Машиностроение: энциклопедия: в 40 т. М.: Машиностроение, 2012. Т. IV-2: Электропривод. Электропривод. Гидро- и виброприводы: в 2 кн. Кн. 1. Электропривод. 520 с.

УДК 62-83: 621.313

ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЕГО СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Дуров Роман Сергеевич¹, Варнакова Екатерина Владимировна²,
Кобзев Кирилл Олегович³

ФГБОУ ВПО «ДГТУ», г. Ростов-на-Дону

¹roma.0107@mail.ru, ²katya-arena97@mail.ru, ³5976765@mail.ru

Приведены известные определения для понятия «электропривод». Сделан анализ состояния электроприводов в России. Изложены предъявляемые к ним требования. Сформулированы основные критерии совершенствования и развития.

Ключевые слова: электропривод, преобразователь электроэнергии, мехзвено, электродвигатель, система управления, стабильность скорости, энергоемкость, энерго-сберегаемость.

ELECTRIC DRIVE, ITS CONDITION AND PROSPECTS

Durov Roman Sergeevich, Varnakova Ekaterina Vladimirovna, Kobzev Kirill Olegovich

The known definitions for the concept of "electric drive" are given. The analysis of the state of electric drives in Russia is made. The requirements imposed on them are stated. The main criteria for improvement and development are formulated.

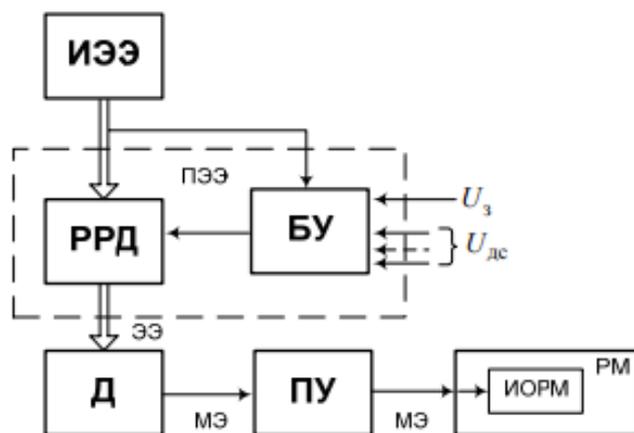
Keywords: electric drive, electric power Converter, mechanical link, electric motor, control system, speed stability, energy intensity, energy saving.

Электроприводом называется электромеханическое устройство, включающее составляющие его части:

– преобразователи электрической энергии в механическую (электродвигатели);

- устройство передачи движения к рабочему механизму;
- управляющая система движением исполнительных органов рабочей машины, обеспечивающая технологические процессы требуемых движений с заданными точностью и быстродействием.

Структура электропривода и её составляющие. Составляющими электропривода (см. рисунок) являются: ИЭЭ – источник электрической энергии, например сеть напряжения переменного тока 220 В одной фазы; РРД – регулятор режимов работы двигателя: регулятор напряжения двигателя постоянного тока или частоты и напряжения двигателя переменного тока; БУ – блок управления; Д – электродвигатель; ПУ – передающее устройство движения двигателя к рабочему механизму (механическое, гидравлическое, электромагнитное и др.); РМ – рабочий механизм; ИОРМ – исполнительный орган рабочего механизма; ЭЭ – электрическая энергия; МЭ – механическая энергия; ПЭЭ – преобразователи электрической энергии, полупроводниковые, релейные, например инверторы, ШИМ и др.; U_3 – задающий сигнал; $U_{дс}$ – дополнительные сигналы, например, сигналы обратных связей.



Структура ЭП

Электроприводы (ЭП) обеспечивают все виды движений: регулируемые и нерегулируемые, непрерывные и дискретные, однонаправленные и двунаправленные (реверсивные), вибрационные, возвратно-поступательные, движения по программе, движения, повторяющие любые команды (следающие), движения, обеспечивающие наиболее выгодные режимы технического процесса (самонастраивающиеся, адаптивные) и др.

Регуляторы режимов работы двигателя (РРД) могут быть полупроводниковыми (вентильными) на транзисторах, тиристорах, полностью управляемых диодах или релейно-контакторными.

Электропотребляемость электроприводов. В электротехнике принято подразделять потребители электроэнергии на четыре вида [1, 4, 5]:

1. Электроприводы турбомеханизмов, потребляющие примерно 60 % производимой электроэнергии.

2. Технологические установки статистического типа: электрохимические, высокочастотного нагрева, дуговая плавка металлов, электросварка и др. – 25 %.

3. Электроосвещение и потребление энергии в быту (электропечи, холодильники, стиральные машины, телевизоры и др.) – 14 %.

4. Устройства управления и обработки – 1 %.

Итого: 100 %.

Эта усредненная статистика для индустриально развитых стран, таких как США, Россия, Германия, Япония, Украина, Белоруссия, Канада, будет отличаться, но показатель потребления электроэнергии электроприводами всегда преобладает над показателями потребления электроэнергии другими системами. В России электроприводы потребляют примерно 65 % вырабатываемой государством электроэнергии.

К электроприводам следует относиться с большим вниманием, обеспечивая их достаточным количеством специалистов, занимающихся разработкой, производством и эксплуатацией ЭП. Обеспечивать применяемым ЭП высокую надежность, энергосберегаемость и производительность. Необходимо совершенствовать ЭП, улучшая их технико-экономические и эксплуатационные показатели.

В настоящее время ЭП России имеют показатели:

90 % – нерегулируемые (не требуется по техпроцессам);

10 % – регулируемые, в основном постоянного тока;

95 % электродвигателей имеют мощность до 100 кВт и лишь 5 % – более 100 кВт, некоторые из них имеют мощность 5 МВт и более, но это редкие случаи. Например, электроприводы дымососов на Сургутской ТЭЦ имеют мощность 5,6 МВт.

Требования к электроприводу (согласно [1, 4]).

1. Надежность. Должно обеспечиваться не менее 15 тыс. ч безотказной работы.

2. Требуемая по техзаданию точность поддержания стабильности регулируемых величин – электромагнитного момента, скорости, перемещения. Наибольшая точность (прецизионная) – 0,01 %.

3. Повысить энергетическую эффективность – расход энергии на получение технологического продукта при заданном качестве. Например, киловатт-часов на одну тонну продукции. Показатель задается ЭП в зависимости от назначения привода.

4. Увеличить ресурсоемкость. Чем выше качество показателя, тем больше затраты.

Например, точно и медленно – наименьшая ресурсоемкость, точно и быстро – средняя, точно, быстро и надежно – наибольшая.

Основные направления развития ЭП [1–3, 5].

1. Расширить области применения регулируемого электропривода. В России они составляют примерно 10 %, за рубежом – более 40 %.

Сделать регулируемыми ЭП турбомеханизмов (насосы, компрессоры, вентиляторы, аэродинамические устройства и др.). Эти механизмы потребляют около 90 % энергии, расходуемой на все электроприводы. Если электродвигатели турбомеханизмов не регулируются, то потери энергии достигают 60 %.

2. Повысить требования к динамическим и точностным показателям, расширить функции ЭП, связанные с управлением технологическими процессами.

3. Улучшить энергосберегаемость ЭП. В настоящее время потери электроэнергии в российских электроприводах достигают 75 % от общих потерь в системе электроснабжения. Энергоемкость российского ВВП в 2 раза выше, чем в западных странах.

4. Обеспечить все ЭП системами непрерывной внутренней диагностики параметров и режимов работы.

5. Расширить применение цифровых электроприводов с микропроцессорным управлением, работающих по алгоритмам, заранее разработанным для требуемых режимов работы ЭП.

6. Увеличить выпуск инженерных и научных кадров, которых в России пока очень мало, примерно 20 % от требуемого числа [1, 4].

Заключение. В статье приведены известные в настоящее время в России определения для понятия электропривод (ЭП). Охарактеризована энергосберегаемость ЭП. Даны показатели энергообеспечения ЭП. Сформулированы основные требования и направления развития ЭП. Сделаны выводы, что отечественные электроприводы требуется совершенствовать, в том числе:

– сделать ЭП турбомеханизмов регулируемым, например, за счет вентильных регуляторов напряжения статора;

– увеличить применение регулируемых ЭП не менее чем в 5 раз;

– увеличить выпуск количества отечественных электроприводов, чтобы исключить приобретение дорогих зарубежных;

- уменьшить энергопотребляемость отечественных электроприводов не менее чем в 2 раза;
- увеличить выпуск инженерных кадров для эксплуатации ЭП;
- выделить достаточно средств для разработки, исследования новых ЭП и подготовки научных кадров.

Источники

1. Ильинский Н.Ф. Электропривод в современном мире // Труды 5-й Междунар. конф. по автоматизированному электроприводу. М., 2007. С. 17–19.
2. Обрусник В.П. Электроприводы переменного тока, их проблемы // Труды 5-й Междунар. конф. по автоматизированному электроприводу. М., 2007. С. 133–136.
3. Обрусник В.П., Вахитова З.П. Энергосберегаемость электроприводов переменного тока // Сборник статей Астраханского госуниверситета. 2008. С. 110–112.
4. Ильинский Н.Ф. Перспективы развития регулируемого электропривода // Электричество. 2003. № 2. С. 2.
5. Гладырев А.И., Родькин Д.И. Технологические предпосылки применения регулируемого и управляемого электропривода // Научные труды КПИ. 2000. Вып. 1. С. 98–102.

УДК 621.31

МОДЕЛИРОВАНИЕ В PSIM РЕГУЛИРУЕМОГО ПУСКА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В СОСТАВЕ ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Зубков Павел Сергеевич¹, Карасев Александр Вениаминович²,
Таланов Михаил Викторович³
ФГБОУ ВО «НИ МГУ им. Н. П. Огарёва», г. Саранск
pasha-zubkov13@mail.ru¹, a1k@list.ru², mvтал@mail.ru³

В данной статье рассматриваются способы пуска синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) и в качестве примера проводится моделирование процесса регулируемого пуска в среде PSIM.

Ключевые слова: СДПМ, прямой и регулируемый пуск, ШИМ, моделирование, PSIM.

SIMULATION IN PSIM OF A CONTROLLED STARTING OF A PMSM AS A COMPONENT OF A VALVE ELECTRIC DRIVE

Pavel Sergeevich Zubkov, Alexander Veniaminovich Karasev,
Mikhail Viktorovich Talanov

This article discusses the existing methods of starting the Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM), as well as simulated the start-up process in the PSIM software package using one of the methods described.

Keywords: PMSM, direct and controlled starting, PWM, simulation, PSIM.

Синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ) – синхронная машина, которая питается от преобразователя частоты с синхронизацией по угловому положению ротора с помощью датчика положения ротора (ДПР). Использование силовых ключей для коммутации обмоток по образцу коллектора с щётками у машины постоянного тока, вносит некоторые особенности в режимы пуска вентильного двигателя.

В задачах управления СДПМ различают прямой и регулируемый (плавный) пуски.

В прямом пуске подключение обмоток осуществляется на полное напряжение, при этом ток может достигать пятикратного и более значения относительно номинального, хотя для набора скорости двигателю достаточно кратности пускового тока $I_{\text{п}}/I_{\text{ном}} = 2 \dots 3$. Это приводит к следующим проблемам:

- 1) потребуются мощные силовые ключи для обеспечения коммутации с высокой кратностью пусков, отсюда удорожание преобразователя;
- 2) ухудшается качество сети питания по причине чрезмерного потребления мощности со стороны полупроводникового преобразователя.

Поэтому прямой пуск целесообразен лишь для создания большого пускового момента.

В случае регулируемого пуска с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) на фазы подаётся неполное напряжение, которое изменяется так, чтобы ток фаз не превышал предельно допустимого значения, что приводит к уменьшению токовых потерь двигателя [1, 2].

При оценке пускового режима опираются на время пуска – нарастание уставки по скорости, подбирающееся моделированием схемы электропривода в PSIM. На рис. 1 представлена модель привода с СДПМ, а результаты моделирования на рис. 2.

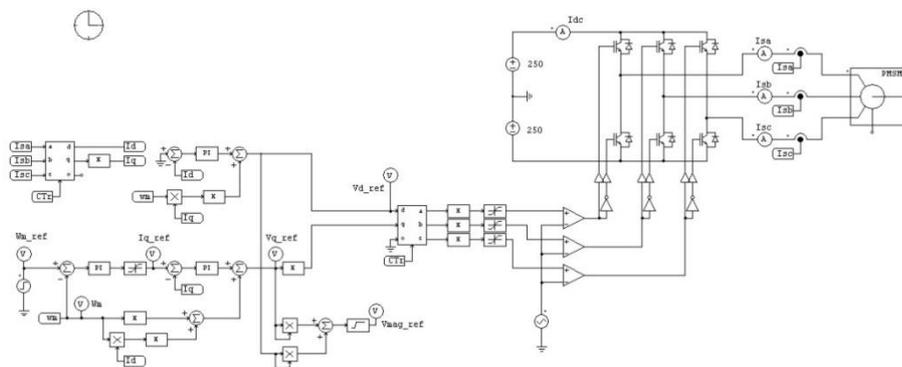


Рис. 1. Модель вентиляльного электропривода в PSIM

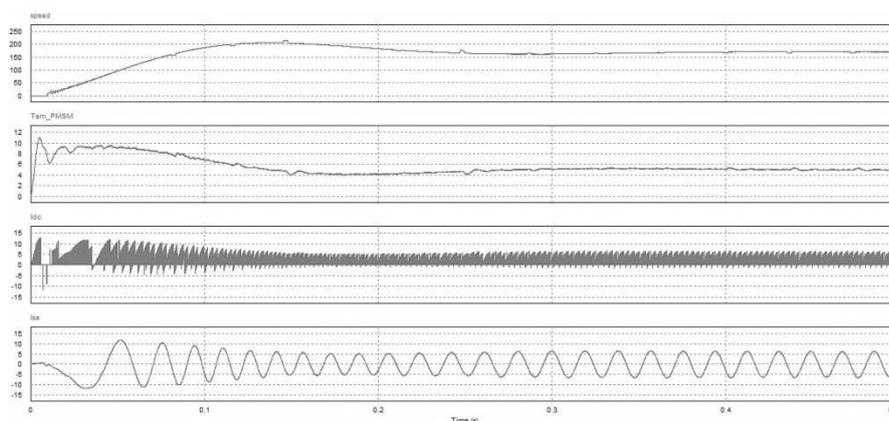


Рис. 2. Результаты моделирования пуска двигателя

На рисунке показаны скорость двигателя $speed$, электромагнитный момент на валу Tem_PMSM , потребляемый от источника питания ток I_{dc} и ток фазы I_a . Пусковой ток не превышает заданного значения в 11,6 А, при этом кратность его составляет $I_{II}/I_{ном} = 1,9$, что соответствует диапазону кратности пусковых токов при плавном пуске СДПМ. Привод выходит на установившейся режим по скорости за 30 мс.

Таким образом, приведенная в работе модель позволяет определить и настроить все основные параметры вентиляльного электропривода с СДПМ в режиме плавного пуска.

Источники

1. Беляев М.А., Гуков Д.В., Прилуцкий А.В., Выбор способа управления напряжением на зажимах бесколлекторной машины постоянного тока (вентиляльного двигателя) // Известия Санкт-Петербургского аграрного университета. 2016. № 42. С. 319–326.
2. Дорф Р.К., Бишоп Р.Х. Современные системы управления. М: Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РАБОТЫ АДКЗ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ В MATLAB/SIMULINK

Кулаев Никита Андреевич¹, Волкова Ангелина Алексеевна²

ФБГОУ «НИ МГУ им. Н.П. Огарева», г. Саранск

¹kulaevna.ee@gmail.com, ²volkova.angelina1997@mail.ru

В статье предложена виртуальная модель АДКЗ с векторным управлением в пакете Matlab/Simulink. Представлены результаты моделирования динамического режима общепромышленного двигателя А200М4 при применении законов векторного регулирования.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, векторное управление, моделирование, динамический режим.

SIMULATING OF DYNAMIC MODE OF CAGE INDUCTION MOTOR WITH VECTOR CONTROL IN MATLAB/SIMULINK

Kulaev Nikita Andreevich, Volkova Angelina Alekseevna

This article proposes a virtual model of cage induction motor with vector control in the Matlab/Simulink. The results of modeling the dynamic mode of the general industrial engine A200M4 when applying the laws of vector control are presented.

Keywords: AC motor, vector control, simulating, dynamic mode.

Интерактивная среда Simulink программного пакета для моделирования Matlab позволяет использовать готовые библиотеки блоков для моделирования электросиловых и механических систем, а также применять развитый модельно-ориентированный подход при разработке систем управления. Общая структурная схема АДКЗ с векторным управлением в Simulink показана на рис. 1.

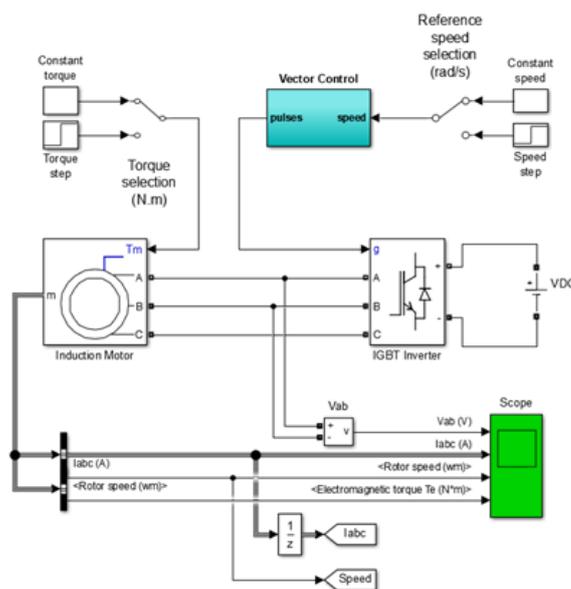


Рис. 1. Структура асинхронного электропривода с векторным управлением в Simulink

Двигатель питается от ШИМ-преобразователя с управлением по току, который построен на основе мостовой схемы (IGBT inverter). Механическая нагрузка характеризуется моментом инерции J , коэффициентом трения B и крутящим моментом T_L . Требуемые крутящий момент и частота вращения ротора задаются в блоках Constant. Задание динамического режима работы возможно с помощью блоков Step. Сигналы тока, скорости и крутящего момента двигателя доступны на выходе блока Induction Motor и с помощью блоков BusSelection выводятся для отображения на блок Scope. Система управления скоростью заключена в подсистему, на вход которой поступает заданная скорость (или ее изменение), а на выходе она выдает требуемый сигнал на ШИМ.

Контур управления скоростью использует библиотечный пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор для получения опорного тока I_q в системе координат dq , который контролирует крутящий момент двигателя. Потокосцепление двигателя регулируется опорным током I_d . Блоки $ABC-dq$ и $dq-ABC$ используются для координатных преобразований Парка-Кларк [1].

Для моделирования выберем двигатель общего назначения А200М4. Основные параметры: номинальная мощность – 37 кВт, номинальное напряжение – 330/660 В, номинальная частота вращения – 1500 об/мин.

Запустим данную имитационную модель для исследования динамического режима. Зададим постоянный момент 150 Н·м. Смоделируем разгон двигателя с 1000 об/мин (105 рад/с) до 1400 об/мин (146 рад/с).

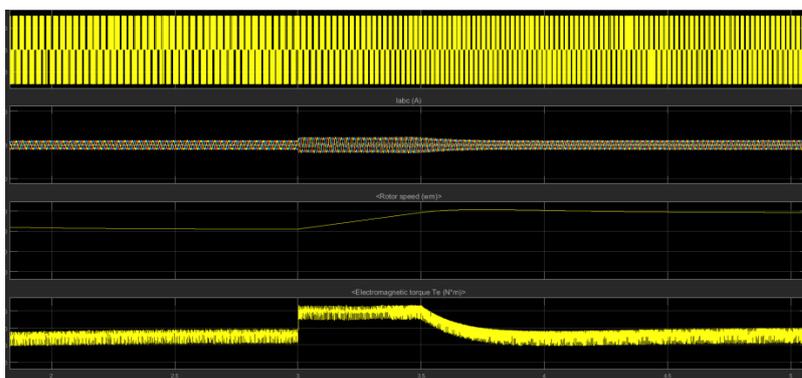


Рис. 2. Осциллограммы напряжения ШИМ, токов фаз, скорости ротора и электромагнитного момента в режиме набора скорости

Исходя из данных осциллограмм (рис. 2) можно сделать вывод о том, что в динамическом режиме при наборе скорости векторное управление позволяет добиться достаточно большого быстродействия системы, при этом, управляя не только амплитудой токов, но и взаимным расположением векторов достигается более энергоэффективное регулирование, чем при скалярном управлении.

Источники

1. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2008. 320 с.

УДК 621-311

ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ КЛАССА Н ТИПА 9НА.01

Миннебаев Булат Фанилович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ehl15@mail.ru

В статье представлено описание наиболее эффективной газовой турбины в мире класса Н типа 9НА.01 (производства фирмы General Electric), введенной в эксплуатацию с первого июля 2017 г. на Казанской ТЭЦ-3.

Ключевые слова: газотурбинная установка, компрессор, котёл утилизатор, камера сгорания.

KEY CONSTRUCTION FEATURES AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF A GAS TURBINE CLASS N TYPE 9NA.01

Minnebaev Bulat Fanilovich

The article describes the most efficient gas turbine in the world of class N type 9NA.01 (manufactured by General Electric), commissioned from July 1, 2017 at Kazan power plant-3.

Keywords: gas turbine, compressor, heat recovery steam generator, combustion chamber.

С первого июля 2017 г. на Казанской ТЭЦ-3 эксплуатируется новый блок мощностью 405,6 МВт, построенный в рамках комплексной модернизации станции. Это первый в России и СНГ энергоблок, функционирующий на основе самой мощной и самой эффективной в мире в своем классе газовой турбины 9НА.01 производства GE. Модернизация электростанции позволила вдвое увеличить установленную мощность станции с 384 до 790 МВт.

С вводом в эксплуатацию газотурбинной установки технико-экономические показатели Казанской ТЭЦ-3 вышли на новый качественный уровень. Повысилась надежность тепло и энергоснабжения промышленных предприятий и населения Казанского энергорайона.

9НА.01 – это одновальная газовая турбина, спроектированная для работы в простом цикле, как газовая турбина в энергоблоке. Газовая турбина состоит из шести основных секций: входной воздушный патрубок; компрессор; система сгорания; турбина; выхлопной диффузор; системы вспомогательного оборудования.

Сверхмощный модуль газовой турбины 9НА.01 представляет собой механический силовой двигатель, устанавливаемый на электростанции для привода генератора. ГТ представляет собой механический силовой двигатель, который приводит в движение генератор, преобразовывающий механическую энергию в электрическую. Тепловая энергия выхлопных газов используется в котле-утилизаторе, установленном за ГТ.

В состав силового двигателя газовой турбины входят: компрессор с осевым воздушным потоком, многокамерная система сгорания и четырехкаскадная турбина. Основные номинальные показатели ГТУ 9НА.01 приведены в таблице.

Основные номинальные показатели ГТУ 9НА.01

Наименование	Значение
Электрическая мощность ГТУ (брутто), МВт	388,64*
Температура выхлопных газов, °С	626,4
Степень повышения давления в компрессоре	17
Удельный расход тепла (брутто), кДж/кВтч	8835*
КПД, %	40,75*
Теплотворная способность поставляемого газа, кДж/кг.	49242*
Теплопотребление, кДж/ч	3433,6·10 ⁶ *
Частота вращения генератора, с-1	50

Примечание: *Гарантийные значения. Приведены при условиях ISO (температура +15 °С, давление 1013 мбар, влажность 60 %).

Компрессор с осевым воздушным потоком представляет собой 14-ступенчатый компрессор, в состав которого входят:

– регулируемые направляющие лопатки на входе в компрессор (ВНА) для управления воздушным потоком при выполнении последовательностей пуска и подключения нагрузки;

– первые три ступени компрессора являются поворотными, регулируемые;

– клапаны удаления воздуха для отвода части воздушного потока при пуске и останове ГТ во избежание помпажа.

В состав системы сгорания входят:

– топливные форсунки, установленные на крышке камеры сгорания;

– шестнадцать камер сгорания, в которых постоянно происходит сжигание топлива, обеспечивающее полное функционирование от скорости розжига до полной нагрузки ГТ;

– шестнадцать трубок перекрестного розжига, соединяющих камеры сгорания;

– шестнадцать переходных отсеков, соединяющих камеры сгорания с сопловыми аппаратами первой ступени турбины;

– две свечи зажигания для розжига топлива;

– комплект датчиков контроля пламени.

В состав 4-ступенчатой турбины входят:

– сопловые аппараты первой, второй, третьей и четвертой ступени;

– первое, второе, третье и четвертое рабочие колеса.

Источники

1. Инструкция по эксплуатации газовой турбины типа GE 9HA.01 (General electric) Казанской ТЭЦ-3.

2. Инструкция по эксплуатации парового котла-утилизатора типа СМІ энергоблока ГТ GE 9HA.01 (General electric) Казанской ТЭЦ-3.

3. Инструкция по эксплуатации комплексного воздухоочистительного устройства ГТ GE 9HA.01 (General electric) Казанской ТЭЦ-3.

4. Инструкция по эксплуатации вспомогательного оборудования Казанской ТЭЦ-3 (2 редакция).

УДК: 621.431

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ДЛЯ ЭМУЛЯЦИИ КАТУШЕК ЗАЖИГАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Нгуен Ван Ву
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
vu2307@gmail.com

Аннотация. В настоящее время представляется необходимым разработка аппаратно-программного комплекса, интегрирующего функциональность инженерного ЭБУ. Для его создания необходима разработка аппаратной части для эмуляции катушек

зажигания двигателя внутреннего сгорания. В данной работе представлены результаты разработки аппаратной части данного комплекса

Ключевые слова: ДВС, ЭБУ, двигатель, электронный блок управления, разработка ЭБУ, разработка ДВС.

Повышение требований к выбросам вредных веществ и улучшение экономичности двигателей внутреннего сгорания вынуждают производителей совершенствовать электронные системы управления двигателем и создавать улучшенные алгоритмы управления. В настоящее время создание новых электронных блоков управления (ЭБУ) или улучшенных алгоритмов управления основано на принципе моделирования разрабатываемого устройства с использованием вычислительных средств.

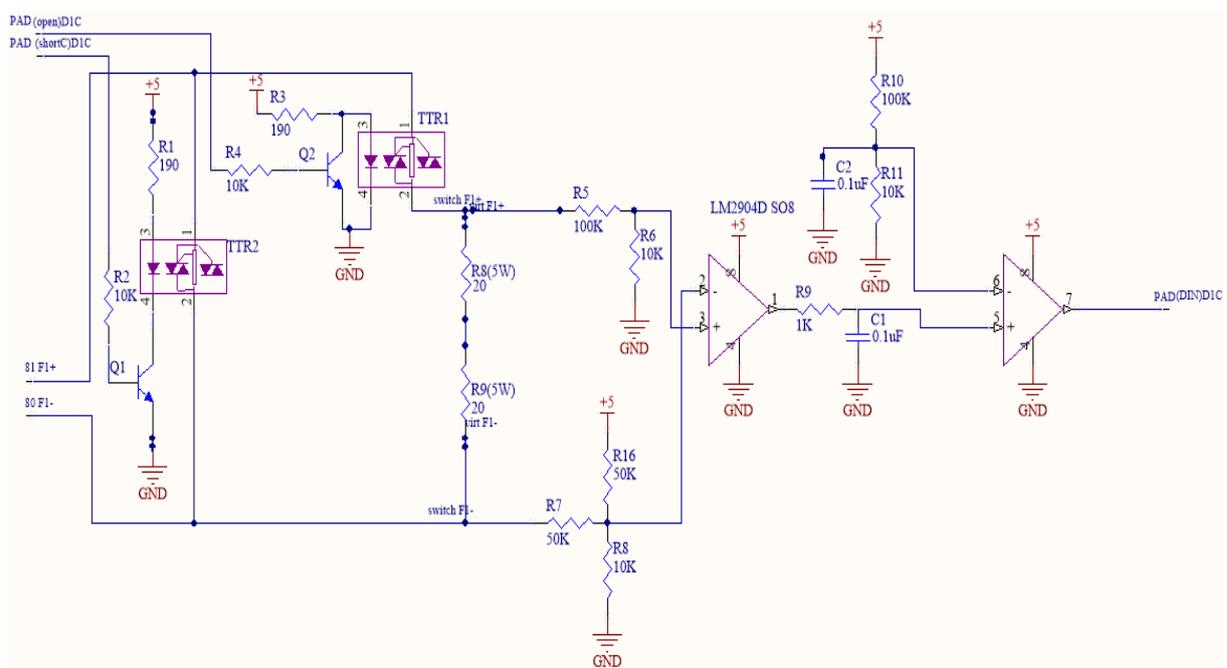


Рис. 1. Принципиальная схема подключения эмуляторов реальных катушек зажигания

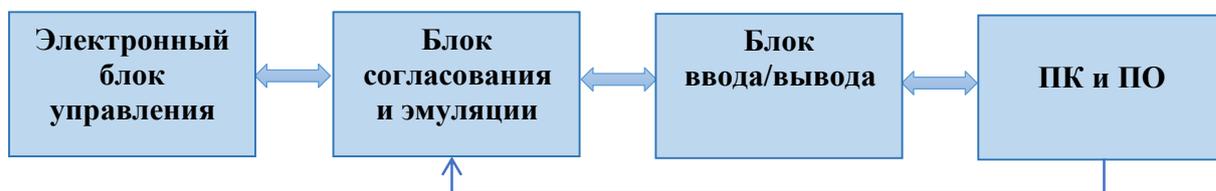


Рис. 2. Структура разрабатываемого АПК

На рис. 1 изображена принципиальная схема подключения эмулятора реальных катушек зажигания. Эта плата находится в блоке согласования и эмуляции на рис. 2.

Аппаратная часть для эмуляции катушек зажигания строилась на основе платы, принципиальная схема которой представлена на рис. 2.

На плату подаются сигналы с электронного блока управления «nFi+» и «nFi-». Реализована возможность подачи сигналов запуска эмуляции дефектов короткого замыкания и разрыва с PXI (PAD (shortC)DiC и PAD (open)DiC. Если никаких дефектов не обнаружено, сигнал далее усиливается парой операционных усилителей, включенных по схеме компаратора.

Часть схемы, на которой изображено подключение твердотельного реле TTR2 для эмуляции дефекта «короткое замыкание» работает в двух режимах: эмуляция нормального режима работы и эмуляция короткого замыкания.

Область схемы, на которой изображено подключение твердотельного реле TTR1 для эмуляции дефекта «разрыв» работает в двух режимах: эмуляция нормального режима работы и эмуляция разрыва.

Эмуляция разрыва осуществляется следующим образом: сигнал с PXI подаётся на контактную площадку под названием PAD (open)DiC в виде сигнала с уровнем напряжения 5 Вольт, открытия транзистора Q2, что твердотельное реле размыкает свои контакты 1 и 2, разрывая цепь сигнала.

После прохождения областей эмуляции дефектов сигнал идёт на операционные усилители. Операционные усилители подключены по схеме компаратора, то есть операционный усилитель включен без отрицательной обратной связи. При этом операционный усилитель обладает большим коэффициентом усиления. При работе в режиме компаратора операционный усилитель сравнивает два напряжения и в зависимости от того, на каком из входов оно выше, устанавливает на выходе плюс или минус напряжения питания. После усиления сигнал подаётся на PXI через цифровой вывод «PAD (DIN) DiC.

В результате получается схема: «подключение эмуляторов реальных катушек зажигания». Эта схема служит для имитации режима работы инжектора на виртуальной модели, а также способна работать на практике. Это позволяющая экономить на стадии проектирования двигателей внутреннего сгорания. проводить детальный анализ физических процессов протекающих в двигателе, проводить виртуальные испытания различных режимов работы двигателя.

Источники

1. «Программный комплекс ДИЗЕЛЬ-РК» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php> (дата обращения: 12.08.2019).
2. “ETAS Products” [Электронный ресурс]. URL: <http://www.etas.com/en/index.php> (дата обращения: 12.09.2019).
3. “GT-POWER Engine Simulation Software” [Электронный ресурс]. URL: http://www.gtisoft.com/upload/Engine_Performance.pdf (дата обращения: 12.09.2019).
4. Программа эмулятора внутреннего сгорания с графическим программированием: прЭВМ 2014611795 Рос. Федерация № 2013661602; заявл. 12.12.2013; опубл. 20.03.2014.
5. “SimulationX” [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itisim.com/simulationx/> (дата обращения: 12.09.2019).
6. Жуков К.Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. М.: ДМК Пресс, 2011. 688 с.
7. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля. СПб.: ВНУ, 2006. 478 с.

УДК 621.315.615.2:665.7.038.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ПРИСАДКИ В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ

Нгуен Зуи Хынг, Новиков Вячеслав Федорович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
hungnguyenat73@gmail.com

Силовые трансформаторы являются связующим звеном между генераторами энергосистемы и линиями электропередачи, а также между линиями с различными уровнями напряжения. Силовые трансформаторы претерпевают изменения в их ожидаемом сроке службы и надежности в течение многих лет. В настоящее время доступно несколько инструментов для диагностики и оценки их рабочего состояния, включая методы диагностики, основанные на анализе растворенного газа в изоляционном масле. Благодаря мониторингу растворенных газов в масле можно провести подробный анализ данных, чтобы получить прогноз системного сбоя.

Ключевые слова: трансформаторы, силовые трансформаторы, диагностика, оценка, анализ, метод.

DETERMINATION OF ANTIOXIDANT ADDITIVE IN TRANSFORMER OIL

Nguyen Zui Hyng, Novikov Vyacheslav Fedorovich

Electric power transformers are the link between the generators of a power system and the transmission lines and between lines of different voltage levels. Power transformers undergo changes in their operational life expectancy and reliability over the years. Currently, several tools for diagnosis and assessment of their operational condition are available, including diagnostic techniques based on dissolved gas analysis in the insulating oil. Through monitoring of dissolved gases in oil, it is possible to perform detailed data analysis, seeking systemic failure prediction.

Keywords: transformers; power transformers; diagnostics; assessment; analysis; method.

Электрические силовые трансформаторы являются достаточно надежным оборудованием и которое играет основную роль в поставках электрической энергии. В процессе эксплуатации трансформаторного оборудования на него ложится. Для продления срока надежной эксплуатации силовых трансформаторов проведет их диагностику [1].

Методы диагностики трансформаторного основываются на анализе растворенных газов в масле [2–6]. Определяется такая степень полимеризации изоляционной бумаги. Растворенные газы в трансформаторном масле тесно связаны с возникающими в оборудовании неисправностями [4].

Для продления срока эксплуатации силового маслонаполненного электрооборудования в изоляционном масле обычно вводят антиокислительную присадку, которая способствует рекомбинации свободной радикалов и замедляет процесс старения. Для её контроля нами использовали хроматографический метод анализа, которые позволяют определить содержание присадки и степень деструкции.

При пробоподготовке трансформаторного масла для извлечения антиокислительной присадки использовали различные экстрагенты, свойства которой пределом жидкостной колоночной хроматографией.

Источники

1. Fu W, McCalley J.D., Vittal V. Risk assessment for transformer loading // IEEE Trans Power Syst. 2001. Vol. 16. Pp. 346–353.

2. A review of monitoring methods for predictive maintenance of electric power transformers based on dissolved gas analysis / H. de Faria Jr. [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 46. Pp. 201–209.
3. Sun HC, Huang YC, Huang CM. A review of dissolved gas analysis in power transformers // Energy Procedia. 2012. Vol. 14. Pp. 1220–1225.
4. Bakar NA, Abu-Siad A, Islam S. A review of dissolved gas analysis measurement and interpretation techniques // IEEE Electrical Insulation Magazine. 2014. Vol. 30, Is. 3. Pp. 39–49.
5. Liao R, Zheng H, Grzybowski S. Particle swarm optimization least-squares support vector regression based forecasting model on dissolved gases in oilfilled power transformers // Electric Power Systems Research. 2011. Vol. 81. Pp. 2074–2080.
6. Dong L, Xiao D, Liang Y. Rough set and fuzzy wavelet neural network integrated with least square weighted fusion algorithm based fault diagnosis research for power transformers // Electr Power System Research. 2008. Vol. 78, Is. 1. Pp.129–136.
7. Новиков В.Ф., Карташова А.А., Танеева А.В., Инструментальные метода анализа: монография : в 3 т. / под ред. проф. В.Ф. Новикова. Т. 3: Газохроматографический контроль производственных процессов в энергетике. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. 328 с.

УДК 621.311.04

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ФЕРРОРЕЗОНАНСА НА ЛИНИЯХ 110 КВ ПРИ НЕПОЛНОФАЗНОМ ВКЛЮЧЕНИИ

Новожилов Валерий Владимирович¹, Губаева Ольга Германовна²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹volk13no@yandex.ru, ²mr.gubaev@mail.ru

Явление феррорезонанса достаточно хорошо изучено, и защита от него предусмотрена в виде различных организационных и технических мероприятий. Большинство технических мер по борьбе с феррорезонансом предусматривает постоянное или временное увеличение активных потерь в резонансном контуре.

Ключевые слова: заземление нейтрали, феррорезонанс, трансформатор напряжения, неполнофазный режим, математическая модель.

AUTOMATION OF THE PROCESS FOR IDENTIFYING FERRORESONANCE ON 110 KV LINES AT INCOMPLETE FUNCTION

Novozhilov Valery Vladimirovich, Gubaeva Olga Germanovna

The phenomenon of ferroresonance is well studied, and protection against it is provided in the form of various organizational and technical measures. Most technical measures to combat ferroresonance provide for a permanent or temporary increase in active losses in the resonant circuit.

Keywords: neutral grounding, ferroresonance, voltage transformer, in-phase mode, mathematical model.

В сетях с глухо заземленной нейтралью (110–500 кВ) можно выделить две основные причины возникновения феррорезонанса: отключение холостых ошиновок многоразрывными выключателями, оснащенными емкостными делителями напряжения и неполнофазные режимы, не сопровождающиеся короткими замыканиями, например, обрыв шлейфа на опоре ВЛ или на подстанции, отказ полюса выключателя при коммутации. Повреждения ТН при неполнофазных режимах характерны прежде всего для сетей 110 кВ и связаны с разземлением нейтралей силовых трансформаторов. Режим питания холостых шин ПС с ТН через неполнофазную ВЛ 110 кВ является достаточно распространенным. Рассмотренный случай свидетельствует о том, что релейная защита не может идентифицировать неполнофазный режим и подает сигнал на отключение силового трансформатора, при этом ВЛ может оставаться в работе.

В электрических цепях при последовательном или параллельном соединении нелинейной катушки индуктивности и емкостного элемента при плавном изменении напряжения или тока источника питания наблюдается явление скачкообразного изменения соответственно тока в цепи или напряжения на элементах цепи. В электротехнике такие явления называются феррорезонансными. Такие явления могут привести к тепловому разрушению изоляции и витковым замыканиям трансформаторов, так как трансформаторы не рассчитаны на длительную работу в режиме сильного насыщения.

С физической точки зрения, феррорезонансное явление делится на феррорезонанс токов, возникающий при параллельном соединении емкостного и индуктивного элементов, и феррорезонанс напряжений, возникающий при последовательном соединении емкостного и индуктивного элементов. В реально возникающих процессах рассматривать их отдельно невозможно.

На причину возникновения феррорезонансного процесса (ФРП) влияет способ заземления нейтрали трансформаторов данного класса напряжения, поэтому в сетях 110 кВ феррорезонансный процесс следует рассматривать отдельно, так как часто трансформаторы данного класса напряжения работают с разземленной нейтралью. Основным катализатором изучаемого процесса в данном случае является возникновение неполнофазного режима работы.

Существующими решениями по защите от феррорезонансных явлений в сетях 110 кВ могут быть: применение антирезонансных трансформаторов напряжения и заземление нейтралей силовых трансформаторов.

Возникающие феррорезонансные процессы носят сложный характер, для более детального изучения ФРП и принятия решения по его ликвидации необходимо процесс математически смоделировать, проверить эту модель на адекватность.

Источники

1. СТО 56947007-29.240.10.191-2014 Методические указания по защите от резонансных повышений напряжения в электроустановках 6–750 кВ [Электронный ресурс]. URL: https://www.fsk-ees.ru/about/management_and_control/test/STO_56947007-29.240.10.191-2014.pdf (дата обращения: 28.09.2019).

2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. 13-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1977. 288 с.

УДК 621

УПРАВЛЕНИЕ НАСОСНЫМ АГРЕГАТОМ С ПИД-РЕГУЛЯТОРОМ

Опейко Ольга Федоровна
БНТУ г. Минск
ooreiko@bntu.by

Пропорционально-интегро-дифференцирующие (ПИД) регуляторы широко применяются для управления промышленными объектами с неопределенностью динамических свойств. Анализ и синтезу систем с ПИД регуляторами и неопределенностью объекта в последние десятилетия уделяется значительное внимание, и проблема остается актуальной [2–4].

Ключевые слова: регулятор, обратная величина, объект, результат

PUMP UNIT CONTROL WITH PID-REGULATOR

Opeyko Olga Fedorovna

Proportional-integro-differentiating (PID) controllers are widely used to control industrial facilities with uncertain dynamic properties. Considerable attention has been paid to the analysis and synthesis of systems with PID controllers and object uncertainty in recent decades, and the problem remains relevant.

Keywords: controller, reciprocal, object, result.

В системах управления насосными агрегатами с частотно регулируемым электроприводом насосов имеется возможность управлять напором в водопроводной сети, применяя датчик давления на напорном патрубке насоса и регулятор напора, что способствует значительной экономии энергии [1]. Водопроводная сеть является сложным нелинейным динамическим объектом с распределенными параметрами. Кроме того, напорная характеристика сети подвержена изменениям в зависимости от количества потребителей, подключенных в данный период времени к сети.

Пропорционально-интегро-дифференцирующие (ПИД) регуляторы широко применяются для управления промышленными объектами с неопределенностью динамических свойств. Анализ и синтез систем с ПИД-регуляторами и неопределенностью объекта в последние десятилетия уделяется значительное внимание, и проблема остается актуальной [2–4].

Неопределенность свойств объекта управления затрудняет синтез регуляторов напора аналитическими методами, в связи с чем в подобных случаях применяют настройку параметров регуляторов известными методами вручную и автоматически, например, методом Циглера – Николса [5]. Такая настройка трудоемка, приводит к дополнительным затратам энергии и дает приемлемый, но не наилучший результат.

Синтез линейного регулятора для нелинейного объекта возможен после линеаризации объекта. Если передаточная функция объекта известна с точностью до интервалов изменений параметров, расчет параметров ПИД регулятора возможен приближенным методом.

Для системы с интервально параметрической неопределенностью объекта и ПИД-регулятором необходимо определить условия, при которых объект можно стабилизировать ПИД-регулятором и обеспечить требуемые показатели качества. Система управления насосом PI , приводимым в движение двигателем M , подключенным к преобразователю UZ электрической энергии с ПИД регулятором напора P представлена на рис. 1.

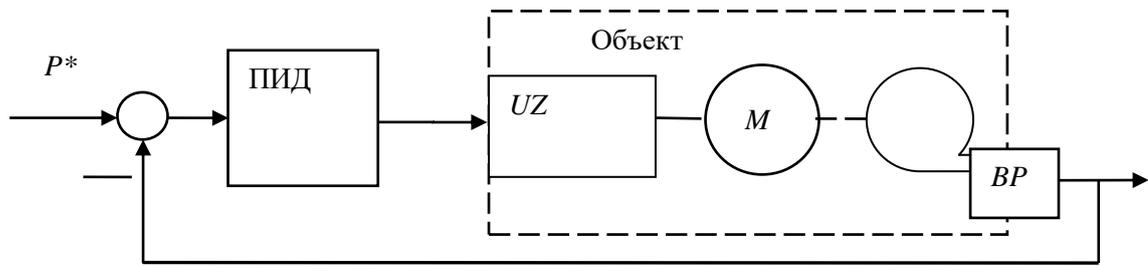


Рис. 1. Структура управления насосом с ПИД регулятором напора

Линеаризованный объект и ПИД регулятор описываются передаточными функциями V и R соответственно:

$$V(s) = \frac{M_P(s)}{N_P(s)}, \quad R(s) = \frac{M_R(s)}{N_R(s)} = \frac{k_I}{s} + k_P + \frac{k_D s}{(s + \nu)} = \frac{\nu(c_2 s^2 + c_1 s + c_0)}{s(s + \nu)}.$$

В выражении для ПИД регулятора k_I, k_P, k_D есть коэффициенты интегрирующей, пропорциональной и дифференцирующей составляющих сигнала регулятора, а коэффициенты c_i , ($i=0,1,2$) выражаются через них: $c_0 = k_I, c_1 = k_P + k_I / \nu, c_2 = k_D + k_P / \nu$. Параметр $\nu = 1/\tau$ – обратная величина малой постоянной времени τ реального дифференцирующего звена.

Система имеет передаточную функцию

$$W(s) = \frac{M_R(s)M_P(s)}{N_R(s)N_P(s) + M_R(s)M_P(s)}.$$

Полиномы $M_R(s), N_R(s), M_P(s), N_P(s)$ числителей и знаменателей регулятора и объекта управления определяются выражениями, где $m \leq n$:

$$M_R(s) = \nu(c_2 s^2 + c_1 s + c_0), N_R(s) = s(s + \nu),$$

$$M_P(s) = b_{Pm} s^m + b_{Pm-1} s^{m-1} + \dots + b_{P1} s + b_{P0},$$

$$N_P(s) = s^n + a_{Pn-1} s^{n-1} + \dots + a_{P1} s + a_{P0}.$$

Параметры объекта принадлежат интервалам:

$$b_{Pi} \in [b_{Pi}, \bar{b}_{Pi}], (i = 1, 2, \dots, m),$$

$$a_{P_i} \in [\underline{a}_{P_i}, \bar{a}_{P_i}], (i = 1, 2, \dots, n)$$

Характеристический полином системы принимает вид:

$$\begin{aligned} N(s) &= s(s + \nu)N_P(s) + \nu(c_2s^2 + c_1s + c_0)M_P(s) = \\ &= s(s + \nu)(s^n + a_{P_{n-1}}s^{n-1} + \dots + a_{P_1}s + a_{P_0}) + \\ &+ \nu(c_2s^2 + c_1s + c_0)(b_{P_m}s^m + b_{P_{m-1}}s^{m-1} + \dots + b_{P_1}s + b_{P_0}). \end{aligned}$$

Для частного случая $b_{P_i} = \underline{b}_{P_i} = 0, (i = 1, 2, \dots, m), b_{P_0} = \underline{b}_{P_0}$, учитывая обозначения $c_1' = c_1 / c_2, c_0' = c_0 / c_2$ полином системы принимает вид^

$$N(s) = s(s + \nu)(s^n + a_{P_{n-1}}s^{n-1} + \dots + a_{P_1}s + a_{P_0}) + \nu c_2 (s^2 + c_1's + c_0') \underline{b}_{P_0}.$$

При значениях $n = 1$ и $n = 2$ выполняются условия М В Меерова [6] устойчивости системы при бесконечном коэффициенте усиления $\nu c_2 \underline{b}_{P_0} = \infty$, если полином $M_R(s) = \nu(c_2s^2 + c_1s + c_0)$ устойчив. При значении $n = 2$ дополнительно должно выполняться условие для коэффициентов полинома $N(s)$

$$\nu + a_{P_1} - c_1' > 0.$$

Вследствие свойства устойчивости при бесконечном усилении $\nu c_2 \underline{b}_{P_0} = \infty$ полином становится равен вырожденному $N(s) = (s^2 + c_1's + c_0')$, и таким образом, свойства системы будут полностью определяться параметрами регулятора и не зависеть от параметров объекта.

При значениях $n > 2$ условия М В Меерова [6] не выполняются. Однако при конечном но достаточно большом усилении $\nu c_2 \underline{b}_{P_0}$ свойства системы могут в основном определяться параметрами регулятора и мало зависеть от параметров объекта.

При рациональном выборе параметров регулятора и ограниченном величиной ω_C спектра входного сигнала P^* вектор Михайлова $N(j\omega)$ для полинома $N(s)$ должен удовлетворять при $\omega < \omega_C$ условию $|N(j\omega)| \leq \varepsilon$, где $0 < \varepsilon < 0,5$ малая положительная величина, пропорциональная допустимой погрешности показателей качества. Параметр ν для точности дифференцирования должен быть $\nu > \varepsilon^{-1} \omega_C$.

Следовательно, расчет параметров ПИД регулятора должен производиться исходя из желаемых значений корней вырожденного полинома $(s^2 + c_1/s + c_0)$. во всем интервале изменений параметров объекта при $\omega < \omega_C$.

Способ позволяет определить все четыре параметра v, c_0, c_1, c_2 ПИД – регулятора на основании передаточной функции объекта с заданными интервалами изменений параметров и на основании показателей качества управления. Решение является приближенным.

Источники

1. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока. Мн.: ЗАО «Техноперспектива», 2004. 527 с.
2. Keel, L.H. and S.P. Bhattacharia. Controller Synthesis Free of Analytical Models: Three Term Controllers // IEEE Trans on AC. 2008. Vol. 53, Is. 6. Pp. 1353–1369.
3. Tomislav, B. Šekara and Miroslav R. Mataušek. Optimization of PID Controllers Based on Maximization of the Proportional Gain Under Constraints on Robustness and Sensitivity to measurement Noise // IEEE Trans. On AC. 2009. Vol. 54, Is. 1. Pp. 184–189.
4. Åström, K. J. and T. Hägglund, PID Controllers: Theory, Design and Tuning. Research Triangle Park, North Carolina, USA: Instrument Society of America, 1995. 343 p.
5. Ziegler J.G. and Nichols N.B. Optimum Setting for Automatic Controller // Transactions of the ASME. 1942. Vol. 64. Pp. 759–768.
6. Мееров М.В. Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности. М.: Наука, 1967. 424 с.

УДК 621.316.925.1

КОДОВЫЙ ЗАМОК НА ОСНОВЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЕ И РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

Рудаков Александр Иванович¹, Фаттахов Ильназ Ильдарович²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
rud-38@mail.ru¹, iln.fattahov@yandex.ru²

В данной статье рассматривается устройство кодового замка, принцип его действия.

Ключевые слова: промежуточное реле, реле времени, диодный мост, логика И, ИЛИ, НЕ.

CODE LOCK BASED ON INTERMEDIATE RELAYS AND TIME RELAYS

Rudakov Alexander Ivanovich, Fattahov Ilnaz Ildarovich

This article discusses the combination lock device, the principle of its operation.

Keywords: intermediate relay, time relay, diode bridge, logic AND, OR, NOT.

Кодовый замок состоит из восьми промежуточных реле, в которых реализуется логика, одного реле времени, для задержки времени на размыкание, диодного моста, который является источником питания данного устройства, переключателя для сброса, клеммной колодки, кнопочного поста и лампочки накаливания. Лампочка используется в качестве нагрузки и для наглядности введенного кода.

На рис. 1 показан кодовый замок (1 – промежуточные реле; 2 – реле времени, 3 – диодный мост, 4 – переключатель, 5 – клеммная колодка, 6 – кнопочный пост, 7 – лампочка), а на рис. 2 – его принципиальная электрическая схема.

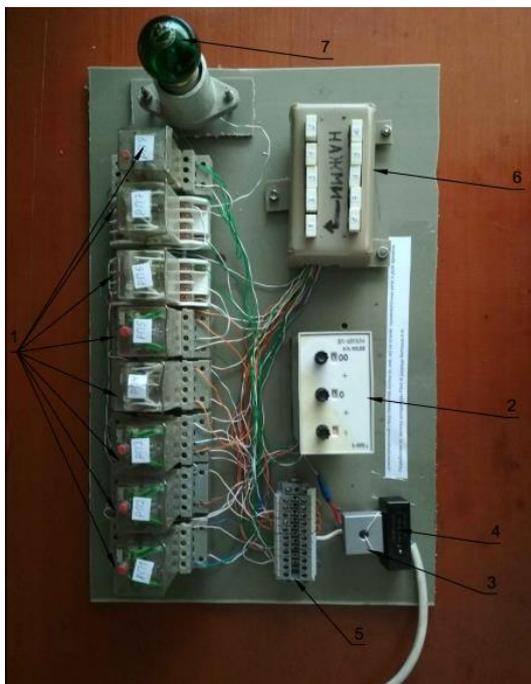


Рис. 1. Кодовый замок

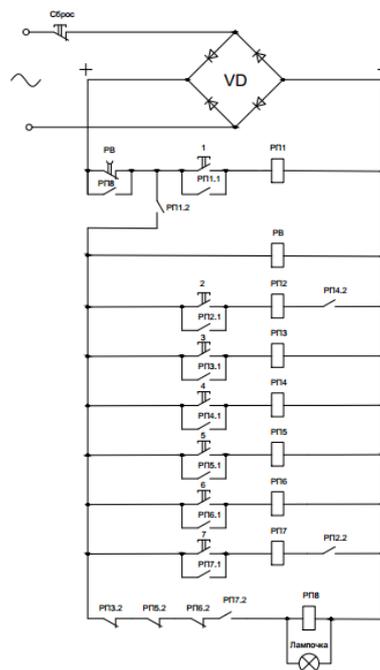


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема

Задача заключается во включении лампочки, чтобы его включить, нужно правильно набрать код, т. е. в определенном порядке нажать на кнопки.

При нажатии на кнопку 1 (рис. 2) подается питание на катушку промежуточного реле РП1 и он своим контактам РП1.1 шунтирует сам себя для самозахвата, а контактом РП1.2 подает питание на катушку реле времени РВ. После подачи питания реле времени начинает отсчет.

При нажатии на кнопку 4, подается питание на катушку РП4 и замыкаются контакты РП4.1, РП4.2. Контакт РП4.2 стоит последовательно с катушкой РП2, не давая ему включаться, т. е. без нажатия на кнопку 4 РП2 не включится, таким образом реализована логика НЕ. Теперь нажимаем на кнопку 2, подается питание на катушку РП2. РП2 замыкает свои контакты РП2.1 и РП2.2 (такая же схема как с РП4). После этого нажимаем на кнопку 7, подается питание на катушку РП7, замыкаются контакты РП7.1 и РП7.2. Контакт РП7.2 соединен последовательно с контактами РП3.2, РП5.2, РП6.2 и катушкой РП8. РП8 не включится, пока не будут замкнуты контакты РП3.2, РП5.2, РП6.2, РП7.2, так реализована логика И. После нажатия на кнопку 7 появляется питание на РП8 и на лампочке. РП8 шунтирует своим контактом контакт реле времени, не давая схеме сбрасываться, таким образом, реализована логика ИЛИ, т. е. чтобы не пропадало питание, должен быть замкнут хотя бы один контакт или РП8 или РВ.

Данное устройство можно установить на двери или использовать в процессе обучения.

Источники

1. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. М.: Энергия, 1976. 559 с.

УДК 62-82

РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРОВ

Рыбак Александр Тимофеевич¹, Цыбрий Ирина Константиновна²,
Зенин Александр Романович³

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону
¹2130373@mail.ru, ²irconst@mail.ru, ³azenin@donstu.ru

В статье произведён анализ конструкций применяемых в машиностроении стендов для испытаний поршневых гидравлических цилиндров. Особо выделены стенды с рекуперацией энергии в процессе испытаний, отмечены их недостатки

и предложена оригинальная конструкция стенда для ресурсных испытаний гидроцилиндров с рекуперацией энергии, приведен алгоритм его работы и отмечены преимущества по сравнению с известными в настоящее время испытательными стендами.

Ключевые слова: гидравлические цилиндры, надёжность, испытания, рекуперация энергии, испытательный стенд.

ENERGY RECOVERY AT RESOURCE TESTS OF HYDRAULIC CYLINDERS

Rybak Alexander Timofeevich, Tsybrii Irina Konstantinovna,
Zenin Alexander Romanovich

The article analyzes the designs of stands used in mechanical engineering for testing piston hydraulic cylinders. Stands with energy recovery during the tests were highlighted, their shortcomings were noted, and an original test bench design was proposed for the life tests of hydraulic cylinders with energy recovery, an algorithm for its operation was presented, and advantages compared to the currently known test benches were highlighted.

Keywords: hydraulic cylinders, reliability, tests, energy recovery, test bench.

Испытания являются ответственным этапом при создании объемных гидромашин, поскольку во время этих испытаний должны быть выявлены и устранены недостатки конструкции и технологические ошибки, определены характеристики, энергетические показатели, долговечность, надежность, пусковые и маневренные свойства, шумовая характеристика и другие показатели работы гидросистемы. Ресурсные испытания проводятся для подтверждения долговечности, т. е. с целью оценки вероятности выработки гидравлическими машинами назначенного ресурса или ресурса до первого отказа. Проведение стендовых ресурсных испытаний актуально и в условиях сборочного производства, так как гидромашин, поставляемые производителем, зачастую не вырабатывают положенный ресурс, что приводит к выходу из строя всей гидросистемы [1, 2].

Важное условие проведения ресурсных испытаний – обеспечение максимально возможного соответствия между режимами нагружения испытуемых гидромашин и условиями их работы при эксплуатации.

На рис. 1 представлена схема стенда для ресурсных испытаний поршневых гидравлических цилиндров предлагаемая стандартом [3].

Главным недостатком данной схемы ресурсных испытаний гидроцилиндров является то, что нагрузка на испытуемом гидроцилиндре создается за счёт дросселирования рабочей жидкости в напорном клапане 14,

что вызывает ряд проблем, таких, например, как выделение большого количества тепла, что приводит к нагреву рабочей жидкости, а соответственно и к необходимости её охлаждения, но главным отрицательным эффектом данной методики испытания является значительная потеря энергии, а следовательно и низкая рентабельность процесса испытания [4].

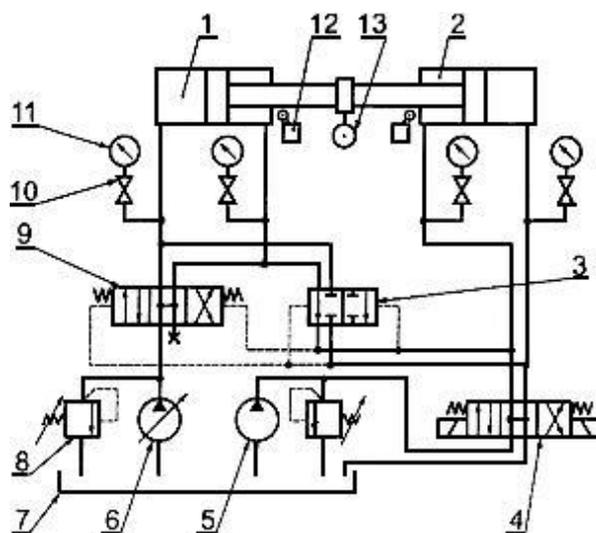


Рис. 1. Схема стенда для испытаний поршневых гидравлических цилиндров: 1 – испытуемый гидроцилиндр; 2 – нагрузочный гидроцилиндр; 3 – двухпозиционный гидрораспределитель с гидравлическим управлением; 4 – трехпозиционный гидрораспределитель с электромагнитным управлением; 5 – нагрузочный насос; 6 – насос привода; 7 – гидробак; 8 – предохранительный гидроклапан; 9 – трехпозиционный гидрораспределитель с гидравлическим управлением; 10 – кран-демпфер; 11 – манометр; 12 – выключатель; 13 – динамометр

Тот же стандарт [3] предлагает схему испытания поршневых гидроцилиндров с рекуперацией энергии. Схема стенда для ресурсных испытаний гидроцилиндров приведена на рис. 2.

В этом случае нагрузка на испытуемом гидроцилиндре 10 создаётся при помощи нагрузочного гидроцилиндра 11, усилие на котором возникает в результате действия статического давления создаваемого при помощи нагрузочного насоса 2. Однако при применении данной схемы рекуперации энергии приводит к тому, что при испытаниях работа испытуемого гидроцилиндра 10 в значительной степени не соответствует его функционированию при реальной эксплуатации. В результате механическое перемещение испытуемого гидроцилиндра приводит к повышенному и неравномерному трению, а нагрузка статическим давлением осуществляется против направления перемещения штока, при этом испытываемые уплотнения поршня работают в режиме, несоответствующем ТУ эксплуатации.

Основной целью данной работы является разработка стенда для ресурсных испытаний поршневых гидравлических цилиндров, обеспечивающего максимальное приближение работы испытуемых гидроцилиндров к реальным условиям эксплуатации и минимальные потери энергии при их ресурсных испытаниях.

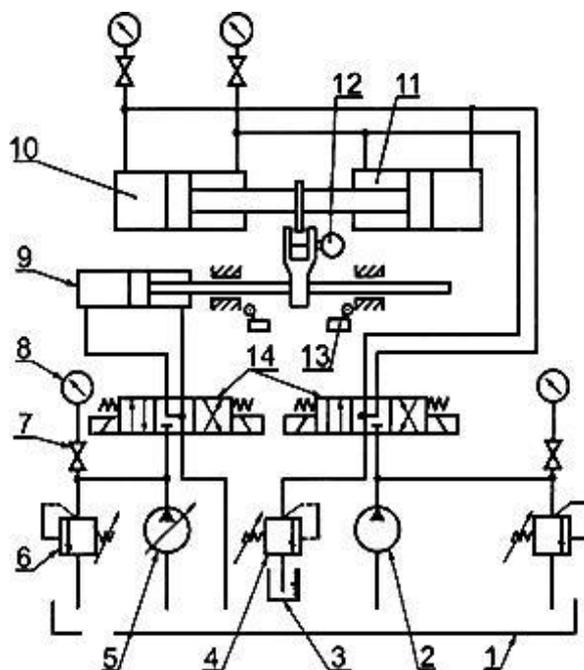


Рис. 2. Схема стенда для испытаний гидроцилиндров: 1 – гидробак; 2 – нагрузочный насос; 3 – мерная емкость; 4 – подпорный гидроклапан; 5 – насос привода; 6 – предохранительный гидроклапан; 7 – кран-демпфер; 8 – манометр; 9 – гидроцилиндр привода; 10 – испытуемый гидроцилиндр; 11 – нагрузочный гидроцилиндр; 12 – динамометр; 13 – выключатель; 14 – гидрораспределитель

Разработка стенда для ресурсных испытаний гидроцилиндров с рекуперацией энергии проведена на основе использования ранее предложенного способа испытания с рекуперацией энергии объемных гидравлических машин вращательного действия [4–7]. В этом случае нагрузкой для одной испытуемой гидромашин (например, для гидронасоса) служит другая испытуемая гидромашин (гидромотор), и наоборот. Этот способ значительно уменьшает габариты и упрощает схему испытательного стенда, так как отсутствуют специальные системы нагружения. Данный метод повышает КПД системы испытаний и, как следствие, снижает энергозатраты. В работе [6] предлагается схема стенда для испытания гидромашин с различными рабочими объемами, согласование работы которых осуществляется путем введения механической передачи, а гидравлическая магистраль является напорной с регулируемой нагрузкой.

В настоящей работе предлагается использовать напорную магистраль схемы станда для испытания гидравлических машин вращательного движения для ресурсных испытаний поршневых гидравлических цилиндров [8, 9]. Принципиальная гидравлическая схема станда для испытаний поршневых гидроцилиндров изображена на рис. 3. Сущность данной схемы испытания гидроцилиндров заключается в том, что в напорную гидрوليнию схемы испытания гидромашин вращательного действия между гидронасосом и гидромотором устанавливается пара поршневых гидроцилиндров ГЦ1 и ГЦ2.

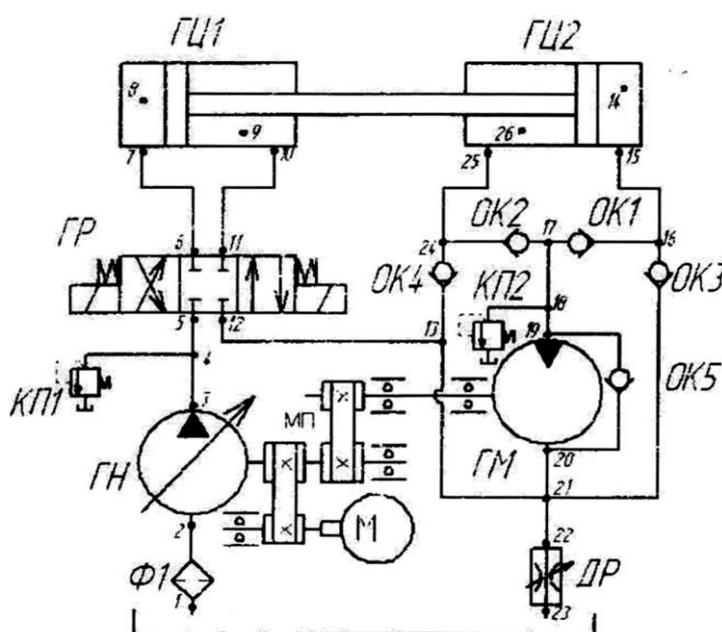


Рис. 3. Принципиальная гидравлическая схема станда для ресурсных испытаний поршневых гидроцилиндров с рекуперацией энергии

Работа станда заключается в следующем. Электродвигатель М приводит во вращение вал регулируемого гидронасоса ГН. Механическая энергия, поступившая с вала электродвигателя, преобразуется гидронасосом ГН в гидравлическую энергию рабочей жидкости, которая посредством магистрали 3–4–5 попадает в гидрораспределитель ГР, который направляет её, например, по магистрали 6–7 в поршневую полость испытуемого гидроцилиндра ГЦ1 (который в данном случае выполняет функции гидравлического двигателя).

Гидравлическая энергия рабочей жидкости благодаря работе гидроцилиндра ГЦ1 преобразуется в механическую энергию перемещения его поршня, который механически связан со штоком второго испытуемого гидроцилиндра ГЦ2.

Механическая энергия перемещения поршня гидроцилиндра ГЦ2, выполняющего в схеме выполняет функции гидравлического насоса, преобразуется в гидравлическую энергию рабочей жидкости, находящейся в его поршневой полости 14. Через магистраль 15–16–ОК1–17–18–19 жидкость поступает на вход гидромотора ГМ. В гидромоторе осуществляется преобразование гидравлической энергии рабочей жидкости в механическую энергию вращения его вала, которая посредством механической передачи МП передается на вал гидронасоса ГН, где суммируется с энергией вращения вала электродвигателя и вновь преобразуется гидронасосом в энергию рабочей жидкости. Работа стенда при движении гидроцилиндра ГЦ1 из крайнего правого в крайнее левое положение осуществляется аналогично, при этом распределитель ГР направляет поступившую на его вход 5 жидкость по магистрали 11–10 в штоковую полость гидроцилиндра ГЦ1.

В предлагаемой схеме, механическая передача создает условие, при котором подача гидронасоса будет несколько превосходить потребный расход гидромотора при заданной частоте вращения вала насоса ГН, соответствующей частоте вращения электродвигателя М. Это приведет к росту давления в напорной магистрали, связывающей гидроцилиндр ГЦ2 с гидромотором до давления настройки предохранительного клапана КП2. Излишки рабочей жидкости будут сбрасываться из этой магистрали в гидробак через предохранительные клапаны КП2. Таким образом, регулируя настройку предохранительного клапана КП2, можно изменять давление в магистрали, тем самым регулировать величину нагружения испытуемых гидроцилиндров. Обратный клапан ОК предназначен для шунтирования гидромотора в процессе разгона и торможения гидроцилиндров.

Проведенный первичный анализ работы предлагаемого стенда для ресурсных испытаний гидроцилиндров с рекуперацией энергии показал его техническое преимущество над стандартными схемами, применяемыми в настоящее время.

В разработанных схемах основным элементом, служащим для распределения гидравлической энергии рабочей жидкости, является гидрораспределитель, причем его сливные магистрали работают под нагрузкой, которая передается на гидромотор. Данное обстоятельство в значительной степени может сказаться на ресурсе работы гидрораспределителя, вследствие воздействия знакопеременных нагрузок. Также данным нагрузкам при работе стенда будут подвергнуты все элементы гидромеханической системы. Вследствие этого для более детальной оценки их работоспособности, ресурса работы и подбора оптимальных конструктивных

параметров элементов, а также повышения точности регулирования [10], ведется работа над созданием математических моделей динамических процессов в стендах, что позволит также анализировать поведение систем при испытании гидроцилиндров широкого номенклатурного ряда.

Источники

1. Никитин О.Ф. Надежность, диагностика и эксплуатация гидропривода мобильных объектов: учеб. пособие. М.: Изд-во МГГУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 311 с.
2. Понаморенко Ю.Ф. Испытание гидропередат. М.: Машгиз, 1969. 291 с.
3. ГОСТ 18464-96. Гидроприводы объемные. Гидроцилиндры. Правила приемки и методы испытаний [Электронный ресурс]. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001 URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017737> (дата обращения: 24.08.2019).
4. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. М.: Машиностроение. 1974. 606 с.
5. Исследование рекуперативной гидромеханической системы стенда испытаний объемных гидромашин / А.Т. Рыбак [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета. 2011. Т. 11, № 9 (60). С. 1651–1661.
6. Рыбак А.Т., Устьянцев М.В. Результаты теоретического исследования рекуперативной системы привода стенда испытаний объемных гидравлических машин // Транспорт 2012: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. Ростов н/Д., 2012. С. 374–376.
7. Устьянцев М.В. Повышение эффективности привода стенда испытаний гидромашин вращательного действия: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ростов н/Д., 2012. 18 с.
8. Рекуперация энергии при испытании поршневых гидроцилиндров / А.Н. Чукарин [и др.] // Инновационные технологии в машиностроении: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Ростов н/Д., 2009. С. 64–67.
9. Рекуперация энергии при испытании гидроцилиндров / А.Н. Чукарин [и др.] // Вестник Рост. гос. ун-та путей сообщ. 2009. № 4. С. 12–16.
10. Tsybrii I.K., Ignatenko V.I. Analysis of the influence of positive feedback on the quality of the control system // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 132. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201713202011>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ НА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рюмин Евгений Валентинович¹, Якунин Анатолий Николаевич²

ФГБОУ ВО «АГНИ», г. Альметьевск

¹e_ryumin@mail.ru, ²anatol_ee@rambler.ru

В статье рассмотрены особенности работы регулируемых по скорости электроприводов, оснащённых преобразователями частоты, в нефтяной промышленности. Электродвигатели, питающиеся от преобразователей частоты, получают напряжение синусоидальной «срезанной» формы, в которой просматриваются искажения, вследствие наличия гармонических составляющих. Гармоники вызывают увеличение потерь на тепло и действуют в итоге на состояние изоляции электродвигателя.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, электродвигатель, высшие гармоники.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF A FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE ON THE ELECTRIC MOTORS AT OIL PRODUCTION OBJECTS

Ryumin Evgeny Valentinovich, Yakunin Anatoly Nikolaevich

In this article, we considered features of the speed-controlled electric drives equipped with frequency converters in the oil industry. An electric motors that powered by frequency converters receive a voltage of a sinusoidal “cut-off” shape, in which distortions are present, due to the presence of high harmonic components. Harmonics are causes an increase in heat loss and ultimately affect the condition of insulation in the electric motor.

Keywords: electric motor, frequency-controlled electric drive, high harmonics.

Современные условия эксплуатации объектов добычи и транспортировки нефтепродуктов нефтяной промышленности требуют обеспечение режимов работы переменной скоростью вращения электродвигателя для реализации алгоритмов управления технологическим процессом. Широкое применение получили системы частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП), позволяющие снизить потребление электрической энергии и оптимизировать технологические процессы [2]. Использование большого количества ЧРЭП ставит новые задачи обеспечения надёжности работы электрооборудования.

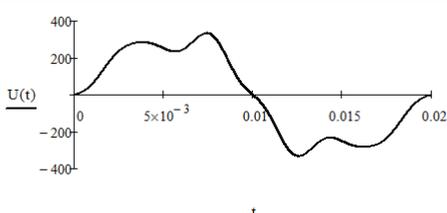
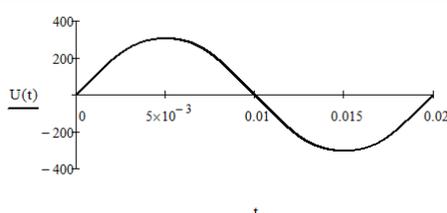
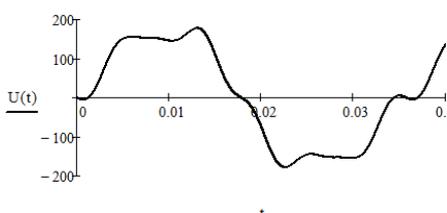
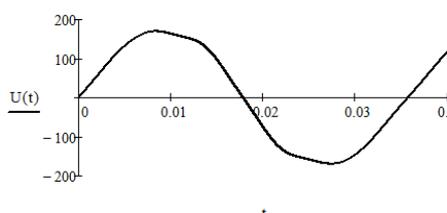
Основным элементом в составе ЧРЭП является преобразователь частоты (ПЧ), построенный по схеме двойного преобразования: неуправляемого выпрямителя (звено постоянного тока) и силового импульсного инвертора, в основе работы которого положена широтно-импульсная модуляция выходного напряжения [1]. При работе ПЧ неизбежно возникают искажения напряжения, вызванные наличием высших гармоник, выражающиеся в следующих последствиях:

- увеличении токов и напряжений высших гармоник вследствие параллельного и последовательного резонансов;
- ускоренном старении изоляции электрооборудования и сокращение вследствие этого срока его службы.

Чтобы снизить действие высших гармоник в структуре ПЧ устанавливают соответствующие фильтры, как в составе устройства, так и дополнительно, отдельным блоком.

Для определения наличия и состава гармоник в питающих цепях статора АД, была собрана малая физическая модель на ПЧ без фильтра высших гармоник и ПЧ с пассивным фильтром. Во время исследования контролю подвергались ток статора и напряжение фазы АД, а также оценивался состав гармоник напряжения при скоростях вращения вала АД номинальной 1440 мин^{-1} и пониженной 770 мин^{-1} при различных комплектациях ПЧ. Результаты исследования представлены на таблице.

Осциллограммы напряжения при различных комплектациях ПЧ

Комплектация ПЧ	
без фильтра	с фильтром
На номинальной скорости при $f = 50 \text{ Гц}$	
	
На пониженной скорости при $f = 28 \text{ Гц}$	
	

При анализе гармонического состава сделан акцент на наличие 3-й и 5-й гармоник, так как они вызывают наибольшее опасение у потребителей и к ним разрабатываются активные фильтры. Согласно ГОСТ Р 54149 п. 4.2.4 «Несинусоидальность напряжения» для напряжения 380 В для 3-й и 5-й гармоник коэффициент гармонической составляющей напряжения составляет соответственно 5 и 6 %. В нашем случае полученные экспериментальные данные для ПЧ с фильтром соответствуют приведённым требованиям, что нельзя сказать об ПЧ без фильтра. Таким образом, эксперимент подтверждает важность структурного состава и реализуемых функций ПЧ.

Наличие значительных искажений в форме кривой напряжения может привести к перенапряжению или местному перегреву обмоток. При этом эти действия могут ухудшить состояние изоляции и как следствие привести к уменьшению срока эксплуатации [3]. Так, согласно полученным экспериментальным данным, дополнительные потери мощности от действия высших гармоник могут быть более 2,5 % при номинальной скорости и более 5 % при пониженной скорости вращения электродвигателя. Эти потери не выполняют полезной работы, а дополнительно перегревают электродвигатель при его работе.

Таким образом, имеющиеся статистические данные и результаты проведённого эксперимента позволяют предполагать существенное влияние высших гармоник на скорость старения изоляции обмоток электродвигателей объектов нефтяной промышленности и, следовательно, негативное влияние высших гармоник на надёжность работы электродвигателей.

Источники

1. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Академия, 2006. 272 с.

2. Якунин А.Н. Использование стационарного частотно-регулируемого электропривода на станке-качалке // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию высшего нефтегазового образования в РТ. Альметьевск, 2017. Т. 2. С. 302–305.

3. Никитин К.И., Поляков Д.А. Определение срока службы изоляции // Фундаментальные исследования. 2015. № 3. С. 129–132.

ИНФОРМАЦИОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Саушев Александр Васильевич
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург
saushev@bk.ru

В статье предложена реализация энергоинформационной модели для управления состоянием электротехнических систем применительно к объектам водного транспорта. Сформированы принципы построения этой модели. Структура разработанной схемы представлена в виде основных функциональных блоков, которые входят в состав более укрупненных структурных единиц: блока моделирования, блока редактирования, блока отображения.

Ключевые слова: электротехническая система, объекты водного транспорта, информационно-энергетическая модель, управление состоянием.

INFORMATION AND ENERGY MODEL FOR MANAGING THE STATE OF ELECTRICAL TECHNICAL SYSTEMS OF WATER TRANSPORT OBJECTS

Saushev Aleksandr Vasilievich

The article proposes the implementation of an energy-information model for managing the state of electrical systems in relation to water transport facilities. The principles of constructing this model are formed. The structure of the developed scheme is presented in the form of the main functional blocks that are part of more integrated structural units: a modeling block, an editing block, a display block.

Keywords: electrotechnical system, water transport facilities, information and energy model, state management.

Необходимость синтеза универсальной информационно-энергетической модели для управления состоянием электротехнических систем (ЭТС) объектов водного транспорта (ОВТ) определяется участвующими отказами их элементов. Это обстоятельство приводит к необходимости разработки теоретических положений, выполнение которых позволит: развить методы моделирования режимов функционирования и оценки состояния ЭТК ОВТ в условиях неполноты информации; усовершенствовать методы исследования и разработать способы и принципы, обеспечивающие повышение их надежности и эффективности.

Исследованию сложных электротехнических комплексов (ЭТК) как совокупности взаимосвязанных и взаимодействующих подсистем различной физической природы посвящены работы известных отечественных и зарубежных ученых. Отмечается, что в ЭТК, можно выделить магнитные, электрические, тепловые, механические и другие подсистемы, различающиеся физической природой с учетом их взаимного влияния на процессы преобразования энергии в динамических и статических режимах комплекса в целом [1]. В работе [2] приводится морфологический анализ категорий ЭТС и ЭТК.

Для ЭТС ОВТ характерны, прежде всего, электрические и механические процессы, а также переменчивые и сложные условия эксплуатации. В докладе на основе анализа различных структур рассматривается синтезированная структура ЭТК применительно к ОВТ.

Проведенные исследования и анализ структуры, параметров, режимов работы и других особенностей функционирования ЭТС ОВТ выявили следующие специфические факторы, характерные для этих объектов: повышенная категория надежности электроснабжения; существенное влияние на работу элементов ЭТК внешних, возмущающих воздействий, включая температуру, влажность вибрацию, радиацию и другие факторы; гетерогенность элементов электроэнергетической системы ЭТК ОВТ, характеризуемая разнообразным составом и, как следствие, множественностью описания электротехнических устройств, входящих в ее состав; наличием в составе элементов ЭТК большого количества коммутационной аппаратуры и контактных соединений, от работоспособности которых зависит отказоустойчивость, надежность и безопасность всего комплекса; интенсивное развитие систем малой и автономной генерации электроэнергии.

В докладе приводятся выводы относительно возможных способов формализации и представления процесса управления состоянием электротехнических устройств, определяющие стратегию технического обслуживания и ремонта ЭТК ОВТ. На основе анализа литературных источников разработана структурно-функциональная схема управления жизненным циклом ЭТК ОВТ. Схема отражает факторы, влияющие на процесс функционирования ЭТК, методы и алгоритмы, обеспечивающие его работоспособность, показатели, характеризующие качество его функционирования. Принимая во внимание сложность протекания процессов функционирования ЭТК ОВТ, зависящих от множества факторов, отмечается необходимость: повышения уровня принятия решений в условиях неполноты информации и неопределенности в любой период жизненного цикла ЭТК ОВТ; развития методологии моделирования ЭТК, поддерживаемых вычислительными и информационными системами.

В докладе анализируются возможные методы моделирования режимов функционирования ЭТК ОВТ на основе способов и принципов автоматизированного формирования множества математических моделей отдельных электротехнических модулей и общего описания электротехнических систем сложной структуры, составляющих ЭТК. При моделировании предлагается перейти от классических уравнений к функционалу, содержащему информацию о техническом состоянии элементов ЭТС, а не только информацию о номинальных (паспортных) значениях параметров элементов комплекса. Особенность энергоинформационной модели ЭТС ОВТ заключается в расширении информационного «насыщение» матриц состояния элементов ЭТС. Это обеспечивает возможность автоматического получения нужной информации на базе имеющихся математических моделей, что необходимо для экспресс-оценки отдельных задач функционирования элементов ЭТС, которые предполагают не только расчет и анализ режимов энергетической системы, но и оперативное изменение ее структурной топологии, автоматический расчет параметров элементов противоаварийной автоматики, учет данных о техническом состоянии самого ЭТК.

Источники

1. Тарасов В.А., Петроченков А.Б., Кавалеров Б.В. Моделирование электроэнергетических систем сложной структуры // Электротехника. 2018. № 11. С. 47–53.
2. Саушев А.В. Морфологический анализ категории электротехническая система // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2015. № 1. С. 193–201.

УДК 621.311.04

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В РУ 220–500 КВ

Сиражетдинов Айгиз Ильгизович¹, Губаева Ольга Германовна²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹7aigiz7@gmail.com, ²mr.gubaev@mail.ru

В связи с жесткими требованиями к бесперебойному и надежному электрообеспечению потребителей, необходимость исследования режимов работы электрических систем, приводящих к недоотпуску электроэнергии и повреждению оборудования,

является актуальной. Явления в электроэнергетике, возникающие в электрических цепях при образовании схем с индуктивными и емкостными элементами, характеризующиеся длительными перенапряжениями и токовыми перегрузками обмоток трансформаторов, называются феррорезонансными.

Ключевые слова: феррорезонансный процесс (ФРП), ферромагнитные сердечники, распределительные устройства (РУ), емкостные делители напряжения.

AUTOMATION OF THE PROCESS FOR IDENTIFYING FERRORESONANCE IN RU 220–500 KV

Sirazhetdinov Aigiz Igizovich, Gubaeva Olga Germanovna

Due to the stringent requirements for uninterrupted and reliable power supply to consumers, it is necessary to study the operating modes of kitchen systems, leading to the prevention of electrical and damaged equipment. Phenomena in the energy sector, the formation of electrical circuits during the formation of circuits with inductive and capacitive elements, characterized by long overvoltages and current overloads of transformer windings are called ferroresonant.

Keywords: ferroresonance process (FRP), ferromagnetic cores, switchgears (RU), capacitive voltage dividers.

Электромагнитные трансформаторы напряжения часто повреждаются из-за возникновения опасных феррорезонансных процессов. В сетях с глухозаземленной нейтралью (220-500 кВ) основной причиной возникновения феррорезонанса является отключение холостых ошиновок многоразрывными выключателями, оснащенными емкостными делителями напряжения.

Феррорезонансные явления возникают в результате взаимодействия нелинейных индуктивностей намагничивания магнитопроводов трансформаторов напряжения с емкостями электрооборудования электрических систем, они появляются в электрических сетях при оперативных переключениях, неполнофазных включениях и дуговых замыканиях на землю. При протекании феррорезонансных явлений возникают длительные перенапряжения на шинах распределительных устройств, опасные для разрядников и ограничителей перенапряжений, и токовые перегрузки обмоток электромагнитных трансформаторов, под действием которых повреждается изоляция и образуются межвитковые замыкания. Это приводит к взрывам трансформаторов и пожарам в распределительных устройствах электрических станций и подстанций.

Феррорезонанс может возникать при наличии любых элементов, содержащих ферромагнитные сердечники, однако наиболее подвержены влиянию этого явления трансформаторы напряжения и реже силовые трансформаторы.

В сетях с глухозаземлённой нейтралью феррорезонансным контуром является контур прямой последовательности, так как контур нулевой последовательности шунтируется заземлённой нейтралью. Поэтому применение дополнительного сопротивления, включаемого в цепь разомкнутого треугольника ТН, неэффективно. Процессы при коммутации холостых ошинок протекают независимо в каждой из фаз, и поэтому практически всегда исследуются в однофазной схеме.

В сетях 220–500 кВ предлагаются следующие меры по предотвращению феррорезонанса:

- изменение последовательности оперативных переключений;
- подключение дополнительной ёмкости (колонок конденсаторов) к шинам подстанции;
- постоянное подключение высокоомных (600 кОм) активных сопротивлений последовательно с ТН, или включение этих сопротивлений параллельно ТН на время проведения коммутаций;
- частичное заземление нейтралей силовых трансформаторов через высокоомные (2 кОм) активные сопротивления для предотвращения феррорезонанса в неполнофазном режиме;
- применение специальных релейных устройств для предотвращения феррорезонанса;
- применение ёмкостных ТН типа НДЕ.

Математический расчет ФРП в РУ 220–500 кВ с выключателями, имеющими емкостные делители напряжения, позволит детально обосновать меры по ликвидации феррорезонанса.

Источники

1. МУ 34-70-163-87. Методические указания по предотвращению феррорезонанса в распределительных устройствах 110–500 кВ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294817/4294817243.pdf> (дата обращения:).

2. Цирель Я.А., Поляков В.С. Феррорезонансные явления в сетях с глухозаземленной нейтралью и мероприятия по их предотвращению // Электрические станции. 1977. № 3. С. 71–75.

3. Зихерман М.Х., Максимов В.М. Определение возможности возникновения феррорезонанса в ОРУ 220–500 кВ электростанций и подстанций энергосистем // Экспресс-информация. Энергетика и электрификация. Сер.: Эксплуатация и ремонт электрических сетей. 1979. Вып. 1. С. 14–18.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОПОРШНЕВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ДЕЙСТВУЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ

Титарева Екатерина Романовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
kondratova-katja15@rambler.ru

В статье рассмотрены газопоршневые электроустановки, их принцип действия, преимущества, особенности установки и область применения.

Ключевые слова: газопоршневая электростанция, электроэнергия, тепловая энергия, когенерация, предприятие, экономия, собственная генерация.

PROSPECTS FOR APPLICATION OF A GAS RECIPROCATING POWER PLANT AT AN EXISTING ENTERPRISE

Titareva Ekaterina Romanovna

The article discusses gas reciprocating electrical installations, their operating principle, advantages, peculiar properties of settings and the scope.

Keywords: a gas reciprocating power plant, electric power, thermal energy, cogeneration, an enterprise, economy, own generation.

Предприятия и организации стараются сократить потребление электроэнергии, чтобы уменьшить затраты на производство продукции, свои издержки и повысить прибыль, но цены на электроэнергию с каждым годом растут [1]. Одним из выходов из данной ситуации является установка газопоршневой электростанции в действующее производство. Газопоршневые электроустановки – это высокоэффективные и экономичные генераторные установки, вырабатываемые электрическую и тепловую энергию и приводимые в действие двигателем внутреннего сгорания, который использует в качестве топлива газ. В газовых двигателях могут использоваться различные типы газов: природный газ, пропан, факельный газ, газы сточных вод, различные типы биогазов, газы мусорных свалок, коксовый и пиролиновый газ, газы химической промышленности [2]. Такие установки имеют ряд своих плюсов: самый высокий КПД, очень низкая себестоимость вырабатываемой электроэнергии, наиболее короткие сроки окупаемости, минимальное количество выбросов в атмосферу. В летний период при отсутствии отопительных и вентиляционных нагрузок

вырабатываемая в газопоршневых двигателях тепловая энергия идет только на нужды горячего водоснабжения. В зимний период во время максимальных отопительных, вентиляционных нагрузок, а также максимальных нагрузок горячего водоснабжения тепловой энергии, вырабатываемой газопоршневой электроустановкой, может не хватать для их покрытия. В этом случае недостающая тепловая энергия вырабатывается пиковым водогрейным котлом, подключенным к системе теплоснабжения по параллельной схеме и подающим теплоноситель с помощью насоса [3]. Практически любая газовая электростанция может быть использована и как автономный источник энергии (при повреждении центрального электроснабжения или полного его отсутствия), и в качестве резервного источника питания на случай непредвиденных отключений и перебоев в центральной энергосети. При этом подобные источники энергии в эксплуатации обходятся гораздо дешевле, нежели их поршневые бензиновые или дизельные аналоги. Принцип работы газопоршневой когенерационной установки состоит в передаче двигателем своей механической мощности генератору, приводя его в действие для выработки электрической энергии, а образуемое в результате работы двигателя тепло одновременно утилизируется для производства тепловой энергии. Однако, обзавестись газопоршневой электростанцией – газовым генератором, как правило могут два типа потребителей: первые – потребители у которых есть возможность подключиться к газовой магистрали с необходимым давлением, вторые – в процессе основной работы которых, обязательным фактором является выделение попутных газов. Областью применения газопоршневых электростанций в частных случаях является металлургическая промышленность, лесная и деревообрабатывающая промышленность, сельское хозяйство, предприятия ЖКХ, строительство и другие отрасли народного хозяйства при достаточном уровне их газификации [4]. Таким образом, газопоршневая электростанция является универсальным вариантом решения проблемы энергоснабжения предприятия.

Источники

1. Об утверждении Энергетической стратегии России на период до 2030 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902187046> (дата обращения: 17.10.2019).

2. Когенерационные технологии в энергетике на основе применения паровых турбин малой мощности / А.Л. Шубенко [и др.]. Харьков, 2014. 320 с.

3. Шаталов И.К. Теплонасосные установки с приводом от тепловых двигателей: учеб. пособие. М.: РУДН, 2009. 94 с.

4. Волкова М.С. Особенности схем выдачи мощности объектов распределенной генерации // Энергоэксперт. 2015. № 5. 6 с.

УДК 621.31

КОМПОНОВКА СИЛОВЫХ ШКАФОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Фазахутдинова Алина Ришатовна¹, Федоров Евгений Юрьевич²

ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

¹alinka.fara@yandex.ru, ²eyufedorov@kai.ru

В статье рассматривается алгоритм компоновки силового шкафа промышленного предприятия. Для минимизации затрат на проектирование и производство силовых шкафов представлен алгоритм определения оптимальной компоновки и разводки электрических цепей силовых шкафов.

Ключевые слова: компоновка, алгоритм, силовой шкаф, электроснабжение.

COMPOSITION OF POWER PANELS OF THE ENTERPRISE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM

Fazakhutdinova Alina Rishatovna, Fedorov Evgeny Yuryevich

The article considers the layout algorithm of the power panel of an industrial enterprise. To minimize the cost of designing and manufacturing power panels, an algorithm for determining the optimal layout and wiring of electrical circuits of power panels is presented.

Keywords: composition, layout, algorithm, power panel, power supply.

Задача компоновки силовых шкафов системы электроснабжения промышленного предприятия заключается в объединении элементов электрооборудования в один шкаф, блок или распределительный пункт. В современном производстве электрощитового оборудования предъявляются жесткие требования к весовым и габаритным параметрам силовых шкафов, связанных с обеспечением удобного обслуживания и перемещения оборудования, эстетическими качествами [1, 2].

При решении этой задачи необходимо сформировать инженерные требования: должны быть выполнены требования электромагнитной, тепловой, механической совместимости, надежности; обеспечен заданный коэффициент заполнения конструктивных узлов; ограничен объем конструктивных узлов.

Задача компоновки в общем виде формулируется следующим образом: требуется разбить множество компонуемых элементов E на α непересекающихся подмножеств Es , представляющих собой элементный набор конструктивных узлов.

Наиболее приемлемым критерием является критерий минимизации числа связей между конструктивными узлами, т.к. он дает уменьшение массы изделий, минимизирует взаимные наводки, увеличивает надежность, упрощает конструкцию. На основе последовательных алгоритмов [3, 4] разработаем алгоритм с использованием матрицы цепей T . Кроме матрицы T задается список запрещенных элементов, которые не могут находиться в одной подсхеме. На рис. 1 представлен алгоритм компоновки силового шкафа.

1. В матрице T выбираем строку e_i
2. Строим строку s_0^i
3. Определяем приращения $\Delta K_j^i, j = \overline{1, p}$ в куски $1 \div p$ (или l на первом шаге)
4. Выбираем $\Delta K_{j^*}^i = \min_j \Delta K_j^i$
5. Строку s_{j^*} матрицы S модифицируем путем поразрядной дизъюнкции со строкой s_0^i .
6. Если число элементов в куске G_j равно заданному, то кусок G_j сформирован, если меньше, то берем очередной элемент и повторяем сначала.

Рис. 1. Алгоритм компоновки силового шкафа

На рис. 2 представлена схема размещения элементов электрооборудования силового шкафа с использованием разработанного алгоритма, в результате применения которого длина проводов уменьшилась на 4615 мм.

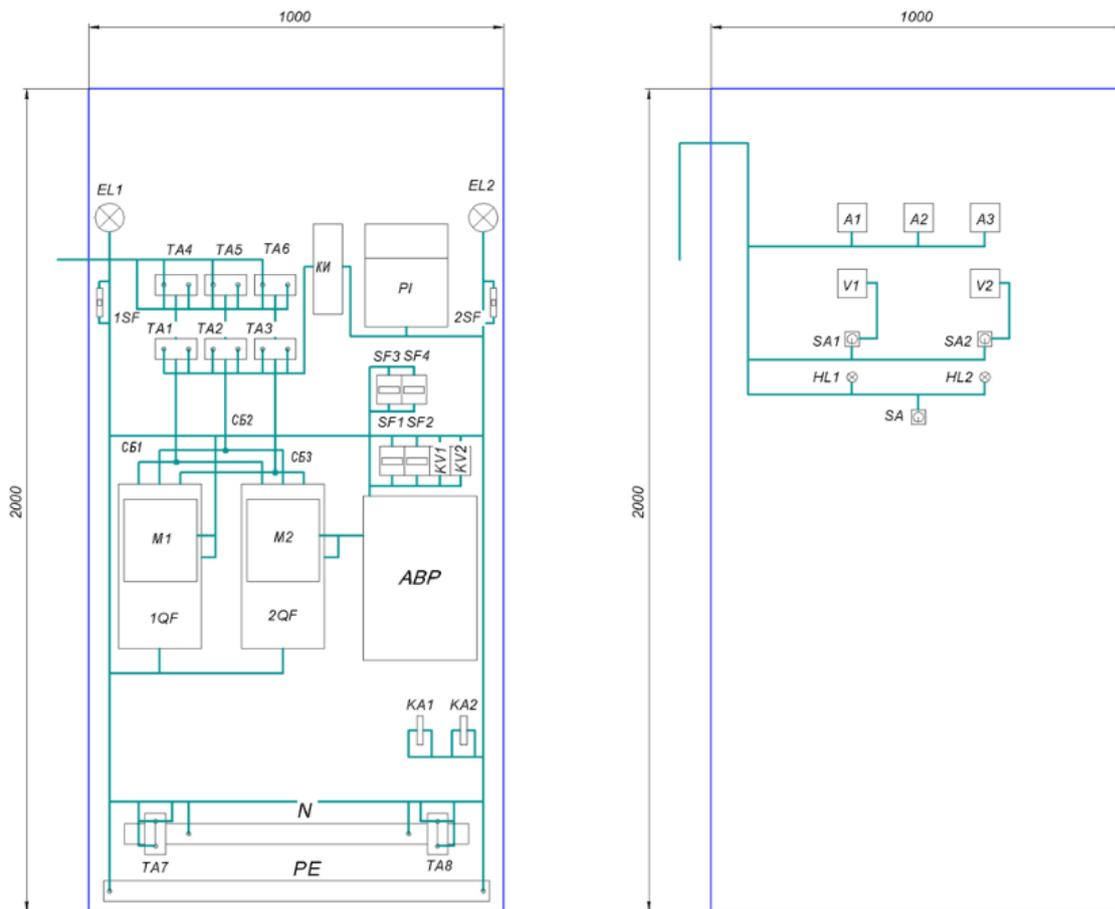


Рис. 2. Компоновка силового шкафа

Таким образом, разработан оптимизационный алгоритм компоновки силового шкафа, особенностью которого является критерий минимума электрических связей.

Источники

1. Федоров Е.Ю. Синтез системы распределения электрической энергии грузового автомобиля: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2014. 135 с.
2. Низамов Р.А., Фёдоров Е.Ю. Алгоритм компоновки элементов электрооборудования беспилотного летательного аппарата // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии (ПЭЭЭ-2017): сб. науч. тр. V Всерос. науч.-техн. конф. (к 50-летию юбилею кафедры «Электроснабжение и электротехника» Института энергетики и электротехники). Тольятти, 2017. С. 578–584.
3. Жук К.Д. Методы системного проектирования как основа разработки САПР. Киев, 1976. 24 с. (Препринт / ИК АН УССР; 76–1).
4. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. М.: Наука, 1982. 287 с.

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

Шадьбаев Наиль Маратович¹, Кисляков Владимир Леонидович²,
Федоров Евгений Юрьевич³

^{1,3}ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

²АО «КМПО», г. Казань

¹shadybaev2015@mail.ru, ²volodya.kislyakov@gmail.com, ³eyufedorov@kai.ru

В статье рассматривается моделирование системы электроснабжения газоперекачивающего агрегата с помощью программного обеспечения MATLAB.

Ключевые слова: электроснабжение, моделирование, газоперекачивающий агрегат, электроприемники.

SYSTEM OF ELECTRICITY SUPPLY OF THE GAS-PUMPING UNIT

Shadybaev Nail Maratovich, Kislyakov Vladimir Leonidovich,
Fedorov Evgeny Yurievich

The article discusses the simulation of the power supply system of a gas pumping unit using MATLAB software.

Keywords: power supply, modeling, gas pumping unit, power receivers.

Требования промышленных объектов как газоперекачивающий агрегат (ГПА) к бесперебойности электроснабжения с каждым годом возрастают. Связано это в первую очередь с широким внедрением: в производство автоматизированных систем управления на базе электронно-вычислительной аппаратуры. В целом же требования к электроснабжению отдельных производств определяются категорией приемников электроэнергии зависящей от характера самого производства, режима его работы и особенностей установленного оборудования. Вынужденные остановки ГПА наносят экономический и экологический ущерб, так как происходит стравливание природного газа в атмосферу. Питание и управление электроприемниками производится низковольтным комплектным устройством (НКУ) газоперекачивающего агрегата.

НКУ предназначен для выполнения следующих функций: ввод и распределение постоянного тока напряжением 220 В от системы бесперебойного питания и переменного тока напряжением 380В от секционных

вводов 1, 2, 3 (щит питания); автоматический ввод резерва с секционированием (предусматривается как автоматическое, так и ручное включение вводов); защита электроприемников от перегрузки и токов короткого замыкания; автоматическое управление электроприемниками от системы автоматического управления и местное от кнопок на дверях щита.

Также система электроснабжения ГПА имеет взаимное резервирование (рис. 1).

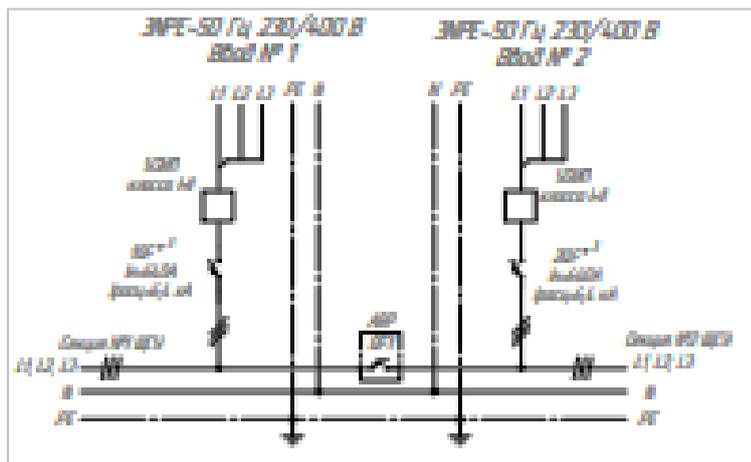
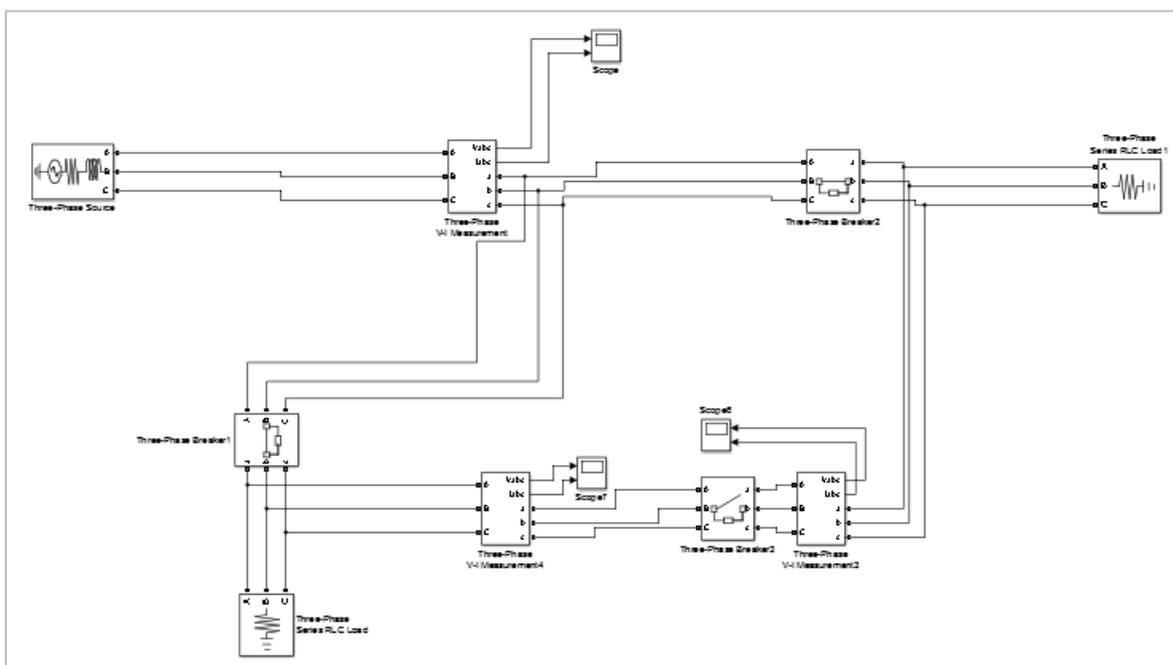


Рис. 1. Резервирование системы электроснабжения

При моделировании системы электроснабжения газоперекачивающего агрегата в системе MATLAB были получены следующие результаты (рис. 2).



ЩСУ 1										
P, кВт	I, А	S, мм ²	L, м	Марка	r0	x0	Z кл	Zп	Икз 1ф	UΔ, В
2	10	1,5	10	ВВГ нг FR	0,123	0,0013	0,123	0,015	842,9	1,2474
2	10	1,5	10	ВВГ нг FR	0,123	0,0013	0,123	0,015	842,9	1,2474
2	10	1,5	10	ВВГ нг FR	0,123	0,0013	0,123	0,015	842,9	1,2474
2	10	1,5	10	ВВГ нг FR	0,123	0,0013	0,123	0,015	842,9	1,2474
0,28	1,4	1	2	ВВГ нг FR	0,037	0,0003	0,037	0,015	2472	0,0657
0,55	2,5	1	5	ВВГ нг FR	0,093	0,0006	0,093	0,015	1100	0,2426
2	10	1,5	7	ВВГ нг FR	0,086	0,0009	0,086	0,015	1175	0,9137
2	10	1,5	7	ВВГ нг FR	0,086	0,0009	0,086	0,015	1175	0,9137
2	10	1,5	7	ВВГ нг FR	0,086	0,0009	0,086	0,015	1175	0,9137
1,2	5,45	1	8	ВВГ нг FR	0,148	0,001	0,148	0,015	707,4	0,8019
1,2	5,45	1	8	ВВГ нг FR	0,148	0,001	0,148	0,015	707,4	0,8019
0,3	1,4	1	9	ВВГ нг FR	0,167	0,0011	0,167	0,015	632,2	0,2294
2,5	12,6	1,5	8	ВВГ нг FR	0,098	0,001	0,098	0,015	1039	1,2914
0,5	2,5	1	1	ВВГ нг FR	0,019	0,0001	0,019	0,015	4231	0,0755
3	15	1,5	2	ВВГ нг FR	0,025	0,0003	0,025	0,015	3427	0,5362
2	10	1,5	6	ВВГ нг FR	0,074	0,0008	0,074	0,015	1353	0,8025
0,6	3	1	6	ВВГ нг FR	0,111	0,0008	0,111	0,015	928,2	0,3412
0,1	0,5	1	2	ВВГ нг FR	0,037	0,0003	0,037	0,015	2472	0,0235
2	10	1,5	8	ВВГ нг FR	0,098	0,001	0,098	0,015	1039	1,0249
2	10	1,5	7	ВВГ нг FR	0,086	0,0009	0,086	0,015	1175	0,9137
0,045	0,22	1	8	ВВГ нг FR	0,148	0,001	0,148	0,015	707,4	0,0324
0,03	0,15	1	7	ВВГ нг FR	0,13	0,0009	0,13	0,015	802,9	0,0196
0,3	1,5	1,5	11	ВВГ нг FR	0,135	0,0014	0,135	0,015	770,3	0,2038
2,4	12	1,5	12	ВВГ нг FR	0,148	0,0015	0,148	0,015	709,2	1,7639
2,4	12	1,5	12	ВВГ нг FR	0,148	0,0015	0,148	0,015	709,2	1,7639
0,01	0,05	1	3	ВВГ нг FR	0,056	0,0004	0,056	0,015	1746	0,0032
0,01	0,05	1	3	ВВГ нг FR	0,056	0,0004	0,056	0,015	1746	0,0032
0,01	0,05	1	3	ВВГ нг FR	0,056	0,0004	0,056	0,015	1746	0,0032
0,6	3	1	5	ВВГ нг FR	0,093	0,0006	0,093	0,015	1100	0,2911

Рис. 2. Моделирование системы электроснабжения газоперекачивающего агрегата

Таким образом, в программе MATLAB проведено моделирование системы электроснабжения газоперекачивающего агрегата, были получены расчетные значения, параметры элементов (на примере одного из щитов системы управления), токов короткого замыкания и потерь напряжений.

Источники

1. Правила Эксплуатации Электроустановок Потребителей [Электронный ресурс]. URL: <http://docplan.ru/Data2/1/4294853/4294853913.html> (дата обращения: 02.10.2019).
2. Системы электрозапуска газотурбинных двигателей ГПА и ГТЭС / В.Ф. Шалагинов [и др.] // Газотурбинные технологии. 2009. № 8. С. 32–33.
3. Открытая база ГОСТов [Электронный ресурс]. URL: <http://standardgost.ru/> (дата обращения: 07.10.2019).
4. СТО 2-6.2-149-2007. Категорийность электроприемников промышленных объектов ОАО «Газпром» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosthelp.ru/stogazprom2621492007.html> (дата обращения: 09.10.2019).
5. Технические требования к САУ и САР ГПА-10 [Электронный ресурс]. URL: <https://rt-ci.ru/uploads/5964aa4774ebd.pdf> (дата обращения: 06.10.2019).

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ЧАСТОТНОГО ПРИВОДА КРИВОШИПНОГО ПРЕССА С ПИТАЮЩЕЙ СЕТЬЮ ЦЕХА

Шайдуллин Амир Фаритович¹, Мухаметгалеев Танир Хаммитович²
ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань
¹20_amir_96@mail.ru, ²banzay-13-13@yandex.ru

В статье предложены методы электромагнитной совместимости преобразователя частоты с питающей сетью цеха. Методом учитывания частотного диапазона генерируемых гармоник и частотной характеристик сети, выбор частоты и метода широтно-импульсной модуляции активного выпрямителя; коррекция частотой характеристики сети за счет выбора безопасной конфигурации схемы электроснабжения; установка дополнительных компенсирующих устройств и фильтров.

Ключевые слова: модель, асинхронный электропривод, рекуперация, энергоэффективность.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF FREQUENCY DRIVE CRANKS WITH THE SUPPLY NETWORK OF THE SHOP

Shaidullin Amir Faritovich, Mukhametgaleev Tanir Khammitovich

The article suggests methods of electromagnetic compatibility of the frequency converter with the supply network of the workshop. By taking into account the frequency range of the generated harmonics and the frequency characteristics of the network, selecting the frequency and method of pulse-width modulation of the active rectifier; frequency correction of network characteristics by choosing a safe configuration of the power supply circuit; installation of additional compensating devices and filters.

Keywords: model, asynchronous electric drive, recovery, energy efficiency.

Возросшие требования повышения производительности с одновременным расширением номенклатуры обрабатываемых заготовок, а также необходимость автоматизации управления и изменения режимов обработки обусловили значительное расширение области применения. Современные мощные электроприводы прокатных станков выполняются на базе синхронных и асинхронных двигателей и преобразователей частоты, построенных по симметричной схеме с активными выпрямителями и инверторами напряжения. Характерной особенностью активных выпрямителей является генерирование высокочастотных гармоник напряжения и тока с номерами выше 40-й, что обусловлено применением

широотно-импульсной модуляции (ШИМ) для управления силовыми ключами. В системах внутриводского электроснабжения металлургических заводов используется протяженные распределительные сети среднего напряжения 6–35 кВ. При большой длине кабельных линий суммарное значение распределенной емкости кабелей может достигать нескольких микрофард. В результате взаимодействия индуктивности сетевого трансформатора и емкостей кабелей в частотной характеристике сети возникает резонанс токов, амплитуда которого при большой величине емкости кабелей может располагаться в области частот высших гармоник, генерируемых активным выпрямителем. В этом случае возникают сильные высокочастотные искажения напряжения на общих секциях распределительных устройств, что может приводить к выходам из строя преобразователей частоты из-за появления ошибок в работе блоков формирования управляющих импульсов силовых ключей активных выпрямителей.

Для того чтобы обеспечить электромагнитную совместимость нужно: при выборе схем электроснабжения с мощными электроприводами, имеющими в своем составе преобразователи частоты с активными выпрямителями, следует учитывать частотный диапазон генерируемых гармоник и частотную характеристику сети. При неправильном выборе конфигурации внутриводского электроснабжения может возникнуть наложение частотного диапазона гармоник, генерируемых активными выпрямителями, на частотную область характеристики питающей сети.

Электромагнитная совместимость преобразователей частоты с активными выпрямителями в системе электроснабжения может быть ещё обеспечена при выполнении главного условия, а именно: частотный диапазон гармоник, генерируемых активным выпрямителем, не должен совпадать с резонансным максимумом частотной характеристики сети. Для выполнения этого условия существует несколько способов: 1) выбор частоты и метода широко-импульсной модуляции активного выпрямителя; 2) коррекция частотой характеристики сети за счет выбора безопасной конфигурации схемы электроснабжения; 3) установка дополнительных компенсирующих устройств и фильтров.

Источники

1. Крюков О.В. Сравнение характеристик высоковольтных преобразователей частоты электроприводов // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2016. Т. 3, № 2. С. 50–56.

2. Причины высокочастотных помех. Источники помех и их воздействие. Механизмы воздействия помех [Электронный ресурс]. URL: <https://media.ls.urfu.ru/570/1649/3927/4748/2804/> (дата обращения: 19.10.2019).

3. Ключев В.И. Теория электропривода. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2001. 703 с.

4. Елисеев В.А. Справочник по автоматизированному электроприводу. М.: Энергоатомиздат, 2000. 255 с.

УДК 621.316,622.29

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НАГРЕВА ТРУБОПРОВОДА

Шамсиев Ильшат Асгатович
ФГБОУ ВПО «УГНТУ», г. Уфа
shamsiev.ilshat@yandex.ru

В данной статье приведены результаты исследований автора в области проектирования индукционного нагрева. Разработаны методики для определения подбора источников питания на основе расчета тепловых потерь. Данные методики могут быть использованы при проектировании индукционных систем обогрева в различных областях промышленности.

Ключевые слова: индукционный нагрев, тепловые потери, источники питания

DESIGN OF INDUCTION PIPELINE HEATING SYSTEM

Shamsiev Ilshat Asgatovich

This article presents the results of the author's research in the field of induction heating design. Methods for determining the selection of power sources based on the calculation of heat loss. These techniques can be used in the design of induction heating systems in various industries.

Keywords: induction heating, heat losses, power supplies.

Подготовка нефти к дальнейшей транспортировке играет важную роль, так как в данном технологическом процессе происходит очистка нефтепродукта от лишнего содержания воды, например, путем сепарации (разделение) водонефтяных эмульсии. Снижение вязкости нефтепродукта,

содержащего парафиновые отложения, необходимы, так как из-за наличия асфальтеносмолопарафиновых отложений (АСПО) существенно уменьшается эффективное сечение трубопроводов, повышается нагрузка на насосы и соответственно увеличивается расход электроэнергии, уменьшается межремонтный период [1, 2].

Таким образом, необходимость подогрева нефтепродукта, транспортируемого от нефтескважины до центральной перекачивающей станции, а также в процессе подготовки нефти на дожимной насосной станции (ДНС) является важнейшим элементом технологического процесса.

Поскольку, как правило, над ДНС нет других источников энергии, кроме электрической, включая дизель-станции, которые работают на попутном топливе (газ, нефтепродукт), с точки зрения энергетической эффективности и промышленной безопасности, наиболее оптимальным является применение электронагрева. Самым эффективным из существующих видов электронагрева является индукционный нагрев.

Наиболее эффективным видом индукционного нагрева является среднечастотный нагрев (от 500 до 10000 Гц), позволяющий повысить надежность и безопасность оборудования, значительно снизить показатели материалоемкости (кг/кВт), автоматизировать технологический процесс и существенно расширить область применения индукционного нагрева.

Для решения задач разогрева нефтепродукта и поддержания заданной температуры при различных температурах окружающей среды (лето – зима) авторским коллективом велись исследования в области индукционного нагрева. При проектировании должны учитываться все особенности технологического процесса при подготовке нефтепродукта: нагрев в пожаровзрывоопасной зоне, изменение температуры окружающей среды в широких пределах, необходимость автоматического поддержания температуры продукта в условиях изменения технологических режимов ДНС, наконец, простота в обращении с учетом низко квалифицированного (не имеющего специального образования) персонала.

Для оценки эффективности применения систем индукционного нагрева были рассчитаны тепловые потери при транспортировке нефти по трубопроводу. На основе расчета тепловых потерь была предложена методика по подбору источников питания, вычислено необходимое время для полного разогрева всех участков трубопровода и составлены алгоритмы разогрева. Была произведена оптимизация режимов компенсации тепловых потерь для различных температурных режимов. Результат расчета показал уровень снижения потребляемой мощности. Методики

расчетов могут быть использованы при проектировании систем обогрева трубопровода по транспортировке нефти, фенола, газового конденсата, а также в нефтехимии и нефтепереработке.

Источники

1. Конесев С.Г., Макулов И.А. Промышленные системы индукционного обогрева технологического трубопровода // Электротехнологии, электропривода и электрооборудование предприятий: сб. науч. тр. Всерос. науч.-техн. конф. Уфа, 2007. С. 117–127.

2. Дегтярева Е.О. Правила расчета мощности обогрева трубопроводов // Промышленный электрообогрев и электропитание. 2011. № 1. С. 12–15.

УДК 621-313.2

ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

Штин Александр Александрович¹, Сергеев Кирилл Федорович²
ФГБОУ ВО «ИжГТУ им. М.Т. Калашникова», г. Ижевск
¹shtin_a_a@mail.ru, ²kiryha960@gmail.com

В данной статье рассмотрены технические характеристики синхронного двигателя на постоянных магнитах. Проведена оценка возможности использования данных двигателей в составе разрабатываемой мобильной роботизированной платформы.

Keywords: motor, permanent magnets, power, torque, rotation frequency, speed, mode of operation, overload, power form factor.

REVIEW OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE SYNCHRONOUS MOTOR ON PERMANENT MAGNETS

Shtin Alexander Alexandrovich, Sergeev Kirill Fedorovich

This article discusses the technical characteristics of a permanent magnet synchronous motor. The possibility of using these engines as part of the developed mobile robotic platform is assessed.

Ключевые слова: двигатель, постоянные магниты, мощность, момент, частота вращения, скорость, режим работы, перегрузка, форм-фактор питания.

Машинами постоянного тока с постоянными магнитами называют машины, в которых магнитное поле образуется постоянными магнитами. От машин с электромагнитным возбуждением они отличаются только устройством магнитной системы [1].

Произведем обзор низковольтного двигателя на постоянных магнитах МНРД-60 компании «Мехатроника» предложенные качестве приводов для мобильной роботизированной платформы. Согласно описанию двигателя, в клеммной коробке расположены 2 клеммы, при смене полярности, двигатель меняет направление вращения, перед сменой направления вращения необходимо убедиться, что двигатель остановился во избежание повреждения двигателя. Скорость вращения можно регулировать при помощи контроллеров. Зависимость величины крутящего момента от скорости вращения приведена на рис. 1.

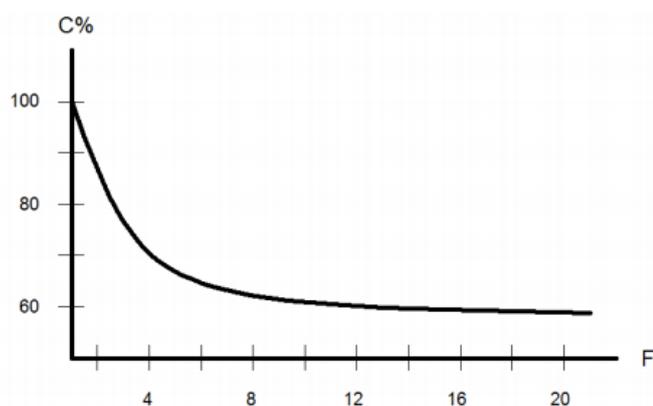


Рис. 1. Зависимость момента от частоты вращения (C – величина момента двигателя в процентах от максимально допустимого момента; F – об./мин макс., об./мин текущие)

Для двигателя допустимо использование с перегрузкой, однако нужно избегать перегрева обмоток двигателя [2]. На рис. 2 показана зависимость допустимой мощности двигателя от рабочего режима. Это изотермическая кривая при температуре $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. При более высокой температуре окружающей среды необходимо дополнительно ограничивать мощность или режим работы. На рис. 2 приведена мощность в процентном соотношении от максимальной в зависимости от режима работы двигателя.

При питании двигателя через полупроводниковый выпрямитель механическая мощность двигателя будет зависеть от формы питающего напряжения так называемого форм-фактора питания. На рис. 3 приведена зависимость момента двигателя от форм-фактора питающего напряжения. Для «чистого» постоянного тока (например, от аккумуляторов) значение форм-фактора равно 1,4 момент при этом 100 % от табличного значения [2].

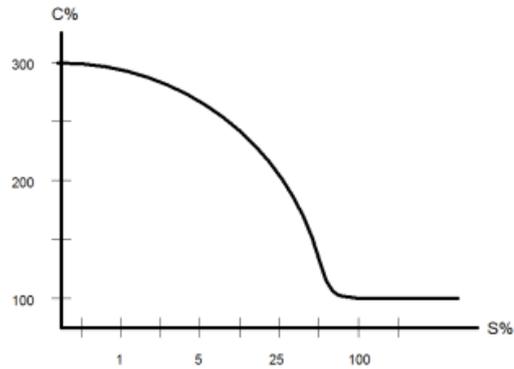


Рис. 2. Зависимость мощности от режима работы (C – величина мощности двигателя в процентах от максимально допустимой мощности; S – рабочий режим)

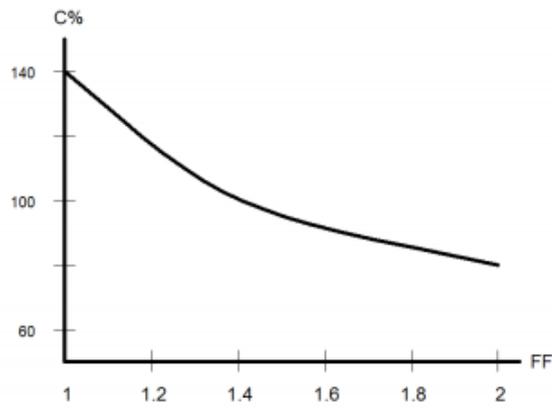


Рис. 3. Зависимость момента от форм-фактора питания (C – величина момента двигателя в процентах от максимального момента; FF – форм-фактор питания)

Данные по мощности и крутящему моменту приведены для рабочего режима 50 % (S_2), при работе в полном цикле 100 % (S_1) нужно снизить мощность до 40 % от табличной, чтобы избежать перегрева обмоток двигателя. Таким образом по данным графикам мы подберем двигатели по характеристикам выдерживающие режимы работы прописанные в техническом задании на мобильную роботизированную платформу. И подберем для них форм-фактор питания обеспечивающий их наибольшую надежность и долговечность работы.

Источники

1. Корельский Д.В., Потапенко Е.М., Васильева Е.В. Обзор современных методов управления синхронными двигателями с постоянными магнитами // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. 2001. С. 158–159.
2. «Сервомеханизмы. Новые идеи в движении» [Электронный ресурс]. <http://www.servomh.ru/elektrodivigateli/postoyannogo-toka> (дата обращения: 11.10.2019).

УДК 621.311.22

**ДОСТОИНСТВА ПРОФИЛИРОВАННЫХ ИОНООБМЕННЫХ
МЕМБРАН В ОТЛИЧИЕ ОТ ПЛОСКИХ
В ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНЫХ УСТАНОВКАХ**

Бабилов Олег Евгеньевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Olegsey1998@yandex.ru

В статье рассмотрены преимущества и недостатки современных профилированных ионообменных мембран в отличие от плоских мембран, применительно к электродиализным установкам.

Ключевые слова: ионообменные мембраны, профилированные мембраны, плоские мембраны, электродиализ, электродиализная установка.

**ADVANTAGES OF PROFILED ION EXCHANGE MEMBRANES
COMPARED TO FLAT MEMBRANES IN ELECTRODIALYSIS
INSTALLATIONS**

Babikov Oleg Evgenievich

The article considers the advantages and disadvantages of modern profiled ion-exchange membranes in contrast to flat membranes applied in electro dialysis installations.

Keywords: ion-exchange membranes, profiled membranes, flat membranes, electro dialysis, electro dialysis installations.

В настоящее время в электродиализных установках обычно применяются пластиковые проставки вместе с сеткой-турбулизатором, необходимые для механической поддержки ионообменных мембран, а также для создания каналов, по которым будет протекать питательный раствор. Сетки-турбулизаторы обеспечивают активное перемешивание жидкости, снижая явление поляризации и увеличивая фактическую движущую силу.

Использование сетчатых проставок имеет и отрицательные аспекты: увеличивается перепад давления, необходимый для преодоления сопротивления мембранных модулей, возрастает электрическое сопротивление, снижается площадь эффективно используемой поверхности мембраны, уменьшаются полезная мощность, экономичность и конкурентоспособность электродиализной установки.

Современные профилированные мембраны являются жизнеспособной альтернативой традиционным плоским мембранам. Профиль (или же микроструктура) может быть нанесен как на одной стороне, так и на обеих сторонах мембраны. Изготовленные термическим методом (с применением термопресса) мембраны из-за своей формы могут сами выполнять функцию турбулизатора, разделяющего поток жидкости. Профиль мембраны образует каналы, по которым протекает питательный раствор, сохраняя все химические и механические свойства плоских мембран [1].

Применение профилированных мембран, изготовленных из ион-проводящего материала, позволяет снизить электрическое сопротивление мембранного модуля. Другим важным преимуществом является снижение потерь на трение. Наблюдается рост числа Рейнольдса, что, в свою очередь, положительно сказывается на смешении жидкости и ведет к снижению времени пребывания питающего раствора внутри мембранного модуля, что приводит к увеличению мощности мембранных модулей для электродиализа.

В Европе многие ученые заинтересованы исследованием свойств профилированных ионообменных мембран, и множество экспериментов могут служить доказательством преимуществ данной технологии.

В своих исследованиях Кейт Скотт и Джусто Лобато [2] выяснили, что в диапазоне изменений числа $Re = 50-1000$ поток жидкости в каналах профилированных мембран был турбулентным, происходило нарушение и разрушение пограничного слоя, что приводило к росту массообмена [3].

Авторы [4] выдвинули эмпирическую гипотезу о том, что рост переноса массы происходил за счет стимулирования перемешивания в каналах профилированных мембран, по сравнению с использованием плоских мембран с сетками-турбулизаторами.

В работе Лэррчета [5] мембранный модуль с профилированными мембранами продемонстрировал меньшее гидравлическое сопротивление и более высокую скорость переноса массы по сравнению с плоскими мембранами. Кроме того, профилированные мембраны были эффективны в общем диапазоне исследованных концентраций, в то время как непроводящие проставки были эффективны только при концентрациях исходного раствора выше 0,002 моль.

Стратман [6] провел эксперименты по электродиализу с профилированными мембранами, получив более низкое сопротивление мембранного модуля и более высокие предельные плотности тока, чем в модуле, снабженном плоскими мембранами и сетчатыми проставками.

Одним из главных преимуществ, которое не было упомянуто ранее, является увеличение эффективности ионного обмена на 40–45 % по сравнению с плоскими мембранами.

Источники

1. Zabolotskii V.I., Loza S.A., Sharafan M.V. Physicochemical properties of profiled heterogeneous ion-exchange membranes // Russian Journal of Electrochemistry. 2005. Vol. 41. Pp. 1185–1192.

2. Scott K., Lobato J. Mass transfer characteristics of cross-corrugated membranes // Desalination. 2002. Vol. 146. Pp. 255–258.

3. Hall D.W., Scott K., Jachuck R.J.J. Determination of mass transfer coefficient of a cross-corrugated membrane reactor by the limiting-current technique // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2001. Vol. 44. Pp. 2201–2207.

4. Description of mass transfer characteristics of ED and EDI apparatuses by using the similarity theory and compartmentation method / V.V. Nikonenko [et al.] // Chem. Eng. Process. 2008. Vol. 47. Pp. 1118–1127.

5. Comparison of different ED stack conceptions when applied for drinking water production from brackish waters / C. Larchet [et al.] // Desalination. 2008. Vol. 222. Pp. 489–496.

6. Strathmann H. Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications // Desalination. 2010. Vol. 264. Pp. 268–288.

УДК 66.045.53

УПРАВЛЕНИЕ БАШЕННОЙ ГРАДИРНЕЙ В ПРОЦЕССЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ

Бадриев Айрат Ирекович¹, Шарифуллин Вилен Насибович²,

Власов Сергей Михайлович³

¹ФГАОУ ВО «КФУ», г. Казань

^{2,3}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹aibadriev@gmail.com

Проведены натурные исследования неравномерности потоков воды и воздуха в башенной градирне. Установлены значительные неравномерности распределения потоков по сечению аппарата. На основании экспериментальных данных построены рабочие характеристики башенной градирни. Предложена программа управления воздухопроводными окнами в процессе неравномерности потоков.

Ключевые слова: башенная градирня, неравномерности потоков, программа управления, повышение эффективности.

CONTROL IN THE CONDITIONS OF NON-UNIFORMITY OF COOLING WATER IN THE COOLING TOWER

Badriev Ajrat Irekovich, Sharifullin Vilen Nasibovich, Vlasov Sergej Mihajlovich

Experimental studies of the uneven flow of water and air in a cooling tower have been carried out. Significant irregularities in the distribution of flows over the cross section of the apparatus have been established. Based on experimental data, the operating characteristics of the cooling tower are built. A program is proposed for controlling air ducts in the process of uneven flows.

Keywords: cooling tower, flow irregularities, control program, efficiency increase.

От режимов работы башенных градирен зависят удельные расходы топлива на выработку электроэнергии, ограничения мощности тепловых электростанций, а также выбросы вредных веществ в атмосферу [1]. Их основной задачей является охлаждение больших объемов циркуляционной воды оборотной системы. Вместе с тем, ввиду крупномасштабности градирен и его конструктивных особенностей, не исключено возникновение неоднородности протекания процесса внутри аппарата. Поскольку основным технологическим параметром, позволяющим управлять степенью охлаждения воды, является воздушный поток в башенной градирне [3, 4], принято решение провести комплексный анализ неравномерности потоков как воды, так и воздуха и провести работы по управлению воздухопроводными окнами в процессе их неравномерности распределения по сечению аппарата.

Под руководством профессора В.Н. Шарифуллина в летнее время года проведены экспериментальные исследования натурной башенной градирни ТЭЦ площадью орошения 2600 м^2 . В результате выявлены значительные неравномерности по сечению аппарата [2]. Неравномерность плотности орошения составила 33 % при среднем значении 3,4 м/ч, неравномерность воздуха – 20,8 % при средней его скорости 2,1 м/с по секциям (рис. 1, 2).

Установлены причины неравномерности потоков, к которым отнесены: провисание в периферийной зоне и дефекты блоков оросителя, неполадки водораспределительной системы, разнородное положение жалюзи воздухопроводных окон. Предложено учитывать неравномерности потоков статистической функцией распределения.

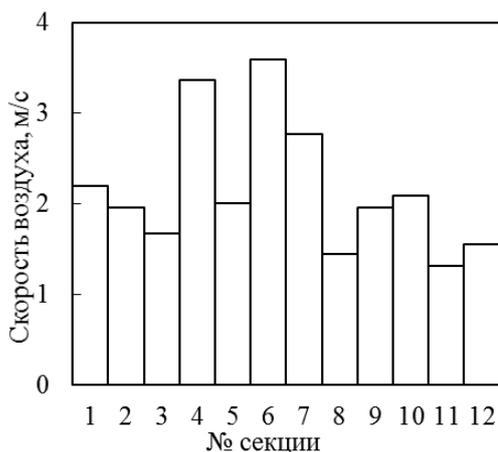


Рис. 1. Распределение скорости воздуха башенной градирни

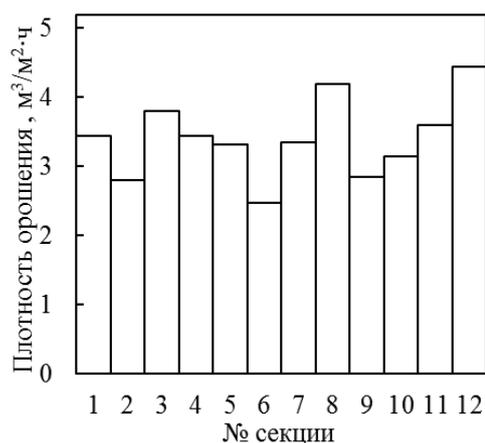


Рис. 2. Распределение плотности орошения башенной градирни

На основании экспериментальных исследований неравномерности распределения воды и воздуха построены эксплуатационные характеристики аппарата: температурная, охладительная и аэродинамические регрессионные зависимости. Характеристики позволяют оценить эффективность в фактическом режиме работы башенной градирни.

С учётом рабочих характеристик предложена программа управления воздухопроводными в условиях неравномерности потоков воды и воздуха [5]. Программа позволит рационально направлять потоки воздуха в зависимости от степени неравномерности распределения потоков, скорости и направления ветра.

Источники

1. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий: справ. пособие / под. общ. ред. В.С. Пономаренко. М.: Энергоатомиздат, 1998. 376 с.
2. Шарифуллин В.Н., Бадриев А.И. Аэродинамические характеристики башенной градирни в условиях неравномерности распределения потоков воды и воздуха // Теплоэнергетика. 2019. № 8. С. 46–52.
3. Доброго К.В., Хеммасиан Кашани М.М., Ласко Е.Е. Моделирование башенной испарительной градирни и влияния аэродинамических элементов на ее работу в условиях ветра // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2014. № 6.
4. Experimental research of the guiding channels effect on the thermal performance of wet cooling towers subjected to crosswinds – Air guiding effect on cooling tower / Wang Kai [et al.] // Applied Thermal Engineering. 2010. Vol. 30, Is. 5. Pp. 533–538.

5. Программа управления воздуховодными окнами башенной градирни в условиях неравномерности потоков воды и воздуха: прЭВМ 2019661889 Рос. Федерация № 2019660869; заявл. 19.08.2019; опубл. 11.09.2019.

УДК 004.4

СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Безкостый Максим Андреевич¹, Зиганшин Малик Гарифович²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹bez-maks@mail.ru, ²mjihhan@mail.ru

При использовании BIM-технологий (Building Information Modeling) в строительстве, проект строительного объекта выполняется в трехмерном пространстве. Для этого может использоваться большое число программных продуктов, однако оптимальных программ, которые не входят в коллизию с отечественными строительными нормативами, на данный момент нет. В данной статье представлено сравнение программных продуктов для BIM-проектирования.

Ключевые слова: BIM-технологии, программный продукт, проектирование MEP, Revit, Renga.

COMPARISON OF SOFTWARE PRODUCTS FOR BIM-TECHNOLOGIES AT THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING SYSTEMS OF BUILDING OBJECTS

Bez Kosty Maxim Andreevich, Ziganshin Malik Garifovich

When using BIM-technologies (Building Information Modeling) in construction, the project of a construction project is carried out in three-dimensional space. A large number of software products can be used for this, but at the moment there are no optimal programs that are not in conflict with domestic building codes.

Keywords: BIM technologies, software product, MEP design, Revit, Renga.

Наиболее интересными для BIM-проектирования представляются следующие программы: Allplan, ArchiCAD, MagiCAD, Revit, Renga.

Allplan – это система автоматизированного проектирования, которая была предложена компанией Nemetschek Allplan Systems GmbH. Софт имеет широкие возможности и различные разделы, которые предназначены для множества областей.

К достоинствам и возможностям системы Allplan можно отнести достижение единообразия во всех проектных и строительных документах путем выпуска единых стандартов оформления. Все планы и разрезы легко выполняются с помощью функций «структура здания», «диспетчер плоскостей» и «структура чертежей». Изменения в конфигурации здания можно вносить на любом этапе быстро. Имеется расчет криволинейный элементов и их стоимости. Для реконструкции построек есть функция «Преобразование для реконструкции».

Также у системы Allplan можно выделить некоторые недостатки, например, плохо проработанная функция прокладки электрификации, отсутствие централизованного административного управления, неэффективный экспорт в чертеж DWG.

Программа ArchiCAD создана компанией Graphisoft. Изначально она предназначалась для архитекторов и дизайнеров, а не для строителей, поэтому больше функций предназначено для создания интерьера, элементов ландшафта.

Достоинствами данной программы являются: адаптированный софт к технологии BIM, поэтому любые изменения, которые вносятся на чертеже, автоматически подтягивают прочие корректировки в расчетах и спецификациях, инструмент «Книга макетов», предназначенный для подготовки всего проекта к печати, наличие “SANCAD”, который самостоятельно подготавливает все документы под заданный формат, чтобы при распечатке был готов файл в PDF, что сокращает время разработки до 70 %, функция «Морф» для значительного упрощения работы с объемными элементами трудной конфигурации. Часть возможностей предназначена и адаптирована под российского пользователя – это прокладка инженерных систем, армирование и некоторые другие функции.

Недостатки ArchiCAD – узконаправленная строительная площадка, инструментарий которой направлен исключительно на моделирование зданий, т. е. в программе отсутствует возможность проектировать других макетов, высокая стоимость лицензированного продукта, в сравнении с аналогами цена лицензии завышена, софт не имеет функции многовариантности проектирования, что важно, когда проект находится на стадии разработки и утверждения проектных решений.

MagiCAD – программное средство для проектирования систем инженерного обеспечения: вентиляции, кондиционирования, отопления, водоснабжения и водоотведения, теплоснабжения, электрических и слабых систем. Разработан финской компанией “Progman Oy”. Включает

в себя большой набор инструментов для построения трубопроводов, вентиляций, электроснабжения и т. д. MagiCAD довольно дорогой продукт, но скорость проектирования оправдывает цену.

Revit – это программный комплекс для автоматизированного проектирования, реализующий принцип информационного моделирования зданий. Предназначен для архитекторов, конструкторов и инженеров-проектировщиков. Имеет элементы для систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения, водоснабжения, электросетей зданий. Одним из главных плюсов является связь проектируемого объекта с рабочей документацией: при изменении какого-либо элемента на чертеже изменится и в документации. В САПР вложены нормативы по армированию и обустройству коммуникаций по образцу европейских стандартов. Проектные решения можно отдельно выделять на макете цветом, что позволяет быстро находить и устранять коллизии с решениями архитекторов и конструкторов, а также с другими коммуникациями. Поскольку Revit ежегодно обновляется, то могут иметь место отдельные недостатки программы.

Renga – это архитектурно-строительный проект, который полностью ориентирован на русскоговорящих проектировщиков. Это значительно облегчает процесс проектирования, так как в софт встроены все нормативы по оформлению проектной и рабочей документации.

Преимущества Renga – автоматизация рутинных операций по оформлению проектной документации, интеллектуальный подход в трассировках сетей, автоматическое армирование и подготовка ведомостей, импорт/экспорт чертежей в *.dwg и *.pdf. Можно использовать созданную модель в решениях 1С. Причем разницы в стоимости сетевых или локальных лицензий нет.

К недостаткам можно отнести отсутствие на данный момент инструмента по работе с генпланом, газом, наружными сетями, невозможность редактировать объекты на разрезах, ограниченные возможности в создании приложений и их интеграции через API, отсутствие настройки горячих клавиш, визуализация делается в отдельно покупаемом ПО, не предусмотрены текстуры материалов в 3D, отсутствуют инструменты визуального программирования.

ВМ-технологии востребованы при создании сложных строительных объектов. Они необходимы, чтобы уже на этапе планирования проекта решать проблемы с отоплением, вентиляцией, кондиционированием и не допустить при постройке ошибок, которые могут сделать строительный объект не пригодным для дальнейшей эксплуатации. На данный

момент для проектирования MEP в BIM нет идеального продукта, который удовлетворял бы всем требованиям пользователя. Каждый продукт имеет свои лучшие и худшие стороны. Для российских условий лучше подойдет Revit, однако он имеет трудности совмещения с российской продукцией и нормативами. Недостатки Revit устраняются в Renga, но в ней отсутствуют важные элементы для проектирования систем вентиляции, кондиционирования воздуха и газоснабжения. На данный момент для создания инженерных проектов приходится использовать Revit, но в дальнейшем Renga вполне может вытеснить его.

Источники

1. Информационное моделирование строительного объекта (BIM) ЗАО «КРОК инкорпорейтед» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.croc.ru/solution/business-solutions/bim> (дата обращения: 12.08.2019).

2. Пеньковский Г.Ф. Основы информационных технологий и автоматизированного проектирования в строительстве. СПб.: СПбГАСУ, 2018. 150 с.

3. «Понятие BIM технологии в проектировании: что такое информационное моделирование зданий в строительстве ООО «ЗВСОФТ» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zwsoft.ru/stati/ponyatie-bim-tekhnologii> (дата обращения: 12.08.2019).

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРЕДОБРАБОТКИ ИСХОДНОЙ ВОДЫ ЩЕЛОЧЕНИЕМ НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТЭС

Власов Сергей Михайлович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
vlasovsm@list.ru

В статье представлены результаты экспериментов предобработки исходной воды щелочением на лабораторном стенде системы оборотного охлаждения тепловой электрической станции для снижения степени концентрации и осадкообразования CaCO_3 . В период проведения экспериментов была выявлена зависимость процесса абсорбции/ десорбции CO_2 атмосферного воздуха циркуляционной водой в башенную испарительную градирню.

Ключевые слова: система оборотного охлаждения, осадкообразование, тепловая электрическая станция, градирня, водно-химические режимы работы, снижение сточных вод.

RESEARCH OF PROCESSES OF TREATMENT OF WATER BY ALKALINATION AT THE LABORATORY STAND OF THE COOLING TOWER SYSTEM OF TPS

Vlasov Sergey Mikhailovich

The article presents the results of experiments on pretreatment of source water by alkalization at the laboratory bench of the reverse cooling system of a thermal power plant to reduce the degree of concentration and precipitation of CaCO_3 . During the experiments, the dependence of the process of absorption / desorption of atmospheric CO_2 by circulating water into the tower evaporative cooling tower was revealed.

Keywords: reverse cooling system, sedimentation, thermal power plant, cooling tower, water-chemical operating modes, wastewater reduction.

На тепловых электрических станциях (ТЭС) для охлаждения конденсационных установок используется циркуляционная (необработанная) вода, которая несет множество нежелательных компонентов: Ж_{Ca} , Щ_0 , C_{Cl} , ПО , C_{SiO_2} , C_{Fe} , позволяющих снизить коэффициент эффективности охлаждения пара. Конденсационная установка является одной из самых неустойчивых и труднорегулируемых систем поддержания оптимального водно-химического режима. В связи с тем, что проведение экспериментальных исследований с водно-химическим режимом затруднено на реально действующей ТЭС, был разработан лабораторный стенд градирни.

На стенде были проведены исследования с необработанной исходной водой предобработкой исходной воды известкованием и щелочением и циркуляционной воды байпасированием.

Исследования с необработанной исходной показали, что процесс осадкообразования избежать не удастся даже при невысоких степенях концентрирования. Основной причиной активизации осадкообразования является десорбция CO_2 , которая приводит к подщелачиванию циркуляционной воды и, вследствие этого, к смещению равновесий химических реакций в сторону образования малорастворимых соединений ионов жесткости.

При обработке исходной воды известкованием сразу начинается выделение осадков, в первую очередь, CaCO_3 . С понижением рН осадкообразование прекращается. Очевидно, что при абсорбции CO_2 из атмосферного воздуха вследствие появления дополнительного количества карбонат-ионов равновесие смещается, что способствует образованию

CaCO_3 . В дальнейшем за счет эффекта подкисления при $\text{pH} < 9$ образование осадков прекращается. Полученные результаты свидетельствуют в пользу необходимости подкисления известкованной воды до подачи в СОВ.

По результатам второго эксперимента было принято решение провести исследование процессов предобработки исходной воды щелочением и циркуляционной воды байпасированием. При этом остаточные Ж_0 , Ж_{Ca} , Ж_{Mg} , намного меньше, чем при известковании, и снижаются при увеличении дозы щелочи.

Из результатов опытов по использованию подщелачивания исходной воды в качестве циркуляционной следует, что:

– в диапазоне $\text{pH} = 10\text{--}9$ отложений не происходит;

– в некоторой области pH и K_k происходит насыщение циркуляционной воды по малорастворимым соединениям, и начинают выделяться отложения. В состав отложений входит магний, остаточное содержание которого выше, чем кальция. Очевидно, необходима дополнительная очистка (стабилизация) циркуляционной воды при высоких степенях концентрирования.

Таким образом, было выявлено, что наибольшей эффективностью обладают технологические решения с предварительным щелочением исходной воды, обратимой рекарбонизацией атмосферным воздухом и байпасной обработкой циркуляционной воды, которые позволяют добиться практически безнакипного некоррозионноактивного режима работы системы оборотного охлаждения, а также сокращение расхода исходной воды и минимизацией стоков из системы оборотного охлаждения. Интересным фактом стала полученная зависимость процесса абсорбции/десорбции CO_2 атмосферного воздуха циркуляционной водой в башенную испарительную градирню, которая в научно-технической литературе не упоминается.

Источники

1. Власов С.М. Технологии стабилизационной обработки воды системы оборотного водоснабжения ТЭС: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2015. 16 с.

2. Разработка технологий стабилизационной обработки воды системы оборотного охлаждения ТЭС / С.М. Власов [и др.] // Теплоэнергетика. 2018. № 2. С. 44–49.

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ НА УТИЛИЗАЦИЮ КИСЛЫХ СУЛЬФАТСОДЕРЖАЩИХ ОТРАБОТАННЫХ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ РАСТВОРОМ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ТЭС МЕТОДОМ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ

Власова Алена Юрьевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
vlasovaay@mail.ru

В статье представлены результаты анализа кинетики химической реакции, протекающей при утилизации кислых сульфатсодержащих сточных вод ТЭС. Определены основные составляющие, влияющие на скорость и на глубину протекания реакции. Предложен кальцийсодержащий реагент, с помощью которого удается снизить сульфатсодержащие компоненты в составе сточных вод до 1 г/л. Метод основывается на использовании экологически чистых вторичных ресурсов водоподготовительной установки. Метод позволяет экономить не только материальные ресурсы станций за счет вторичного использования, но и позволяет избежать штрафные санкции за сброс сточных вод с ненормированными показателями, а также позволяет снизить потребность в исходной воде.

Ключевые слова: водоподготовительные установки, сточные воды ТЭС, кислые сульфатсодержащие компоненты, водородный показатель, углекислотное равновесие, кальцийсодержащий реагент.

THE INFLUENCE OF THE HYDROGEN INDEX ON THE UTILIZATION OF ACID SULPHATE-CONTAINING REGENERATION SOLUTIONS OF WATER TREATMENT PLANTS (WTPS) AT THERMAL POWER PLANTS (TTPS) BY THE METHOD OF NEUTRALIZATION

Vlasova Alena Yuryevna

The kinetics of the chemical reaction that occurs during the utilization of acid sulphate-containing wastewater of thermal power plants (TTPs) is analyzed. The main components that affect the rate and depth of the chemical reaction are determined. A calcium-containing reagent with the help of which it is possible to reduce sulfate-containing components of wastewater to 1 g/l was suggested. The method is based on the usage of environmentally clean secondary resources of the water treatment plant. The method allows to save not only material resources of stations because of their secondary usage, but also allows to avoid financial penalties for discharge of wastewater with abnormal indicators, and also allows to reduce demand of source water.

Key words: water treatment plants, wastewater of thermal power plants, acid sulfate-containing components, hydrogen index, carbon dioxide equilibrium, calcium-containing reagent.

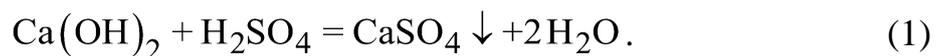
При работе ионитных фильтров образуются высокоминерализованные кислые сульфатсодержащие, жесткие и щелочные жидкие отходы. Превышение сульфатсодержащих компонентов обосновано использованием серной кислоты для регенерации ионообменных материалов, а также использованием на установках предочистки коагулянта сульфата железа.

Существующие методы утилизации кислых сульфатсодержащих растворов, которые основаны на нейтрализации кальцийсодержащими реагентами, чаще используют известь, карбонаты натрия и бария. Методы основаны на двухстадийном осаждении с использованием известкового молока и последующей обработкой карбонатом натрия. Но данные методы весьма дорогостоящие.

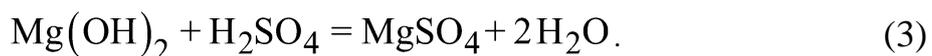
Существуют альтернативные решения утилизации кислых сульфатсодержащих стоков, например, вместо дорогостоящих реагентов, использовать вторичный ресурс ВПУ, кальцийсодержащий реагент – шлам водоподготовки. В пересчете на сухие вещества шлам состоит примерно на 80 % из карбоната кальция (CaCO_3).

Такой метод не требует дополнительных вложений, так как шлам на ТЭС имеется в избытке. В основе большинства методов утилизации кислых сульфатных стоков лежит реакция нейтрализации.

При нейтрализации кислых сульфатных отходов известью основная реакция 1 приводит к образованию малорастворимого сульфата кальция:

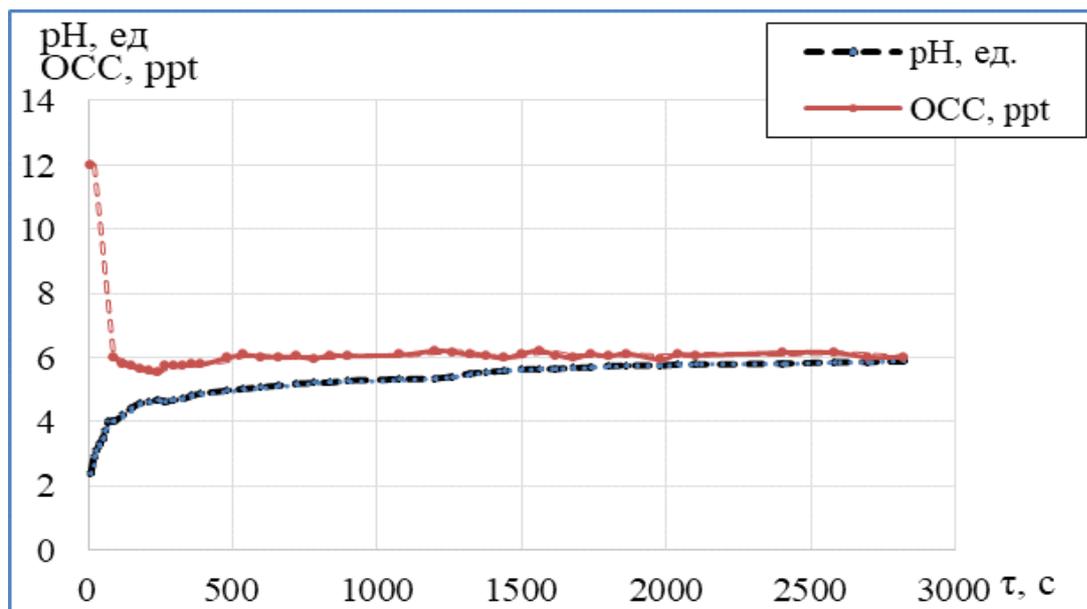


Реакции (2) и (3) при нейтрализации кислых сульфатных отходов компонентами шлама:



Реакции (2) и (3) протекают с увеличением водородного показателя и со значительным снижением общего солесодержания в течение первых нескольких секунд (см. рисунок). Общее солесодержание при водородном показателе от 2 до 4 ед. резко падает. Дальнейший ход реакции спокойный,

ровный. По графику видно, что большая часть сульфатов осаждается именно в диапазоне рН от 2 до 4 ед., дальнейшее снижение активности кислоты при $\text{pH} \geq 4$ приводит к резкому замедлению реакции. При приближении к нейтральной области скорость реакции ничтожно мала. Эффективность реакции напрямую зависит от агрессивности среды, а точнее от водородного показателя, так как используется кальций-содержащий реагент – шлам, который представляет собой карбонат кальция, то имеет смысл говорить об углекислотном равновесии.



Изменение водородного показателя и общего солевого содержания при реакции нейтрализации

При рН от 1 до 5 ед. (агрессивная среда) происходит растворение карбоната кальция, при этом выделяется избыток углекислого газа, который приводит к стабилизации углекислотного равновесия. С ростом рН вода переходит в область стабильной, при которой содержание кальция и карбонат иона находится в соответствующем равновесии. Поэтому свободного кальция для связывания с сульфат ионами становится в разы меньше, а значит, реакция нейтрализации резко снижается. Для доосаждения сульфатов из нейтральных средах используют иные методы.

Один из методов – это использование соединений бария. Но соединения бария токсичны, поэтому использование его в промышленных масштабах становится невозможным.

Для осаждения сульфатов в нейтральных растворах, необходим растворимый кальцийсодержащий реагент. Суть метода сводится к смещению углекислотного равновесия в правую сторону, то есть среда должна

быть нестабильной. В нестабильной среде количество ионов кальция в разы превышает карбонат ионы, а значит и реакционная способность кальция выше. На основании этого был выбран хлорид кальция (CaCl_2).

В результате проведения реакции нейтрализации была выявлена зависимость скорости реакции от водородного показателя. Чем ниже водородный показатель исходных кислых сульфатсодержащих растворов, тем глубже проходит реакции нейтрализации с большим осаждением сульфатов из раствора. При достижении нейтральных значений pH среды скорость реакции резко снижается, а значит, и выделение сульфата кальция (гипс) становится невозможным. Для доосаждения сульфатов из нейтрального раствора используют хлорид кальция. Особенность данной реакции состоит в том, что обменные процессы могут иметь длительный характер. Поэтому основное выделение сульфатов в виде твердой фазы происходит при реакции нейтрализации, и только меньшая часть сульфатов выделяется с помощью обменных процессов.

Источники

1. Власова А.Ю. Ресурсосберегающая технология утилизации высокоминерализованных кислых и жестких отходов ионитных водоподготовительных установок ТЭС: автореф. дисс. канд. техн. наук. Казань, 2018. 16 с.

УДК 621

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЧЕРЕЗ ПОЛ ПЕРВОГО ЭТАЖА ЗДАНИЯ

Гиниятуллин Эмиль Раисович¹, Зиганшин Малик Гарифович²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹emil.giniyatullin@mail.ru, ²mjihhan@mail.ru

В статье предложен метод утилизации теплотерь через пол первого этажа с использованием грунтовых тепловых насосов горизонтального и вертикального типа, устраиваемых под полом и на стенах подвала, что увеличит энергоэффективность системы теплоснабжения и горячего водоснабжения. Представлены результаты расчетов теплотерь здания.

Ключевые слова: тепловой насос, энергоэффективность, утилизация, источник теплоснабжения.

DISPOSAL OF HEAT LOSS THROUGH THE FIRST FLOOR OF THE BUILDING

Giniyatullin Emil Raisovich, Ziganshin Malik Garifovich

The article proposes a method for the utilization of heat through the floor of the first floor using horizontal and vertical type soil heat pumps arranged under the floor and on the basement walls, which will increase the energy efficiency of the heat supply system and hot water supply. The results of calculations of heat losses of the building are presented.

Keywords: heat pump, energy efficiency, utilization, heat supply source.

Для повышения класса энергоэффективности жилых одноэтажных домов может быть результативно использование теплового насоса для выработки теплоносителя для систем отопления и горячего водоснабжения этих же объектов. Жидкий хладагент (инертный газ с низкой температурой кипения), циркулирующий по трубам жидкой части контура теплового насоса, вскипает в испарителе, если к нему подводится теплота какого-либо низкотемпературного источника. Чтобы выделить полученное тепло, необходимо хладагент из газообразного состояния вновь перевести в жидкость, используя компрессор и конденсатор. Эти устройства требуют затраты энергии, ввиду чего приносимый тепловым насосом эффект невелик и зависит от его типа, и еще больше – от климатических условий эксплуатации.

Тепловые насосы могут быть воздушные и геотермальные. В данной статье рассматривается теплонасос типа «грунт – вода». Система грунтового теплового насоса имеет в своей схеме 3 контура: сам тепловой насос, испаритель и непосредственно система отопления в доме, в которой циркулирует вода. Достоинством этой системы является стабильная температура источника тепловой энергии, надежность и устойчивость работы системы, высокая долговечность, универсальность работы системы. К недостаткам относятся высокая стоимость оборудования, большие объемы земляных работ.

Коллекторы теплового насоса могут быть вертикальными и горизонтальными. Горизонтальный коллектор – это система контуров труб, размещенных на глубине 10 м и более.

Прежде, чем использовать теплонасос, нужно учитывать российский климат, где в северо-восточной части страны средняя температура очень низкая. В Республике Татарстан зимой термометры нередко опускаются до 30 °С и ниже и температура воздуха наиболее холодных суток в Казани с обеспеченностью 0,92 равна –33 °С. Поэтому в нашей климатической зоне эффективность использования тепловых насосов низкая.

Одним из вариантов увеличения энергоэффективности является утилизация уходящего тепла. Если ее сохранить с помощью теплового насоса и горизонтального коллектора, уложенного в пол, то это значительно уменьшит расходы на теплоснабжение дома. Этого тепла не будет достаточно для отопления дома, и оно должно быть дополнением к другому виду отопления (электрический, газовый котел).

В предлагаемом случае трубы можно будет укладывать под полом подвала на глубине около 20 см с расстоянием между ними 10 см, их нужно проложить по всей площади дома. Имеются разные схемы раскладки труб петля, змейка, зигзаг, плоские и винтовые спирали и т. д. Выбор зависит от теплопроводности грунта и геометрии пола. Как показывают расчеты теплопотерь первого этажа многоквартирного дома, через пол уходит около 20 % тепла.

Экономия этого метода начинается уже со стадии закладки труб. Такой способ укладки горизонтального коллектора не нуждается в больших земляных работах, поскольку трубы достаточно заложить на 20 см, а не на глубину ниже точки промерзания грунта, которая для Казани составляет более 1,7 м.

Источники

1. Елистратов С.Л. Комплексное исследование эффективности тепловых насосов: автореф. ... дисс. д-ра техн. наук. Новосибирск, 2011. 40 с.

2. Р НП «АВОК» 5-2006 Рекомендации по оценке экономической эффективности инвестиционного проекта теплоснабжения [Электронный ресурс]: утв. и введены в действие приказом Президента НП «АВОК» от 17 апреля 2006 г. / разработ.: О.А. Сотникова, Э.Ю. Околелова, Т.А. Фиронова. URL: <http://1000gost.ru/Index1/47/47494.htm> (дата обращения: 15.07.2019).

3. Михельсон В.А. Проект динамического отопления: собр. соч. М.: Изд-во с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева, 1930. Т. 1. С. 321–357.

4. Михельсон В.А. Проект динамического отопления // Журнал прикладной физики, 1926. Т. 3, вып. 3-4. С. 243–260.

5. Фокин В.М., Бойков Г.П., Видин Ю.В. Основы энергосбережения в вопросах теплообмена: моногр. М.: Машиностроение, 2005. 192 с.

6. Полякова В.Ю., Калинина Т.О., Кичин К.В. Анализ энергоэффективности тепловых насосов в системах теплоснабжения по территориально-климатическому признаку // Молодой ученый. 2016. № 27. С. 142–146.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАССЕЙВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ УДАЛЕНИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Демина Юлия Эрнестовна, Кудинов Анатолий Александрович
ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара
zakharova_yu@bk.ru

В качестве устройства для отвода дымовых газов может использоваться не только традиционная дымовая труба. В работе проводится экологический анализ рассеивания загрязняющих веществ при отказе от дымовой трубы и использовании для отвода дымовых газов вытяжной башни градирни с естественной вентиляцией.

Ключевые слова: градирня, парогазовая установка, дымовые газы, дымовая труба, рассеивание, газотурбинная установка, экология.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DISPERSION OF POLLUTANTS IN VARIOUS METHODS OF REMOVING SMOKE GASES

Demina Julia Ernestovna, Kudinov Anatoly Alexandrovich

As a device for removing flue gases, not only a traditional chimney can be used. The work provides an environmental analysis of the dispersion of pollutants in case of rejection of the chimney and the use of a fume tower with natural ventilation for flue gas exhaust.

Keywords: cooling tower, combined cycle plant, flue gases, chimney, dispersion, gas turbine installation, ecology.

На сегодняшний день к тепловым электрическим станциям (ТЭС) предъявляются жесткие экономические требования. Источники тепловой и электрической энергии ежегодно совершенствуются, внедряются инновационные энергосберегающие технологии. В данной работе рассматривается вариант замены дымовой трубы на градирню с совмещенным парогазоудалением от установки ПГУ-200 Сызранской ТЭЦ [1]. Применение отвода уходящих газов ГТУ в атмосферу через вытяжную башню градирни позволяет повысить эффективность работы градирни, паротурбинной установки и ПГУ и отказаться от строительства и эксплуатации дымовой трубы [2]. При этом дополнительная экономия условного топлива за счет повышения вакуума в конденсаторе паровой турбины при наработке

ПГУ-200 Сызранской ТЭЦ 6500 ч/год составляет 1 млн 799 тыс. руб./год [1]. Однако желание сэкономить не должно негативно отражаться на окружающей среде. Указом президента была утверждена Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. [3]. Текущее состояние экологической ситуации оценивается как неблагоприятное. Поэтому внедрение новых технологий должно быть обосновано не только экономическими расчетами, но и экологическим анализом.

Для того, чтобы оценить влияние выбросов вредных веществ, содержащихся в дымовых газах, проводится расчет рассеивания, т. е. их приземных концентраций на различных расстояниях от источника [4]. Проводился сравнительный анализ расчетных концентраций вредных веществ (на примере диоксида азота, так как к ПДК [5] данного вещества предъявляются наиболее жесткие ограничения). Расчет приземных концентраций NO₂ выполнен в соответствии с Приказом Минприроды России от 6 июня 2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» [6] для двух вариантов на базе унифицированного программного комплекса УПРЗА «ЭКО центр»:

- а) с учетом только вклада предприятия;
- б) с учетом вклада предприятия и фоновых концентраций в зоне действия ТЭЦ [7].

Были получены основные показатели вредного воздействия выбросов NO₂ для градирни и существующей дымовой трубы (см. таблицу).

Показатели вредного воздействия выбросов NO₂

Объект	Показатель			
	Опасная скорость, м/с	Масса выброса, г/с	Максимальная концентрация без учета фона, дПДК	Расстояние до максимума, м
Дымовая труба	4,7	15,5	0,109	1172
Градирня	4,5	15,5	0,063	1484

По результатам расчета были построены графики распределения концентраций NO₂ в долях ПДК в зависимости от расстояния от источника в зоне действия ТЭЦ без учета фоновых концентраций (рис. 1) и с учетом (рис. 2).

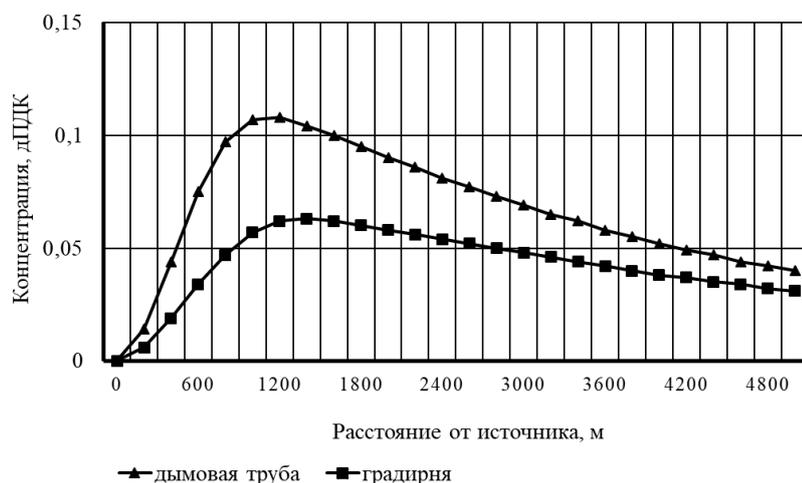


Рис. 1. Расчетные концентрации NO_2 в зависимости от расстояния от источника выбросов в долях ПДК (вклад предприятия)

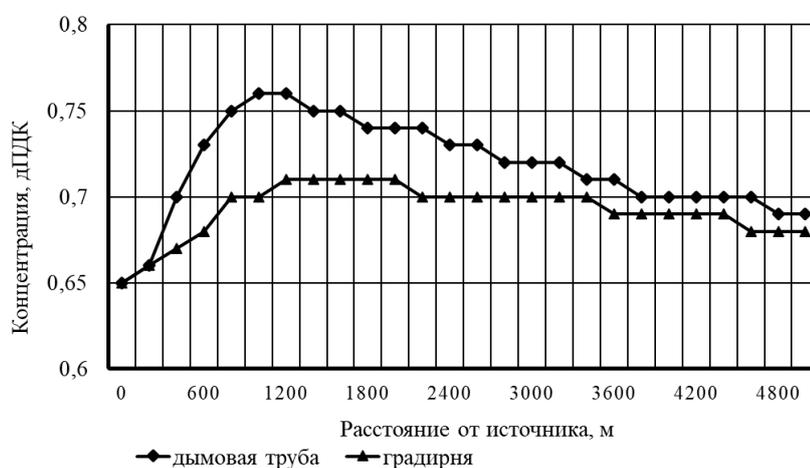


Рис. 2. Расчетные концентрации NO_2 в зависимости от расстояния от источника выбросов в долях ПДК (вклад предприятия с учетом фона)

Расчет рассеивания диоксида азота при удалении дымовых газов как через дымовую трубу, так и при использовании вместо трубы башенной градирни показал, что концентрация NO_2 в обоих случаях не превышает предельно допустимую концентрацию.

Источники

1. Кудинов А.А., Зиганшина С.К., Горланов С.П. Повышение эффективности парогазовой ТЭС путем отвода уходящих газов котла-утилизатора ГТУ в атмосферу через вытяжную башню градирни с естественной вентиляцией воздуха // Промышленная энергетика. 2017. № 3. С. 33–38.

2. Кудинов А.А., Дёмина Ю.Э. Расчет системы отвода уходящих дымовых газов газотурбинной установки через башню градирни // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8. № 1 (30). С. 135–138.

3. О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 № 176.

4. Кудинов А.А., Дёмина Ю.Э. Расчет рассеивания загрязняющих веществ при удалении дымовых газов ГТУ через башню градирни // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: сб. тр. IV Всерос. науч.-практ. конф. Кемерово, 2018. С. 121–127.

5. «Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест (дополнение № 3 к списку ПДК № 3086-84 от 27 августа 1984 г.) [Электронный ресурс]. Доступ из ЭПС «Система ГАРАНТ».

6. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе [Электронный ресурс]: утв. приказом Минприроды России от 6 июня 2017 г. № 273. Доступ из СПС «КонсультантПлюс».

7. Экологический бюллетень самарская область сентябрь 2019 года. Самара: ФГБУ «Приволжское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», 2019. 40 с.

УДК 620.92

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В ЖКХ

Иванова Ирина Владимировна, Бакрунова Татьяна Сергеевна
ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара
iwi2014@mail.ru

В статье проанализированы возможности использования нетрадиционных источников в ЖКХ, а также приведены примеры их использования на практике.

Ключевые слова: энергия, альтернативный источник, нетрадиционный источник, ЖКХ.

NON-TRADITIONAL ENERGY SOURCES IN HOUSING

Ivanova Irina Vladimirovna, Bakrunova Tatyana Sergeevna

The article analyzes the possibilities of using non-traditional sources in the housing and communal services, and also gives examples of their use in practice.

Keywords: energy, alternative source, non-traditional source, housing and communal services.

Дефицит природных источников энергии побуждает ученых всех стран задуматься о поисках альтернативных видов энергии. Причина поиска альтернативных источников энергии – потребность получать её из энергии возобновляемых или практически неисчерпаемых природных ресурсов и явлений. Во внимание может браться также экологичность и экономичность.

Постоянный рост тарифов на энергоносители вынуждает владельцев частных домов использовать альтернативные источники. Во многих местах удаленные приусадебные участки и частные хозяйства совершенно лишены возможности, даже теоретического подключения к необходимым энергетическим ресурсам.

Использование нетрадиционных источников энергии в России развито плохо, по сравнению со многими странами находится на низком уровне. Сложившееся положение объясняется обилием и доступностью ископаемых энергоносителей. Однако понимание малой продуктивности данной позиции и взгляд в будущее обязывает правительство все больше заниматься данной проблемой.

Наметились позитивные тенденции. В Белгородской области успешно работает и планируется к расширению массив солнечных батарей. Планируются работы по внедрению биоэнергетики. В различных регионах запускаются ветряные электростанции. На Камчатке успешно используется энергия геотермальных источников.

Доля нетрадиционных источников энергии в общем энергобалансе страны оценивается очень приблизительно и составляет около 4 %, но имеет теоретически неисчерпаемые возможности развития.

Наиболее популярным является использование солнечной энергии.

Сегодня для преобразования солнечного излучения в электрическую энергию мы располагаем двумя возможностями: использование солнечной энергии как источника тепла для выработки электроэнергии традиционными способами (например, с помощью турбогенераторов) или непосредственное преобразование солнечной энергии в электрический ток в солнечных элементах. Реализация обеих возможностей пока находится в зачаточной стадии.

Поскольку энергия солнечного излучения распределена по большой площади любая установка для прямого использования солнечной энергии должна иметь собирающее устройство (коллектор) с достаточной поверхностью.

Гелиосистема может быть как полностью независимым источником электроснабжения, так и работать совместно с традиционными источниками энергии и быть резервной.

В качестве примера использования можно привести в пример жителей одного дома в Екатеринбурге, которые на крыше своего дома установили солнечные батареи.

Источники

1. «Нетрадиционные источники энергии» [Электронный ресурс]. URL: <https://studfiles.net/preview/5679641/> (дата обращения: 01.11.2019).

2. «Нетрадиционный источник энергии и его применение» [Электронный ресурс]. URL: <http://fb.ru/article/147614/netraditsionnyiy-istochnik-energii-i-ego-primenenie/> (дата обращения: 01.11.2019).

3. «Екатеринбург. Собственники жилья решили отапливать многоквартирный дом с помощью альтернативного источника энергии» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cnis.ru/?nid=8/> (дата обращения: 01.11.2019).

УДК 629.4.048.7

СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ ОБМЕРЗАНИЯ РЕКУПЕРАТОРА

Игнатьев Кирилл Андреевич¹, Зиганшин Малик Гарифович²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹eretekosyk@mail.ru, ²mjihhan@mail.ru

В данной статье рассмотрены различные способы устранения обмерзания рекуператора и выделен оптимальный вариант его устранения.

Ключевые слова: рекуператор, грунтовый теплообменник, вытяжной воздух, приточный воздух, устранение обмерзания.

WAYS TO ELIMINATE FREEZING OF THE RECUPERATOR

Ignatiev Kirill Andreevich, Ziganshin Malik Garifovich

This article discusses various methods of eliminating frost recuperator and highlighted the best option to eliminate it.

Keywords: recuperate, ground heat exchangers, exhaust air, supply air, freezing control.

Обмерзание рекуператоров происходит, когда теплый и влажный вытяжной воздух охлаждается приточным потоком с отрицательной температурой. Влага из удаляемого воздуха конденсируется на холодной поверхности рекуператора и замерзает. По мере обмерзания вытяжного канала поступление теплого воздуха из помещения снижается, область с отрицательной температурой растет, и постепенно весь вытяжной канал заполняется льдом. Чтобы избежать замерзания установки, используются различные методы разморозки.

Самый простой и недорогой вариант – периодическое осушение рекуператора по таймеру. Если температура наружного воздуха опустилась ниже нуля, автоматика вентустановки через определенные промежутки времени включает на несколько минут режим осушки. В таком режиме приточный канал отключается, поверхность рекуператора перестает охлаждаться, лед растапливается, и влага удаляется вместе с потоком воздуха. Такой способ имеет недостаток – на время разморозки отключается подача свежего воздуха, и нарушается баланс притока – вытяжки, способствуя распространению неприятных запахов из кухни и санузлов. Кроме того, без контроля фактического состояния рекуператора сложно подобрать длительность и период включения осушки. При неблагоприятных условиях (влажный воздух в помещении или сильный мороз) такой способ защиты может оказаться неэффективным, и рекуператор замерзнет.

Можно включать режим осушения рекуператора по датчику обмерзания, для этих целей используют датчик перепада давления (при обмерзании падение давления на рекуператоре резко возрастает) или датчики температуры на входах и выходах рекуператора (при обмерзании снижается эффективность рекуперации). Хотя этот метод и должен исключить обмерзание рекуператора, но он имеет такой же недостаток, что и первый метод.

Чтобы в процессе разморозки не отключать подачу свежего воздуха, можно установить байпас приточного канала, через который приточный воздух пойдет в обход рекуператора. Такой метод разморозки не приведет к ухудшению качества подаваемого воздуха, поскольку его общий расход останется неизменным. Однако при этом рекуператор перестанет работать и для нагрева приточного воздуха придется использовать мощный калорифер, что приведет к большим пиковым нагрузкам. Если доступная мощность ограничена, нагревать воздух можно маломощным калорифером, но тогда потребуется снизить в несколько раз расход притока и для сохранения баланса вытяжки.

Вместо байпаса можно установить дополнительный калорифер на входе приточного канала рекуператора, тогда при обмерзании можно будет включить этот калорифер и растопить лед теплым приточным воздухом. Недостаток здесь такой же, как и в предыдущем варианте. В то же время, в отличие от других, этот метод обеспечивает наиболее быструю разморозку, поскольку теплый воздух подается в приточный канал, который никогда не обмерзает. Поэтому внутри него сохраняется нормальная скорость потока воздуха (приточный канал не обмерзает, так как наружный холодный воздух почти не содержит влаги).

Ещё одним способом борьбы с обмерзанием рекуператора, является система экспресс-разморозки на основе регулируемой внутренней рециркуляции, которая возвращает определенную часть теплого воздуха с выхода приточного канала рекуператора на его вход, используя воздушный клапан с пропорциональным управлением. Такая система не требует применения дополнительно калорифера, но при этом позволяет поддерживать безопасную температуру на входе рекуператора, не допуская его обмерзания. Недостатком данного метода является необходимость обеспечения сложной автоматикой и вентиляторами с плавной регулировкой производительности.

Оптимальным методом борьбы с обмерзанием является комбинирование рекуператора с грунтовым теплообменником. Суть данного метода заключается в том, что воздухопровод устанавливается под землей примерно на глубине 2 м, т. е. ниже промерзания грунта для того, чтобы приточный воздух подходил к установке уже подогретым, температура подогретого воздуха примерно составляет 15 °С (температура оптимальной работы рекуператора в холодное время –5 °С). Это позволит избежать установки дополнительных калориферов. Недостатки данного метода – в летнее время в грунтовом теплообменнике образуется большое количество конденсата, и для этого нужно устанавливать дополнительный конденсатосборник. Но благодаря грунтовому теплообменнику снижаются экономические затраты, а также увеличивается КПД рекуператора с 60 до 90 %, а температура уходящего воздуха – в среднем от 25–27 °С.

Источники

1. Казаков Ю.Н., Захаров В.П. Современное малоэтажное домостроение [Электронный ресурс]. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Лань, 2019. 272 с. Доступ из ЭБС «Лань».

2. Липко В.И., Широкова О.Н., Лапезо А.С. Научно-методические разработки по расчету тепловой вентиляции зданий с многоступенчатой технологией рекуперации возобновляемых [Электронный ресурс] // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2018. Т. 4, № 1. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2018/01/2018-N1-Lipko-Lapezo.pdf> (дата обращения: 12.09.2019).

3. «Простая и эффективная система грунтового воздушного теплообменника, которую легко сделать самостоятельно» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forumhouse.ru/articles/house/8540> (дата обращения: 12.09.2019).

4. «Особенности организации приточно-вытяжной вентиляции на основе рекуператора» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forumhouse.ru/articles/house/7552> (дата обращения: 12.09.2019).

5. «Рекуператор для квартиры, загородного дома и офиса» [Электронный ресурс]. URL: http://www.rfclimat.ru/htm/vent_recuperator.htm (дата обращения: 12.09.2019).

УДК 532.517.2, 534-8

СНИЖЕНИЕ ВЯЗКОСТИ МАЗУТА С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Камалов Рустем Фаритович¹, Здор Виктория Олеговна²
ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань
¹rustemran@mail.ru, ²zdor_victoria@mail.ru

Проведено исследование работ по проблеме снижения вязкости мазута, используемого при сжигании на ТЭС, с использованием циркуляционного подогрева в резервуаре и предварительной обработки ультразвуком. Выявлено изменение реологических свойств мазута – снижение вязкости.

Ключевые слова: мазут, тепловое воздействие, ультразвуковая обработка, реология, струйное перемешивание, повышение эффективности.

REDUCING VISCOSITY OF MAZUT WITH USING THERMAL EXPOSURE AND ULTRASONIC PROCESSING

Kamalov Rustem Faritovich, Zdor Victoria Olegovna

A study of the works on the problem of reducing the viscosity of mazut used during combustion at TPPs using circulating heating in the tank and pre-treatment with ultrasound was carried out. A revealed change in the rheological properties of mazut – a decrease in viscosity.

Keywords: mazut, thermal exposure, ultrasonic treatment, rheology, jet mixing, increase in efficiency.

Мазут, получаемый в настоящее время из высоковязкой нефти, характеризуется повышенным содержанием парафинов, что ухудшает его низкотемпературные свойства и создает определенные трудности при транспортировке и хранении. Снижение вязкости позволяет уменьшить гидравлическое сопротивление в трубопроводе, и как следствие сократить затраты на транспортировку и хранение. Для улучшения вязкостно-температурных свойств мазута применяют различные методы воздействия.

Термический нагрев, применяемый для регулирования реологических свойств мазута и других тяжелых нефтепродуктов, является наиболее эффективным как с технологической, так и с экономической точек зрения [1, 2]. В литературе отмечают преимущества применения циркуляционного подогрева в резервуарах хранения топлива и малое количество работ по данной тематике, не смотря на широкое использование данного способа улучшения реологических свойств [3, 4].

Еще одним перспективным способом обработки мазута является ультразвуковое воздействие, которое направлено на изменение физических и химических свойств мазута [5–9]. В результате ультразвуковой обработки мазута может происходить разрыв межмолекулярных связей вследствие возникновения кавитационных процессов и снижение вязкости. Важно определить время релаксации структурно-реологических параметров высоковязкой мазута после обработки.

При комплексном воздействии, включающем ультразвуковую обработку тяжелых нефтепродуктов и термический подогрев, возможно наличие синергетического эффекта, позволяющего значительно снизить вязкость и температуру застывания мазута, а также увеличить время релаксации структурно-реологических параметров.

В НИИ Физики Южного федерального университета проведены исследования влияния интенсивной ультразвуковой обработки на реологические свойства нефти и нефтепродуктов, особенно тяжелых нефтепродуктов, таких как мазуты М100 и М40 [10]. Релаксация реологических свойств наблюдалась в течение 10 дней после ультразвуковой обработки. В результате исследования были выявлены следующие закономерности: значительное снижение вязкости вещества после обработки с последующим ростом в процессе релаксации; во всех случаях аномальное поведение вязкости вещества наблюдалось в процессе релаксации; кинематическая вязкость во всех экспериментах не достигла своих начальных значений. Это означает, что ультразвуковая обработка способна эффективно снижать

вязкость тяжелых нефтепродуктов в течение периода времени, достаточного для их производства, а также для транспортировки тяжелых нефтей и нефтепродуктов на значительные расстояния.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-48-160035.

Источники

1. Назмеев Ю. Г. Мазутные хозяйства ТЭС. М.: Изд-во МЭИ, 2002. 612 с.
2. Назмеев Ю.Г. Теплоперенос и гидродинамика в системах хранения жидкого органического топлива и нефтепродуктов. М.: Издательский дом МЭИ, 2005. 368 с.
3. Kuznetsova S.A., Maksimov V.I. Heat transfer in fuel oil storage tank at thermal power plants with local fuel heating // MATEC Web of Conferences. 2015. Pp. 1–4.
4. Zhao J., Wei L., Dong H., Liu F. Research on heat transfer characteristic for hot oil spraying heating process in crude oil tank // Case Studies in Thermal Engineering. 2016. Vol. 7. Pp. 109–119.
5. Волкова Г.И. Ультразвуковая обработка нефтей для улучшения вязкостно-температурных характеристик // Нефтепереработка и нефтехимия. 2012. № 2. С. 3–6.
6. Муллакаев М.С. Исследование воздействия ультразвука и химических реагентов на реологические свойства нефти Лузановского месторождения // Нефтепереработка и нефтехимия. 2011. № 11. С. 23–28.
7. Ершов М.А., Муллакаев М.С., Баранов Д.А. Математическая обработка результатов экспериментов по ультразвуковому воздействию на вязкость нефти // Вестник СГТУ. 2012. № 1. С. 250–253.
8. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Голых Р.Н., Хмелев С.С. Выявление оптимальных условий ультразвуковой кавитационной обработки высоковязких и неньютоновских жидких сред // Южно-Сибирский научный вестник. 2014. № 2. С. 138–142.
9. A technique for evaluating the oil/heavy-oil viscosity changes under ultrasound in a simulated porous medium / H. Hamidi [et al.] // Ultrasonics. 2014. Vol. 54. Pp. 655–662.
10. Makarev D.I., Rybyanets A.N., Sukhorukov V.L. Effects of different power high-intensity ultrasonic treatment on rheological properties of heavy oil products // Indian Journal of Science and Technology. Vol. 9 (42). 2016. Pp. 1–7.

ВИДЫ ЭНЕРГОАУДИТА И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

Карпов Денис Федорович
ФГБОУ ВО «ВоГУ», г. Вологда
karpov_denis_85@mail.ru

На протяжении текущего десятилетия вопросы энергоэффективности и энергосбережения в различных отраслях народного хозяйства являются стратегически важными и входят в перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899). К тому же в перечне критических технологий Российской Федерации обозначены такие вопросы, как технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии и технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе. Энергоаудит и разработанные на его основе энергосберегающие мероприятия (ЭСМ), позволяют решать указанные задачи в ЖКХ и ТЭК, сферах транспорта, машиностроения, металлургического производства и др. [1, 2].

Ключевые слова: энергоаудит, энергоэффективность, энергосбережение, энерго-ресурсы, энергопотоки, энергосберегающие мероприятия (ЭСМ), жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ), топливно-энергетический комплекс (ТЭК).

TYPES OF ENERGY AUDIT AND ENERGY SAVING MEASURES IN HOUSING AND COMMUNAL SERVICES AND FUEL AND ENERGY COMPLEX

Karpov Denis Fedorovich

Over the past decade, the issues of energy efficiency and energy saving in various sectors of the economy are strategically important and are included in the transfer of priority areas of development of science, technology and technology of the Russian Federation (presidential Decree of July 7, 2011 № 899). In addition, the list of critical technologies of the Russian Federation includes such issues as technologies for creating energy-saving systems for transportation, distribution and use of energy and technologies for energy-efficient production and conversion of energy using fossil fuels. Energy audit and energy-saving measures (ESM) developed on its basis allow to solve the specified tasks in housing and utilities, transport, engineering, metallurgical production, etc. [1, 2].

Keywords: energy audit, energy efficiency, energy saving, energy resources, energy flows, energy saving measures (ESM), housing and communal services (HCS), fuel and energy complex (FEC).

Энергоаудит (энергетический аудит) – техническое исследование объектов ЖКХ, энергетики, промышленности с целью обеспечения повышения эффективности энергоресурсов, стимулирования внедрения и освоения различных производственных методик, своевременного обновления инженерно-технологического оборудования. Также под энергоаудитом понимают широкий спектр функций, направленных на анализ рационального или нерационального, эффективного или неэффективного использования различных видов энергии [3–5].

Процедура энергоаудита на предприятии для оценки текущего энергоиспользования и идентификации путей наилучшего использования энергии начала практиковаться еще с начала промышленной эры. Новая парадигма энергоаудита создавалась почти непрерывно в последние 30–40 лет на основе государственного регулирования, появления новых технологий, ужесточающихся требований к экологии окружающей природной среды и различных строительных объектов, надежности, безопасности, развивающегося рынка энергосервиса. Новая модель преследовала задачи создания более рентабельной стратегии энергосбережения [3].

Энергетические аудиты могут проводиться для подавляющего большинства оборудования, гражданских и промышленных зданий, выполнения государственных законов и норм, корпоративного энергетического планирования, а также способствовать привлечению первичных или дополнительных инвестиций, для реализации проектов [1, 4].

Классический энергоаудит состоит из 3 частей: 1) сбор данных, при котором выполняется оценка того, где и как на предприятии, в технологическом процессе или на оборудовании используется энергия, сколько она стоит, определяются факторы, влияющие на потребление энергоресурсов; 2) анализ данных, необходимый для оценки ЭСМ, реализация которых делает энергоиспользование более эффективным, менее затратным или экологически выгодным; 3) разработка рекомендаций, когда представляется полный отчет, описывающий ЭСМ и рекомендуемый последующие действия на основе финансового анализа.

По объемам проводимых работ энергоаудит делят на: 1) экспресс-энергоаудит; 2) инструментальный (полный, общий, детальный); 3) локальный (выборочный); 4) инвестиционный (макси-аудит, подробный, всесторонний, с техническим и финансовым анализом).

1. Экспресс-энергоаудит выполняется по сокращенной программе, как правило, с минимальным использованием или без использования приборно-инструментального оборудования и носит ограниченный

по времени проведения и объему работ характер. При этом данный вид энергоаудита не исключает оценки эффективности использования всех или одного из видов энергии: электрической, тепловой, твердого или жидкого топлива, вторичных энергоресурсов, функционирования отдельной группы оборудования, отдельной установки или системы. Это самый дешевый, простой или «бюджетный» вид энергоаудита. Такой вид энергоаудита подойдет для: новых зданий или объектов, впервые введенных в эксплуатацию; организаций, у которых ограниченный бюджет, отсутствуют свободные финансовые средства или которые не собираются внедрять ЭСМ, или хотят решить вопрос с энергоаудитом и энергетическим паспортом за минимальную цену.

2. Инструментальный энергоаудит выполняется по всем видам энергоресурсов, с приборно-инструментальными замерами, с детальным анализом всех энергетических потоков организации. Объем работ и количество замеров при таком детальном энергоаудите согласовываются в техническом задании на энергообследование. По результатам детального энергоаудита составляется индивидуальная программа энергосбережения, цель которой – значительное сокращение энергозатрат организации. С финансовой точки зрения он является более дорогим, трудоемким и продолжительным видом энергоаудита. Он подойдет для организаций, которые хотят выявить причины энергопотерь и сократить затраты на энергопотребление; хотят сделать энергоаудит «для себя»; у которых есть средства не только для проведения энергоаудита, но и для реализации ЭСМ.

3. Локальный энергоаудит выполняется в отношении одного отдельно взятого здания, технологического комплекса или объекта. Он занимает промежуточное место между экспресс-энергоаудитом и инструментальным энергоаудитом. Так, например, в отношении всей организации проводится экспресс-энергоаудит, а в отношении отдельного здания, технологического комплекса или объекта проводится инструментальный энергоаудит с целью выявления и устранения энергопотерь. Такой вид энергоаудита подойдет для организаций, у которых есть несколько «проблемных» зданий или объектов, с очень высоким энергопотреблением и энергозатратами, а также организациям, у которых нет средств на проведение общего энергоаудита, но есть необходимость устранить несколько «проблемных» зон.

4. Инвестиционный энергоаудит является наиболее полным, сложным, длительным и дорогим из всех энергоаудитов. Однако большая часть его процедур и достаточно сложных организационно-технических моментов

могут не требоваться в полной мере. Данный вид энергоаудита является усовершенствованием инструментального энергоаудита в части сбора данных, моделирования, финансового анализа и отчетности. Этот вид аудита требуется для того, чтобы все фазы закупок и энергоиспользования оценивались, измерялись и документировались для включения в конечный отчет. Технически этот аудит приводит к энергетической модели, которая учитывает почти все использование энергии и затрат. Он требует моделирования и оценки каждого цеха, оборудования для возможных ЭСМ. Подразумевает предельно подробный опрос рабочего и административно-управленческого персонала для полного понятия рабочих параметров, потребностей производства предприятия, максимального сбора данных. Фаза анализа в таком энергоаудите включает динамическое моделирование (программную модель) всего использования энергии, так же как и каждого предложенного ЭСМ. Последовательное «ранжирование» этих ЭСМ посредством финансового анализа должно быть представлено с особыми рекомендациями. Обычный финансовый анализ в данном виде энергоаудита включает анализ полного срока окупаемости с учетом налогов, амортизации и влияния процедуры обслуживания и процесса эксплуатации.

По срокам проведения энергоаудиты делятся на первичный, очередной, внеочередной и предэксплуатационный [1, 3, 4]

1. Первичный энергоаудит выполняется в отношении предприятий, ранее не подвергавшихся энергетическим обследованиям или перерыв в обследованиях которых составляет более 5 лет.

2. Очередной энергоаудит выполняется не реже 1 раза в 5 лет, и не чаще, чем 1 раз в 2 года в плановом порядке с целью сравнения текущих показателей энергоэффективности с показателями, определенными предыдущим обследованием. Все изменения вносятся в энергетический паспорт организации.

3. Внеочередной энергоаудит выполняется при выявлении на предприятии роста объемов потребления энергоресурсов; снижения эффективности использования энергоресурсов; роста себестоимости продукции и топливной составляющей в ней. Проводится также при изменении вида используемого топлива; при увеличении потребления энергоресурсов более чем на 25 %.

4. Предэксплуатационный энергоаудит выполняется перед началом или в начале эксплуатации оборудования для определения первичных затрат энергии.

Итогом энергоаудита является разработка энергетического паспорта, определение класса энергоэффективности и разработка перечня ЭСМ (при необходимости) [1, 3–5]. Укрупненная классификация ЭСМ выглядит так.

1. Полностью взаимоисключающие. Выбор одного такого ЭСМ исключает выбор других. Примером может служить выбор одинарного, двойного или тройного остекления окон с различными уровнями термического сопротивления теплопередаче.

2. Взаимозависимые (или взаимодействующие). Выбор одного влияет или действует на другое. Примером может служить установка энергоэффективного освещения и дополнительной теплоизоляции, которые уменьшают нагрузку охлаждения воздуха и, следовательно, мощность кондиционера. При оценке взаимозависимых ЭСМ их взаимодействие должно включаться в энергетический и экономический анализ.

3. Независимые. Выбор одного не влияет и не действует на другие. Примерами может служить замена неэффективных кондиционеров и котлов (или электрических двигателей) на эффективные аналоги.

Также при выборе того или иного ЭСМ необходимо проводить их инженерный и экономический анализ для определения срока эксплуатации и окупаемости объекта после реализации ЭСМ.

Некоторыми примерами ЭСМ в ЖКХ и ТЭК являются повышение теплозащитных свойств ограждающих конструкций (лоджии, балконы, стены), автоматизация теплового пункта, поквартирное отопление, устранение инфильтрации, установка термостата перед отопительным прибором, замена деревянных оконных рам на пластиковые или металлодеревянные со стеклопакетами, установка счётчиков на горячее водоснабжение, «бытовое» энергосбережение и многие другие [1, 3, 4, 6].

Источники

1. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». М.: ООО «Рид Групп», 2012. 80 с.

2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: постановление Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. Доступ из СПС КонсультантПлюс.

3. Данилов О.Л., Горяев А.Б., Яковлев И.В. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учеб. пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 424 с.

4. Молодежникова Л.И. Энергосбережение в теплоэнергетике и тепло-технологиях: учеб. пособие. Томск. Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 205 с.

5. Сеницын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Основы тепловизионной диагностики теплопотребляющих объектов строительства: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. Вологда: ВоГУ, 2014. 160 с.

6. Карпов Д.Ф., Павлов М.В., Сеницын А.А. Результаты апробации методики теплоэнергетического обследования объектов теплопотребления тепловизионным методом // Энергоснабжение, энергопотребление, энергоэффективность, энергосбережение. Возобновляемые источники энергии: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 2012. С. 157–162.

УДК 621.311

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПЕРЕГРЕВОМ ВОДЯНОГО ПАРА

Кудинов Анатолий Александрович, Зиганшина Светлана Камилловна,
Хусаинов Кирилл Русланович
ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара
tes@samgtu.ru

Для повышения экономичности и надежности работы парогазового блока ПГУ-170 предлагается в зоне высоких температур газов двухконтурного котла-утилизатора дополнительно разместить ступень промежуточного пароперегревателя для вторичного перегрева водяного пара.

Ключевые слова: газотурбинная установка, котел-утилизатор, водяной пар, паровая турбина, парогазовая установка, промежуточный пароперегреватель

INCREASE OF EFFICIENCY OF THE COMBINED CYCLE PLANT WITH INTERMEDIATE SUPERHEATING OF WATER STEAM

Kudinov Anatoly Alexandrovich, Ziganshina Svetlana Kamilovna,
Khusainov Kirill Ruslanovich

To increase the efficiency and reliability of the combined cycle gas turbine unit PGU-170 is available in the area of high temperature gas Combi boiler-utilizer to deploy additional stage reheater for the secondary superheating steam.

Keywords: gas turbine installation, boiler-utilizer, steam, steam turbine, combined-cycle plant, intermediate superheater.

В настоящее время в области отечественной энергетики на ТЭС достаточно интенсивно осуществляется строительство и ввод в эксплуатацию парогазовых установок утилизационного типа (ПГУ-У), которые в общем случае состоят из газотурбинной установки (ГТУ), котла-утилизатора (КУ) и паровой турбины (ПТ). Данное направление развития ТЭС обусловлено высокими значениями КПД ПГУ-У по производству электроэнергии [1, 2].

Как правило, отвод уходящих газов ГТУ в окружающую среду осуществляется при достаточно высокой температуре (100–110 °С и выше), что обуславливает сравнительно невысокую тепловую экономичность котла-утилизатора (не более 85 %). По этой причине одним из путей повышения КПД ПГУ-У является увеличение количества конвективных поверхностей нагрева КУ с целью снижения температуры уходящих газов ГТУ.

Для повышения экономичности и надежности работы парогазового блока ПГУ-170 предлагается в зоне высоких температур газов двухконтурного котла-утилизатора дополнительно разместить промежуточный паро-перегреватель для вторичного перегрева водяного пара (рис. 1).

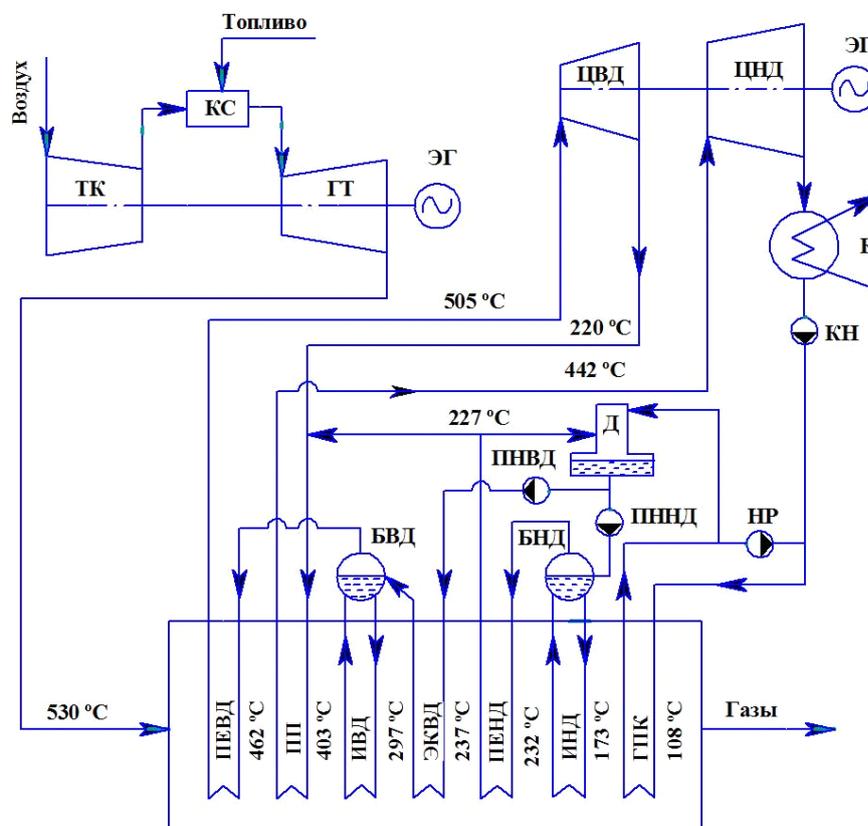


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема ПГУ с промежуточным перегревом водяного пара в зоне высоких температур газов двухконтурного котла-утилизатора

В состав рассматриваемого блока парогазовой установки ПГУ-170 входят одна газотурбинная установка ГТЭ-110 номинальной мощностью 110 МВт, котел-утилизатор П-88 двух давлений и паровая турбина К-80-7,0.

С целью определения эффективности от использования вторичного перегрева водяного пара в ПГУ с двухконтурным котлом-утилизатором рассматривается однократный промежуточный перегрев пара с размещением промежуточного пароперегревателя в зоне высоких температур котла-утилизатора после основного пароперегревателя высокого давления (ПЕВД). Двухконтурный котел-утилизатор П-88 состоит из следующих поверхностей нагрева: ПЕВД, ПЕНД, ПП – пароперегревателей высокого и низкого давления и промежуточного пароперегревателя; ИВД и ИНД – испарителей высокого и низкого давления; ЭКВД – водяного экономайзера высокого давления; ГПК – газового подогревателя конденсата.

С целью определения эффективности от применения промежуточного перегрева водяного пара в зоне высоких температур двухконтурного КУ был проведен расчет тепловой схемы ПГУ-170, и определены экономические показатели ее работы. Расчеты выполнены для двух вариантов: 1) при работе ПГУ без промежуточного перегрева водяного пара; 2) при работе ПГУ с промежуточным перегревом водяного пара. За основу принята методика, изложенная в [3]. Результаты расчетов представлены на рис. 2.

На рис. 2 представлены результаты сравнительного анализа основных показателей работы ПГУ-170 в зависимости от температуры наружного воздуха с учетом промежуточного перегрева водяного пара (сплошная линия) и без промежуточного перегрева (пунктирная линия).

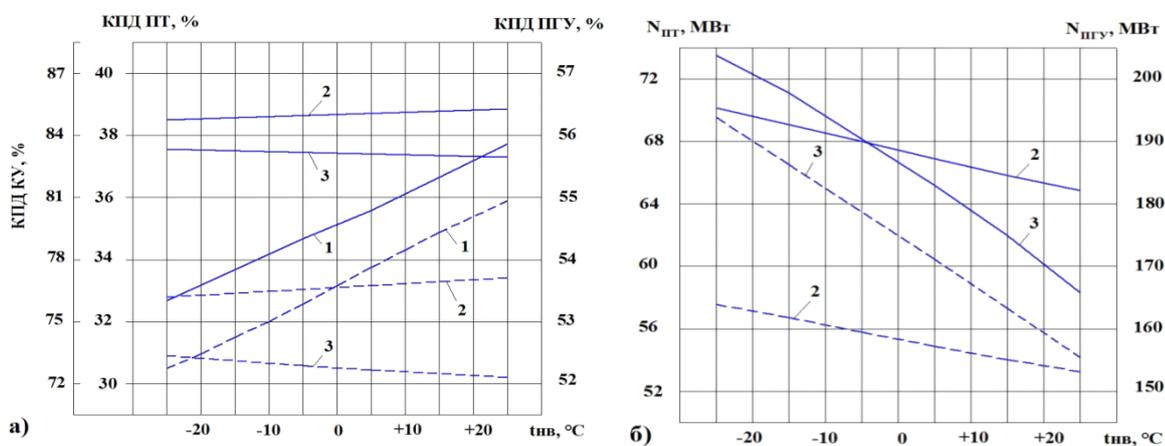


Рис. 2. Зависимости КПД (а) и мощности (б) КУ (1), ТП (2) и ПГУ-170 (3) от температуры наружного воздуха

Анализ результатов расчетов показывает, что при использовании промежуточного перегрева водяного пара КПД парогазовой установки возрастает с 52,11 до 55,72 % (на 3,61 %), а удельный расход условного топлива на выработку электрической энергии снижается с 236,04 до 220,75 г/(кВт·ч) (на 6,48 %). Экономия условного топлива для ПГУ-170 при наработке 7500 ч/год и стоимости условного топлива 3700 руб./т.у.т. в денежном выражении составляет 74 млн 70 тыс. руб./год.

Источники

1. Тепловые электрические станции: учеб. для вузов / В.Д. Буров [и др.]. М.: МЭИ, 2005. 454 с.
2. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции. Схемы и оборудование: учеб. пособие для вузов. М.: ИНФРА-М, 2012. 325 с.
3. Трухний А.Д., Романюк А.А. Расчет тепловых схем утилизационных парогазовых установок: учеб. пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 40 с.

УДК 697.1

НОРМЫ РАСХОДА ТЕПЛА НА ОТОПЛЕНИЕ ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭЦ-1 Г. КАЗАНИ

Муртазина Гульгена Рузалевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
gulgena96@mail.ru

Одним из важных способов экономии энергоресурсов является нормирование расходов тепловой энергии на производственные и коммунально-бытовые нужды. В работе приведена зависимость нормы расхода теплоты главного корпуса ТЭЦ-1 г. Казани от температуры наружного воздуха и коэффициента простоев основного технологического оборудования

Ключевые слова: расход тепла, температура наружного воздуха, экономия энергоресурсов, нормирование расходов тепла.

NORMS OF HEAT CONSUMPTION FOR HEATING OF THE MAIN BUILDING HEAT AND POWER PLANT № 1 OF KAZAN

Murtazina Gulgena Ruzalevna

One of the important ways to save energy is to normalize the cost of thermal energy for industrial and municipal needs. The paper presents the dependence of the rate of heat consumption of the main building of the heat and power plant №1 of Kazan on the outside air temperature and the coefficient of downtime of the main technological equipment.

Keywords: heat consumption, outdoor temperature, energy savings, rationing of heat consumption.

Все здания – жилые, административные или производственные – нуждаются в нормировании расхода тепловой энергии. Нормирование расхода тепла – это установление плановой меры ее потребления [1].

В данной работе рассматриваются машинное и котельное отделения главного корпуса ТЭЦ-1 г. Казани.

Норма расхода тепла на отопление производственных зданий первой категории зависит от климатических условий, теплотехнических характеристик ограждающих конструкций и коэффициента простоев основного технологического оборудования [1]. С учетом от этих значений были рассчитаны нормы расхода тепла на отопление машинного и котельного отделений в зависимости от температуры наружного воздуха и коэффициента β , который показывает долю времени нахождения оборудования в простоях за определённый период времени. Числовые значения нормы расхода тепла приведены в таблице.

Норма расхода тепла на отопление

Машинного отделения						
β	$t_{нв}, ^\circ\text{C}$					
	-31	-20	-10	0	5	8
0	0,328	0,251	0,181	0,112	0,077	0,056
1	1,152	0,843	0,562	0,281	0,141	0,056
Котельного отделения						
0	0,198	0,152	0,11	0,067	0,046	0,034
1	0,681	0,498	0,332	0,166	0,083	0,033

На рис. 1 и 2 приведены сравнительные графики нормы расхода тепла на отопление. Из графиков видно, когда используется постоянное отопление, со снижением температуры наружного воздуха норма расхода тепла увеличивается не значительно, а при использовании дежурного отопления нормы расхода тепла увеличиваются в 20 раз. Это объясняется тем, что расчет тепловых потерь для определения тепловой нагрузки системы постоянного отопления производится только для объема условной рабочей зоны здания, а для системы дежурного отопления – для всего объема здания.

В дальнейшем сравнение нормы расхода тепла с фактическим расходом и анализ полученных данных позволят разработать энергосберегающие мероприятия, направленные на снижение потерь тепловой энергии. Это будет способствовать устранению перерасходов тепла на собственные нужды и приведет к экономии энергоресурсов.

Источники

1. РД 34.09.210-84 (МУ 34-70-079-84). Методические указания по нормированию расходов тепла на отопление и вентиляцию производственных зданий и тепловых электростанций [Электронный документ]: утв. гл. техн. управлением по эксплуатации энергосистем 7 июля 1984 г. URL: https://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/rd/74.pdf (дата обращения: 23.09.2019).

УДК 004.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ BIM-МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Назмутдинова Ленера Айратовна¹, Зиганшин Малик Гарифович²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹naz.lenara@mail.ru, ²mjihhan@mail.ru

Информационное моделирование зданий в настоящее время становится все более востребованным. Применение информационного моделирования позволяет на протяжении всего жизненного цикла объекта сокращать расходы на управление финансами, ресурсами, оборудованием и материалами. В данной статье рассмотрены возможности применения программного продукта Autodesk Revit MEP.

Ключевые слова: информационное моделирование, BIM-технологии, BIM-модель, цифровая информационная модель.

USE OF BIM-MODELING IN DESIGNING OF COMPLEX OBJECTS

Nazmutdinova Lenara Airatovna, Ziganshin Malik Garifovich

Building information modeling is now becoming more and more in demand. Using information technology can reduce the cost of managing finances, resources, equipment and materials. This article discusses the possibilities of using Autodesk Revit MEP software.

Keywords: information modeling; BIM technologists; BIM model; digital information model.

Понятие BIM (Building Information Modeling или Building Information Model) относят как к информационному моделированию здания, так и к его цифровой информационной модели (ЦИМ). Информационное моделирование здания – это подход к возведению, оснащению и управлению

жизненным циклом (ЖЦ) здания с обеспечением его надлежащей эксплуатации, ремонта, модернизации, ликвидации, когда здание и все объекты, взаимодействующие с ним на каждом из этапов ЖЦ, в совокупности со всей требующейся документацией, рассматриваются как единое целое.

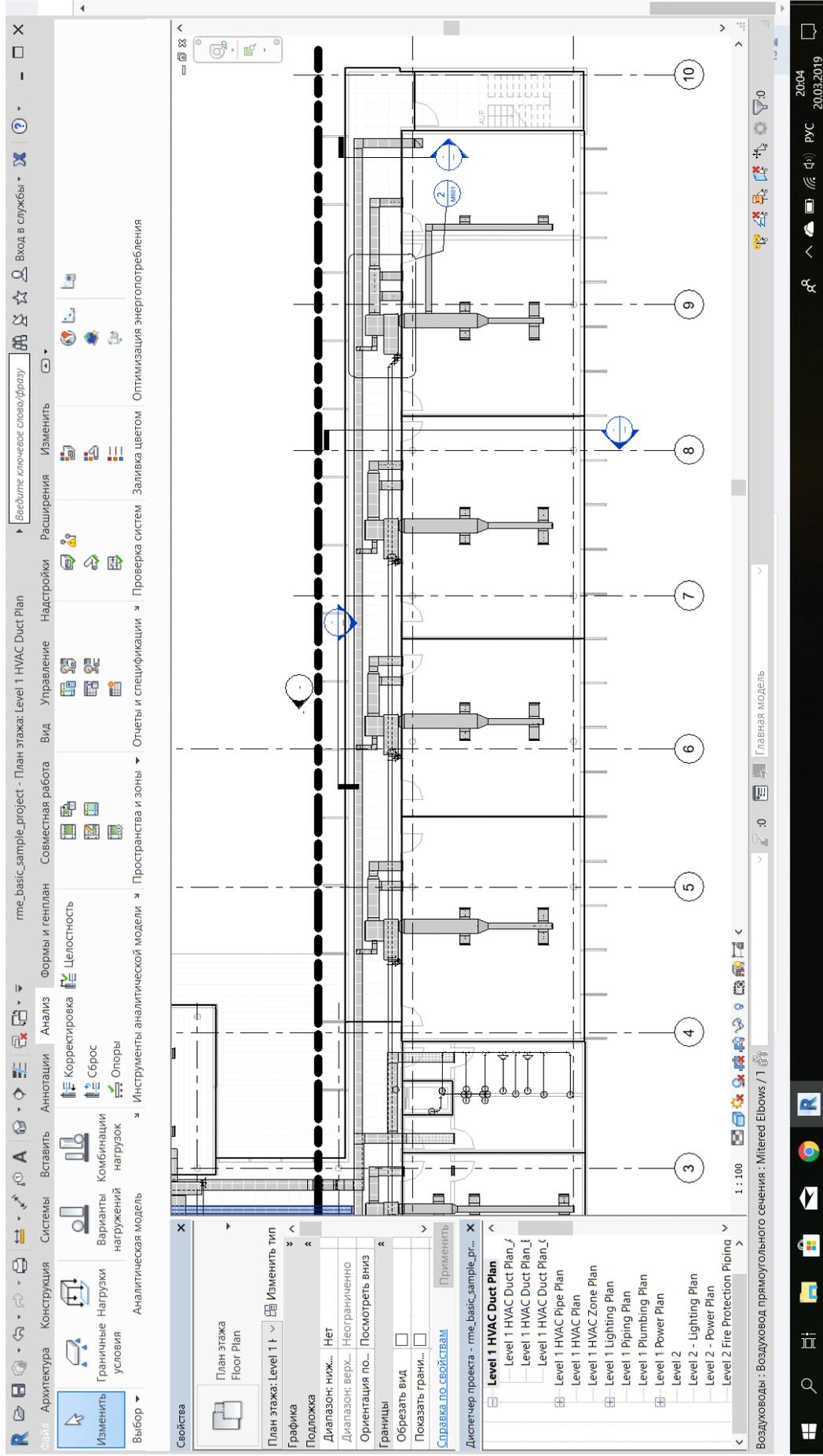
Для создания трехмерных моделей по BIM-технологии и в мире, и в России наиболее широко используется система автоматизированного проектирования Revit компании Autodesk. В Revit предусмотрено связывание файлов для совместной работы архитекторов, конструкторов и инженеров [3]. Оно позволяет оповещать всех участников проектирования об изменениях, производимых одним из них.

В Autodesk Revit MEP встроены функции расчета энергопотребления по отопительным и холодильным нагрузкам, которые позволяют быстро формировать отчеты о нагрузках на системы отопления и кондиционирования.

Проектировщик размещает все необходимое оборудование в соответствии с теплотехническим расчетом. Следующим этапом средствами 3D-моделирования создаются системы вентиляции и отопления. В Autodesk Revit MEP возможны как ручная отрисовка моделей, так и автоматическая разводка воздуховодов и трубопроводов. Систему можно проверить на полноту и корректность подключения проектируемых компонентов. После этого выполняются гидравлические и теплотехнические расчеты системы вентиляции и кондиционирования.

BIM-технологии особенно востребованы для создания сложных объектов. Примером такого объекта служит торговый центр в стилобате МКД. Наиболее удобно расположение торговых помещений в торговом центре по типу галереи; жилые помещения сведены в центральную башню. Очевидно, что для такого рода зданий информационное моделирование весьма насущно. На рисунке приведена часть галереи торговых помещений, и показана возможность применения к данной галерее типового проекта воздуховодов системы кондиционирования воздуха с использованием Autodesk Revit.

В таблице приведены результаты расчета геометрических характеристик пространств, а также отопительных и холодильных нагрузок в помещениях, указанных на рисунке, для климатических условий г. Казани.



Типовая прокладка воздуховодов в галерее торгового центра,
расположенного в стилобате МКД

Результаты расчета отопительных и холодильных нагрузок в пространствах помещений галереи торгового центра А113-А116

Помещение А116	
Площадь	81 м ²
Объем	263,50 м ³
Уставка температуры при охлаждении	23 °С
Уставка температуры при отоплении	21 °С
Пиковый расход воздуха при охлаждении	580,6 л/с
Пиковый расход воздуха при отоплении	152,9 л/с
Помещение А115	
Площадь	64 м ²
Объем	208,98 м ³
Уставка температуры при охлаждении	23 °С
Уставка температуры при отоплении	21 °С
Пиковый расход воздуха при охлаждении	461,4 л/с
Пиковый расход воздуха при отоплении	119,9 л/с
Помещение А114	
Площадь	80 м ²
Объем	262 м ³
Уставка температуры при охлаждении	23 °С
Уставка температуры при отоплении	21 °С
Пиковый расход воздуха при охлаждении	581 л/с
Пиковый расход воздуха при отоплении	150 л/с
Помещение А113	
Площадь	101 м ²
Объем	329,39 м ³
Уставка температуры при охлаждении	23 °С
Уставка температуры при отоплении	21 °С
Пиковый расход воздуха при охлаждении	732,7 л/с
Пиковый расход воздуха при отоплении	190,4 л/с

Можно видеть, что строительство крупного объекта с нетиповой архитектурой требует большего контроля на этапе проектирования и строительства, поэтому при внесении любых изменений система связи файлов будет автоматически указывать на возможные коллизии. BIM-моделирование осуществляет контроль и обеспечение на протяжении всей жизни объекта в период эксплуатации и контролирует его ликвидацию. Постоянный контроль на эксплуатационной стадии ЖЦ за всеми структурными элементами такого социально важного объекта, как торговый центр, является особенно значимым, и он может быть реализован оптимально только на основе BIM-технологий.

Источники

1. «Понятие BIM-технологии в проектировании: что такое информационное моделирование зданий в строительстве ООО «ЗВСОФТ» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zvsoft.ru/stati/ponyatie-bim-tehnologii> (дата обращения: 23.09.2019).
2. Деменев А.В., Артамонов А.С. Информационное моделирование при эксплуатации зданий и сооружений // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7, № 3. С. 21–29.
3. Черных М.А., Якушев Н.М. BIM-технология и программные продукты на его основе в России // Вестник ИЖГТУ им. М.Т. Калашникова. 2014. № 1 (61). С. 119–121.

УДК 691:620.19

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕПЛОВИЗИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ ЗАО «ВОЛОГОДСКИЙ ХЛЕБОКОМБИНАТ»

Напалков Игорь Владимирович¹, Клопов Сергей Валерьевич²,
Карпов Фёдор Дмитриевич³, Писаренко Кирилл Викторович⁴

^{1,2,4}ФГБОУ ВО «ВоГУ», г. Вологда

³ФГБОУ ВО «СПбГУ», г. Санкт-Петербург

^{1,2,3,4}karпов_denis_85@mail.ru

Поиск путей рационального использования природных энергетических ресурсов, как важнейшего национального достояния страны – стратегическая задача, поставленная Президентом и Правительством Российской Федерации перед обществом и государством [1]. Политика энергоресурсосбережения является в настоящее время одним из приоритетных экономических направлений для всего народного хозяйства страны [2]. Снижение энергопотребления гражданских и промышленных зданий позволит повысить эффективность использования топливно-энергетических и материальных ресурсов при производстве тепловой и электрической энергии. Одним из методов контроля энергопотребления строительными объектами является тепловизионная диагностика [3–6].

Ключевые слова: энергоресурсы, тепловизионная съемка, термограмма, тепловое изображение, тепловая аномалия.

SOME RESULTS OF THERMAL IMAGING SURVEY OF INDUSTRIAL BUILDING CC “VOLOGDA BAKERY”

Napalkov Igor Vladimirovich, Klopov Sergey Valeryevich,
Karpov Fedor Dmitrievich, Pisarenko Kirill Viktorovich

The search for ways of rational use of natural energy resources as the most important national treasure of the country is a strategic task set by the President and the Government of the Russian Federation to society and the state [1]. The policy of energy resource saving is currently one of the priority economic directions for the entire national economy of the country [2]. Reducing the energy consumption of civil and industrial buildings will increase the efficiency of the use of fuel, energy and material resources in the production of heat and electricity. Thermal imaging diagnostics is one of the methods of monitoring energy consumption of construction objects [3–6].

Key words: energy resources, thermal imaging, thermogram, thermal image, thermal anomaly.

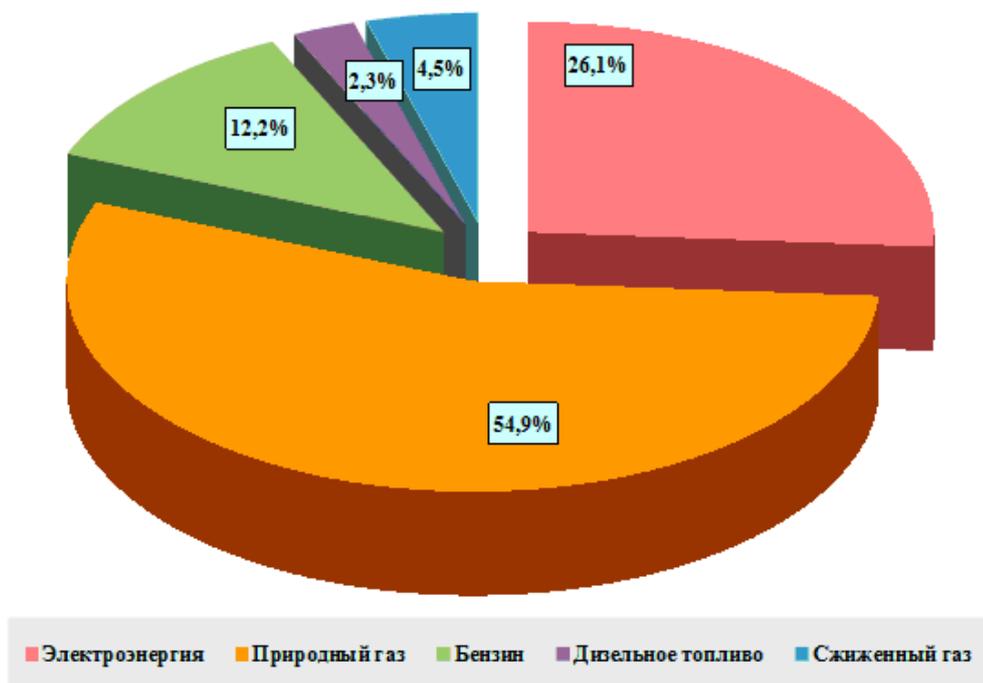
В работе представлены некоторые результаты тепловизионного обследования одного из производственных зданий ЗАО «Вологодский хлебокомбинат», расположенного в пос. Васильевское Вологодской области. ЗАО «Вологодский хлебокомбинат» – крупнейшее предприятие Вологодской области, входящее в число наиболее значимых предприятий отрасли Северо-Западного региона. В составе предприятия функционируют 8 основных цехов: кондитерский, булочный, сухарный, бараночный, хлебозавод, новый кондитерский, хлебобулочный и цех по розливу природной минеральной воды «Васильевский родник».

В настоящее время в структуре ЗАО «Вологодский хлебокомбинат» имеется три вида производственной деятельности: основное производство – выработка кондитерской, хлебопекарной продукции и питьевой воды; вспомогательное производство – транспортировка продукции; реализация продукции через собственную и другие торговые сети.

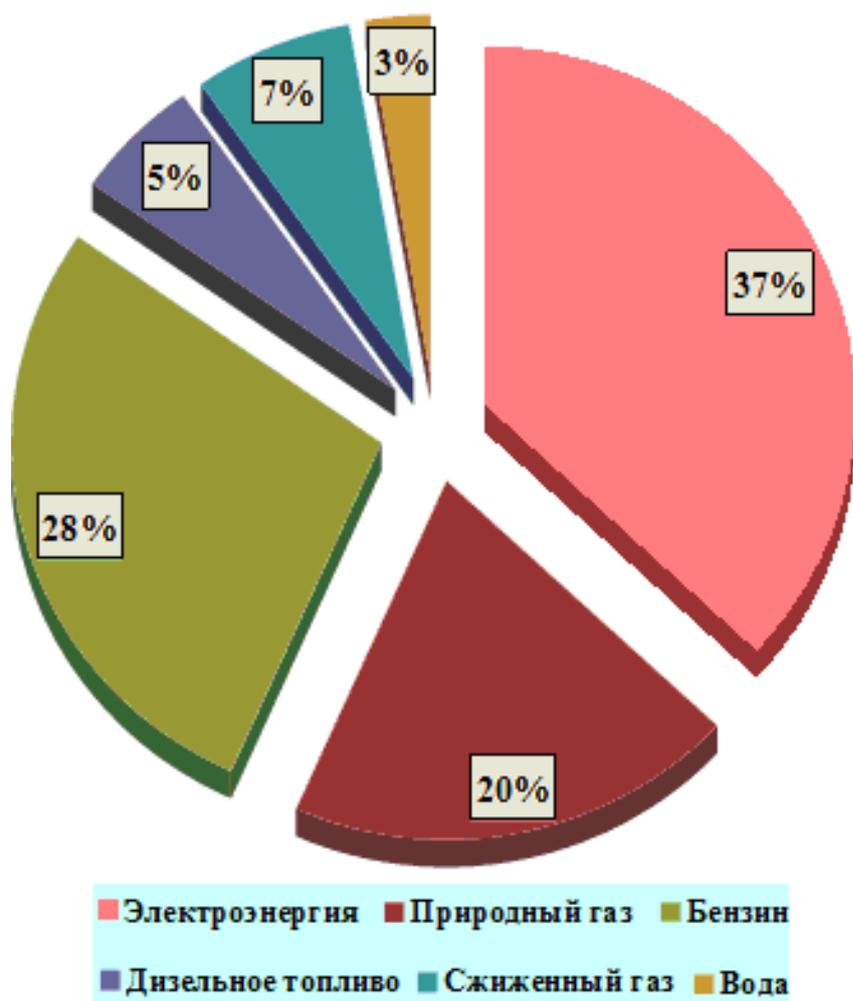
На рис. 1 представлены структуры потребления энергоресурсов в тоннах условного топлива и по оплате в рублях.

Выполнение тепловизионной диагностики и анализ ее результатов продиктованы необходимостью сокращения потребления энергетических ресурсов и экономией денежных средств предприятия.

В таблице представлены результаты термографирования хлебобулочного цеха и цеха по розливу природной минеральной воды в пос. Васильевское ЗАО «Вологодский хлебокомбинат». Тепловизионная съемка выполнялась в апреле месяце тепловизором Testo с соблюдением всех норм и требований, предъявляемым к подобного рода обследованиям [7, 8].



a



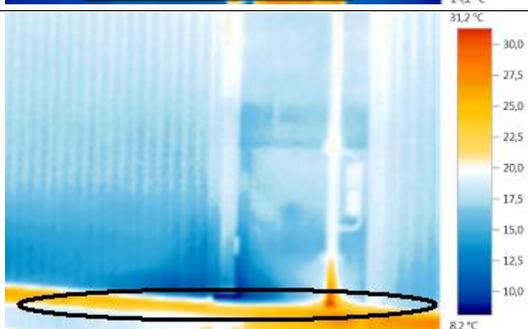
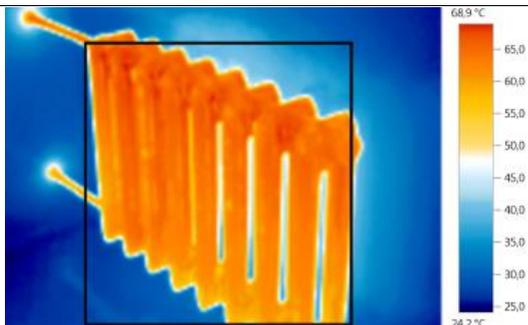
б

Рис. 1. Структура потребления энергоресурсов производственными объектами предприятия ЗАО «Вологодский хлебокомбинат» в т.у.т. (а) и руб. (б)

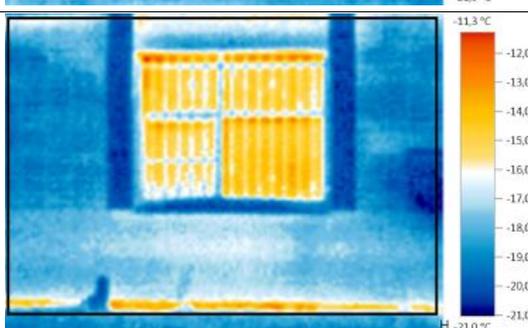
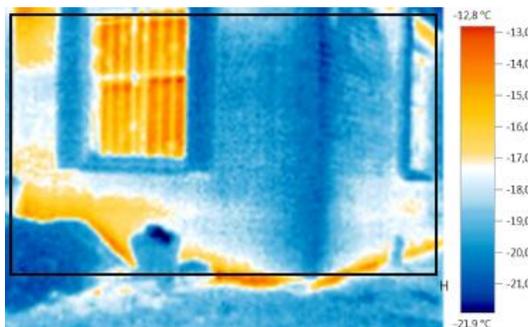
Термограмма объекта контроля

Фотография объекта контроля

Радиаторы системы отопления и электрические кабели системы электроснабжения



Наружные ограждающие конструкции (стены и оконные проемы)



Анализ полученных термограмм позволил выявить избыточные тепловые потери в местах стыка стен с фундаментом (область отмостки), через оконные проемы, а также в закрытых и труднодоступных проемах ограждающих строительных конструкций.

По результатам тепловизионирования, качественного анализа тепловых изображений и идентификации тепловых аномалий для устранения (ликвидации) локализованных зон с повышенными тепловыми потерями рекомендовано их утепление современными теплоизоляционными материалами.

Источники

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. Доступ из СПС «КонсультантПлюс».

2. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». М.: ООО «Рид Групп», 2012. 80 с.

3. Карпов Д.Ф. Краткая характеристика методов неразрушающего и теплового неразрушающего контроля // Севергеоэкотех – 2018: матер. XIX Междунар. молод. науч. конф. Ухта, 2019. Ч. 4. С. 113–116.

4. Карпов Д.Ф. Применение активного и пассивного теплового контроля в дефектоскопии строительных материалов и изделий, ограждающих конструкций зданий и сооружений // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2, № 4. С. 39–44.

5. Карпов Д.Ф. Активный метод теплового контроля теплопроводности строительных материалов и изделий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 57–62.

6. Карпов Д.Ф. Алгоритм комплексной диагностики технического состояния строительных конструкций по анализу термограмм // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2, № 2. С. 23–28.

7. Карпов Д.Ф. О возможности применения тепловизионной съемки для контроля теплозащитных качеств ограждающих конструкций строительных объектов // Севергеоэкотех – 2018: матер. XIX Междунар. молод. науч. конф. Ухта, 2019. Ч. 4. С. 111–113.

8. Сеницын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Основы тепловизионной диагностики теплопотребляющих объектов строительства: учеб. пособие. Вологда: ВоГТУ, 2013. 156 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ УСТАНОВОК НА АЭС

Ростунцова Ирина Алексеевна
ФГБОУ ВО «СГТУ им. Гагарина Ю.А.», г. Саратов
Rostunzeva@mail.ru

Рассмотрена эксплуатация АЭС с использованием гибридных технологий одновременной выработки электроэнергии и опресненной (обессоленной) воды. Определена эффективность применения дистилляционных опреснительных установок, оснащенных горизонтально-трубными пленочными аппаратами (ДОУ ГТПА).

Ключевые слова: гибридная технология, опреснительные системы, дистиллят, коэффициент полной тепловой утилизация.

EFFICIENCY OF APPLICATION OF HYBRID INSTALLATIONS AT NPP

Rostuntsova Irina Alekseevna

The operation of nuclear power plants using hybrid technologies for the simultaneous generation of electricity and desalinated (desalted) water is considered. The effectiveness of the use of distillation desalination plants equipped with horizontal pipe film machines (DOU GTPA) is determined.

Keywords: hybrid technology, desalination systems, distillate, total thermal utilization coefficient.

Главными ориентирами в Энергетической стратегии России на период до 2035 г. определены энергетическая безопасность, энергетическая эффективность, бюджетная эффективность и экологическая безопасность атомной энергетики.

Потребности в пресной воде постоянно растут. В последних прогнозах, сделанных на Всемирном форуме по воде в 2010 г., особое внимание уделяется увеличению потребности в пресной воде до 2035 г. Возобновляемые запасы пресной воды оцениваются примерно в 40 тыс. км³. Объем забираемой воды составляет всего лишь 10 %, а потребляемой – 5 % от этого количества. Проблема заключается в неравномерности географического и сезонного распределения этих запасов. Для устойчивого развития и освоения ресурсов пресной воды необходимо использовать все

имеющиеся и приемлемые технологии, в том числе ядерные и связанные с ними. Одним из возможных подходов является опреснение морской воды. Энергия для таких установок обычно поставляется в виде пара или электричества. В качестве первичных источников энергии, как правило, используются обычные виды ископаемого топлива. Однако их интенсивное применение создает экологические проблемы. Возможность широкомасштабного использования ядерной энергии для опреснения морской воды представляется весьма привлекательной, поскольку процесс опреснения требует очень высоких энергозатрат. В опреснительных системах могут использоваться тепло, выделяемое ядерным реактором, и/или электроэнергия, производимая на его энергетических установках. Рассматривается для проектирования и строительства опреснительный комплекс производительностью до 170 тыс. м³ в сутки в интеграции с АЭС большой мощности. Гибридная технология обеспечивает повышенную надежность, возможность использования низкопотенциального пара и умеренные эксплуатационные затраты при высоком качестве конечного продукта. Также данное решение обеспечивает возможность получения обессоленной воды как в случае отсутствия источника тепла, так и в случае значительного ухудшения качества исходной воды. Часть воды от опреснительного комплекса может быть использована для собственных нужд АЭС.

В гибридных установках выработка дистиллята сочетается с одновременной выработкой электроэнергии, так как потенциал получаемого тепла достаточен для производства пара турбоэнергетических параметров. Комбинированный цикл производства пресной воды и электроэнергии повышает коэффициент полезного использования ядерного топлива до 55–60 % по сравнению с 30–32 % на АЭС, производящих только электроэнергию.

В России достигнуты успехи в создании дистилляционных опреснительных установок с горизонтально-трубными плёночными аппаратами.

Дистилляционные опреснительные установки, оснащенные горизонтально-трубными пленочными аппаратами (ДОУ ГТПА) – современные опреснительные установки, характеризующиеся высокими экономичностью и эффективностью процесса опреснения, качеством и стабильностью получаемого дистиллята, низким потреблением энергоресурсов, малыми металлоёмкостью оборудования и занимаемой площадью. Принципиальная схема гибридной установки АЭС представлена на рис. 1.

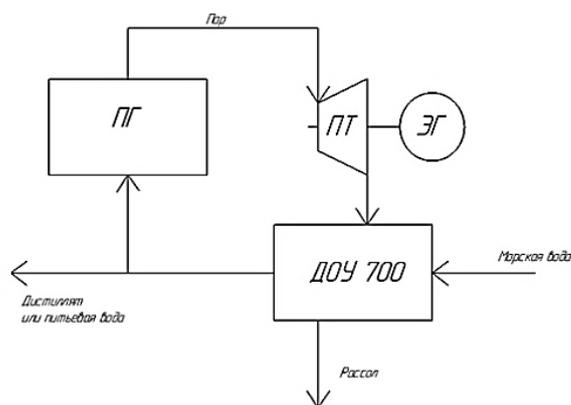


Рис. 1. Принципиальная схема гибридной установки АЭС

Рассмотрена пленочная горизонтально-трубная опреснительная установка ДОУ ГТПА -700, питающаяся паром из отбора турбины К-1200-6,8/50 ЛМЗ. Целью исследования является оценка основных показателей эффективности обессоливающей установки ДОУ ГТПА-700.

Годовой экономический эффект равен:

$$\mathcal{E}_Г = P_Г - \mathcal{Z}_Г, \quad (1)$$

где $P_Г$ – годовой результат от внедрения варианта; $\mathcal{Z}_Г$ – годовые затраты во внедренный вариант, определяемые по выражению:

$$\mathcal{Z}_Г = \mathcal{Z}_{нед}^{АЭС} + \mathcal{Z}_Т^{АЭС} + \mathcal{Z}_{оу} + \mathcal{Z}_{сн} + \mathcal{Z}_Т, \quad (2)$$

где $\mathcal{Z}_{нед}^{АЭС}$ – затраты от невыработки электроэнергии АЭС; $\mathcal{Z}_Т^{АЭС}$ – затраты на ядерное топливо АЭС; $\mathcal{Z}_{оу}$ – затраты на опреснительную установку; $\mathcal{Z}_{сн}$ – затраты на перекачку теплоносителя (опресненная вода); $\mathcal{Z}_Т$ – затраты на трубопровод.

$$P_Г = P_в, \quad (3)$$

где $P_в$ – выручка от реализации опресненной воды.

Произведен расчет оптимального значения давления отборного пара на опреснительную установку. В качестве критерия оптимизации давления пара за СПП выбран коэффициент полной тепловой утилизации, который рассчитывается:

$$K_{OUT} = \frac{(1 - A_{с.н}) * N + Q_{опр}}{Q_p / D_0}, \quad (4)$$

где N – мощность турбины; $Q_{опр}$ – тепло, отпущенное на опреснительную установку; $A_{с.н}$ – коэффициент расхода эл. энергии на собственные нужды; Q_p – тепловая мощность реактора; D_0 – расход пара в голову турбины.

Получены следующие значения:

$$\text{при } P = 0,4 \text{ МПа: } K_{OUT} = \frac{(1 - 0,056) * 1200 + 587,4}{3200/6462} = 0,53;$$

$$\text{при } P = 0,5 \text{ МПа: } K_{OUT} = \frac{(1 - 0,056) * 1200 + 594,5}{3200/6462} = 0,538;$$

$$\text{при } P = 0,6 \text{ МПа: } K_{OUT} = \frac{(1 - 0,056) * 1200 + 590}{3200/6462} = 0,531.$$

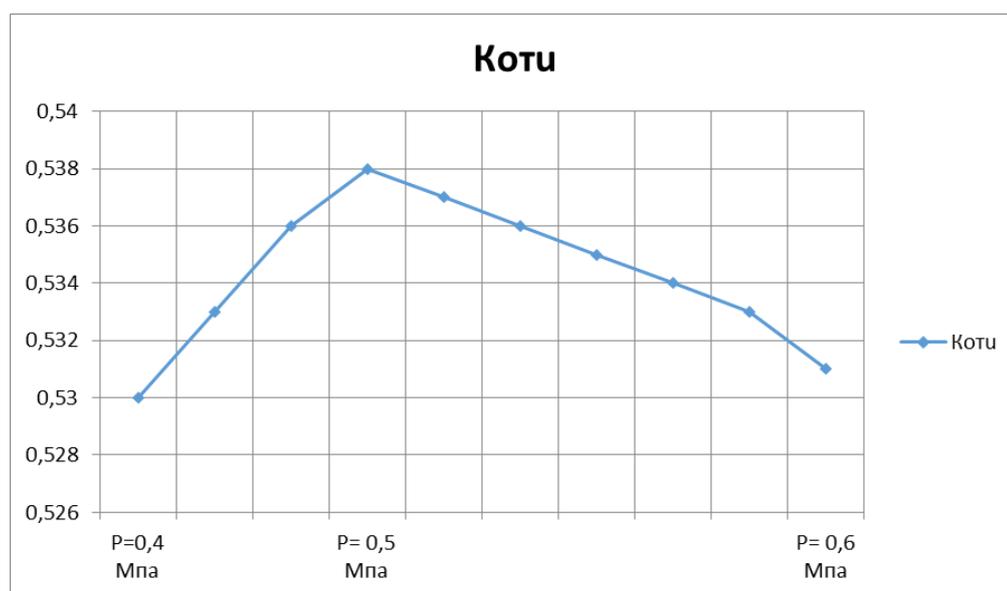


Рис. 2. Критерии оптимизации давления пара за СПП

Исходя из значений критерия эффективности, получено, что оптимум давления за СПП лежит в пределах $P_{опт} = 0,5$ МПа.

С учетом представленных методических положений получен оптимальный расход опресненной воды для схемы энергоблока АЭС-2006, который составил $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$. При других значениях расхода было выявлено снижение эффективности станции из-за большого объема прокачиваемой опресняемой воды.

Источники

1. Евсюкова К.А., Иноземцев И.В. Современные проблемы опреснения морской воды // Современные проблемы гуманитарных и общественных наук. 2014. № 2. С. 52–55.

2. Мелинова Л.В. Исследование, разработка и совершенствование термодистилляционных опреснительных установок для энерготехнологических комплексов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2004. 163 с.

УДК 621.311

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТРАБОТАВШЕГО ТОПЛИВА АЭС

Ростунцова Ирина Алексеевна¹, Ливанова Татьяна Витальевна²
ФГБОУ ВО «СГТУ им. Гагарина Ю.А.», г. Саратов
¹Rostunzeva@mail.ru, ²tanya-livanova@mail.ru

Представлена информация о методах пристанционного хранения отработавшего ядерного топлива. Приведены классификации хранилищ. Получены результаты расчета эффективного коэффициента размножения на основе нейтронно-физического расчета.

Ключевые слова: ядерное топливо, хранение отработавшего ядерного топлива, транспортно-упаковочного комплект, подкритичная система.

ENSURING NUCLEAR SAFETY OF OPERATED FUEL OF A NPP

Rostuntsova Irina Alekseevna, Livanova Tatyana Vitalievna

Information is provided on the methods of on-site storage of spent nuclear fuel. The classification of repositories is given. The results of calculating the effective multiplication coefficient based on the neutron-physical calculation are obtained.

Keywords: nuclear fuel, spent nuclear fuel storage, transport and packaging kit, subcritical system.

Одной из основных экологических проблем атомной энергетики является накопление отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Поэтому эксплуатация атомных электростанций требует решения проблемы хранения, транспортировки и утилизации отработавшего ядерного топлива.

Транспортно-технологическая схема обращения ядерного топлива при работе АЭС состоит из следующих этапов:

- 1) доставка свежего топлива на станцию;
- 2) загрузка и отработка топлива в реакторе;
- 3) выдержка выгоревшего топлива в приреакторных бассейнах;
- 4) дальнейшее обращение с выгоревшим топливом: хранение, переработка и утилизация.

Долговременное хранение ОЯТ на территории АЭС имеет ряд важных преимуществ, к наиболее существенным относятся использование готовых транспортных коммуникаций, сокращение расстояний для перевозок; частичное объединение инфраструктуры станции и хранилища; отсутствие необходимости в геотехнических исследованиях в полном объеме. Сооружение промежуточного контейнерного хранилища на АЭС позволит долговременно хранить ОЯТ на АЭС и производить вывоз ОЯТ вне зависимости от времени начала перегрузки топлива в реакторе.

Система хранения ОЯТ в хранилище отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ) контейнерного типа предназначена для долговременного хранения на площадке АЭС отработавшего ядерного топлива в двухцелевых транспортных упаковочных комплектах (ТУК), предназначенных для хранения отработавшего ядерного топлива в хранилище и перевозки на утилизацию и захоронение.

Для долговременного хранения облученного топлива используются технологии мокрого и сухого хранения. К достоинствам хранения ОЯТ на территории АЭС относятся использование готовых транспортных коммуникаций, объединение инфраструктуры, а также малое расстояние для перевозок; подчинение администрации АЭС, оперативная локализация аварийных ситуаций в пределах станции. Сравнительные показатели долговременного мокрого и сухого хранения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные показатели долговременного хранения ОЯТ АЭС

Наименование показателей	Ед. измерения	«Мокрое» хранилище	«Сухое» хранилище
Объем хранения ОЯТ	тонн U	6000	37785
Объем воды в бассейнах	тыс. м ³	606,6	–
Испарение воды	м ³ /год	15284	–
Расход электроэнергии на собственные нужды	тыс. кВт·ч/год·т U	56,8	2,5
Стоимость строительства (в ценах 1991 г.)	млн руб.	180,0	428,0

Для расчета выбран сухой метод хранения отработавшего топлива контейнерного типа на площадке станции. Метод сухого хранения наиболее эффективен, поскольку при предварительном хранении облученные тепловыделяющие сборки в бассейне выдержки в течение 3–5 лет распадается большая часть короткоживущих нуклидов, за счет чего остаточное энерговыделение каждой ОТВС снижается до 1 кВт и ниже, что позволяет отводить избыточное тепло путем естественной циркуляции воздуха вокруг корзины с ТВЭЛ. Такое топливо можно безопасно хранить сухим способом в специальных контейнерах, обеспечивающих эффективный теплообмен с ОТВС и достаточную биологическую защиту от радиационного воздействия на персонал АЭС и окружающую среду.

Основными функциями системы ХОЯТ являются:

- прием ТУК с ОЯТ из реакторного здания;
- хранение ТУК в хранилище ОЯТ;
- вывоз ТУК с отработавшим ядерным топливом из хранилища АЭС.

Когда активность упадет до норм, определяющих безопасность транспортировки ОЯТ по железной дороге, ТВС извлекают из хранилища и перемещают либо в долговременное хранилище, либо на завод по переработке топлива. Здесь сборки хранят до тех пор, пока их не направляют на переработку. Перемещение отработавшего ядерного топлива осуществляют с помощью транспортно-упаковочного комплекта (ТУК).

Согласно современным требованиям [1] критерием выполнения ядерной безопасности средств обращения топлива для условий нормальной эксплуатации и при проектных авариях является обеспечение подкритичности на уровне $K_{эфф} < 1$. Общий принцип обеспечения подкритичности в устройствах хранения и транспортировки топлива – максимально возможное поглощение нейтронов. Шаг при размещении топлива в чехле принят, исходя из обеспечения подкритичности при хранении ОТВС не менее 0,05.

Целесообразность сооружения промежуточного хранилища на территории АЭС обоснована тем, что наличие такого хранилища позволяет долговременно хранить и производить вывоз вне зависимости от времени начала перегрузки топлива в реакторе.

Для подкритичного режима $K_{эфф} < 1$, когда процесс размножения нейтронов затухает, определены методом следующие параметры:

1. Коэффициент размножения для бесконечной среды:

$$K_{\infty} = \eta \cdot \varepsilon \cdot \theta \cdot \varphi, \quad (1)$$

где η – коэффициент размножения тепловых нейтронов в топливе; ε – коэффициент размножения на быстрых нейтронах; φ – вероятность избежать резонансного захвата; θ – коэффициент использования тепловых нейтронов

2. Эффективный коэффициент размножения:

$$k_{\text{эф}} = \frac{k_{\infty} \cdot \exp[-B^2 \cdot \tau_p]}{1 + B^2 + L_p^2}, \quad (2)$$

где L_p^2 – длина диффузии, которая определяется по формуле:

$$L_p^2 = L_{\text{зам}}^2 \cdot \frac{\left[1 + \frac{S_{\phi} \cdot 1}{S_{\text{зам}} \cdot F}\right] \cdot S_{\text{яч}}}{\left[1 + \frac{S_{\phi} \cdot 1}{S_{\text{зам}} \cdot F}\right] \cdot S_{\text{зам}}} \cdot (1 - \theta'_{\phi}), \quad (3)$$

где τ_p – возраст нейтронов в решетке, определяется по формуле Фейнберга:

$$\tau_p = \tau_{\text{зам}} \cdot \left(\frac{S_{\text{яч}}}{S_{\text{зам}}}\right)^{0.5}, \quad (4)$$

где B^2 – геометрический параметр, определяется по формуле:

$$B^2 = \left(\frac{\pi}{H_3}\right)^2 + \left(\frac{2,405}{R_3}\right)^2. \quad (5)$$

Расчет эффективного коэффициента размножения выполнен, автоматизировано в среде EXCEL. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета эффективного коэффициента размножения на основе нейтронно-физического расчета

Число нейтронов, испускаемых при одном акте деления	1,6	1,4	1,2	1
Коэффициент размножения тепловых нейтронов	1,251	1,095	0,938	0,782
Коэффициент использования тепловых нейтронов	0,773	0,773	0,773	0,773
Коэффициент размножения бесконечной среды	0,9439	0,8262	0,7077	0,59
Эффективный коэффициент размножения	0,9432	0,8256	0,7072	0,5896

Получено, при условии нормальной эксплуатации СХОЯТ является подкритичной системой при этом $K_{эфф}$ менее 0,9432 ($K_{эфф} < 0,9432$) при воздушном охлаждении.

Источники

1. Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iaea.org/ru/publications/7310/pravila-bezopasnoy-perevozki-radioaktivnyh-materialov-izdanie-2005-goda> (дата обращения: 01.10.2019).

2. Сафутин В.Д. Решение проблемы хранения ОЯТ при продлении сроков службы АЭС // Развитие атомной энергетики и возможности продления сроков службы атомных энергоблоков: матер. конф. СПб., 1999. С. 1–30.

УДК 621.311

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЩНЫХ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ЭНЕРОБЛОКОВ

Ростунцова Ирина Алексеевна, Зебров Виктор Юрьевич
ФГБОУ ВО «СГТУ им. Гагарина Ю.А.», г. Саратов
Rostunzeva@mail.ru

Рассмотрена возможность установки турбинного экономайзера в хвостовой поверхности котла, что позволит байпасировать часть питательной воды помимо регенерации высокого давления. В этом случае вытесняются регенеративные отборы пара в турбине, что позволит получить дополнительную выработку электроэнергии при увеличении пропуска пара в голову турбины.

Ключевые слова: турбинный экономайзер, регенеративные отборы, дополнительная выработка электроэнергии.

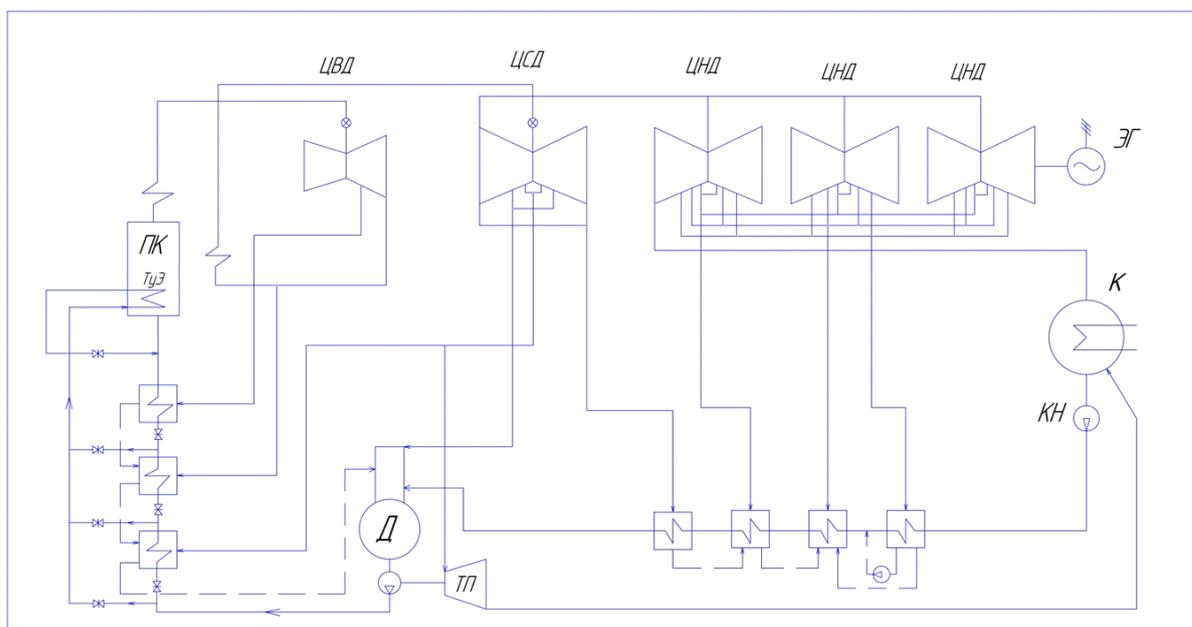
INCREASE EFFICIENCY OF POWERFUL CONDENSING POWER UNITS

Rostuntsova Irina Alekseevna, Zebrov Victor Yuryevich

The possibility of installing a turbine economizer in the tail surface of the boiler is considered, which will allow bypassing part of the feed water in addition to high pressure regeneration. In this case, regenerative steam withdrawals in the turbine are displaced, which will allow to obtain additional power generation with an increase in the steam pass to the turbine head.

Keywords: turbine economizer, regenerative extraction, additional power generation.

Сущность повышения эффективности мощных конденсационных энергоблоков заключается в использовании теплоты уходящих из котла газов. При этом в конвективный газоход энергетического котла устанавливаются дополнительные поверхности нагрева (см. рисунок), в которых обеспечивается нагрев байпасированной питательной воды либо основного конденсата. В этом случае вытесняются регенеративные отборы пара в турбине, а вновь устанавливаемые поверхности нагрева получили название турбинного экономайзера (ТуЭ). Схема ТуЭ представлена на рисунке.



Принципиальная тепловая схема пылеугольного блока К-800-240 с турбинным экономайзером

Для определения экономии топлива использовано выражение, кг/с:

$$\Delta B = B - \frac{D \cdot (h_0 - h_{\text{ПВ}}^{\text{ТуЭ}}) + D_{\text{ПП}} \cdot (h_{\text{ПП}} - h_{\text{ПП}*})}{29300 \cdot \eta_{\text{к}}^{\text{ТуЭ}}},$$

где h_0 , $h_{\text{ПП}}$, $h_{\text{ПП}*}$ – энтальпии острого пара и пара промперегрева соответственно, кДж/кг; $h_{\text{ПВ}}^{\text{ТуЭ}}$ – энтальпия питательной воды блока с ТуЭ при температуре нагрева за счет регенеративных отборов турбины, кДж/кг; $\eta_{\text{к}}^{\text{ТуЭ}}$ – КПД котла блока с ТуЭ.

Дополнительная мощность на клеммах генератора блока, кВт составит:

$$\Delta N = N_{\text{ТуЭ}} - N = D \cdot \eta_{\text{ЭМ}} \left[\alpha \cdot (h_y - h_k) - \alpha_{\text{ТуЭ}} \cdot (h_y^{\text{ТуЭ}} - h_k) \right].$$

В таблице представлены результаты исследования повышения эффективности пылеугольного блока сверхкритических параметров с турбиной К-800-240 и установкой турбинного экономайзера.

Результаты исследования повышения эффективности пылеугольного блока сверхкритических параметров

Расходные величины	Исходный вариант	Вариант с ТуЭ
Расход пара в голову турбины, кг/с	736,1	789,18
Электрическая мощность блока, МВт	800	857,7
Температура уходящих газов, °С	163	156,2
КПД котельного агрегата, %	91,9	95,7
Расход топлива в котельном агрегате, кг/с	64,3	61,93
Годовой расход натурального топлива, тыс. т/год	1711,8	1672,11
Годовая экономия натурального топлива, тыс. т/год	–	63,99

В результате проведенных исследований, получено, что установка турбинного экономайзера на пылеугольном энергоблоке сверхкритических параметров позволит повысить КПД котла, за счет снижения температуры уходящих газов и более полного использования теплоты топлива; получить дополнительную выработку электроэнергии при увеличении пропуска пара в голову турбины, за счет вытесненных отборов турбины; снизить экологическую нагрузку за счет снижения расхода топлива (при снижении пропуска пара в голову турбины).

Источники

1. Анализ направлений развития отечественной теплоэнергетики / А.В. Мошкарин [и др.]; под ред. А.В. Мошкарин. Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2002. 256 с.

2. Медведев В.А., Липец А.У., Пономарева Н.В. и др. Эффективность комплексной модернизации хвостовой части действующих пылеугольных котлов // Теплоэнергетика. 1999. № 8. С. 43–47.

**МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССА
УПРАВЛЕНИЯ БЛАГОУСТРОЙСТВОМ
В ГОРОДАХ-МИЛЛИОНИКАХ: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ
УПРАВЛЕНИЯ СФЕРОЙ БЛАГОУСТРОЙСТВА
МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**

Рочева Ольга Александровна¹, Шарипова Фируза Радимовна²,
Шамсемухаметов Азат Ахметнурович³

Казанский кооперативный институт, г. Казань

¹rochevaolga@mail.ru, ²firuza.sharipova.1996@mail.ru, ³stroimtuk@mail.ru

В статье проведен анализ благоустройства жилых территорий в Европе, Америке и Азии, которые совершенно разные, но стремления одни и те же – создать полноценную и безопасную среду, улучшающую условия жизни. Рассмотрены вопросы распределения бюджета на благоустройство, основные задачи в сфере благоустройства и озеленения на сегодняшний день. Рассмотрены элементы повышения уровня экологического сознания населения городов, улучшения внешнего облика города, его привлекательности, привлечения как можно большего числа горожан к наведению порядка благоустроенности во дворах, в бережном отношении жителей и образцовом содержании дворов, повышения экологического образования, воспитания и просвещения населения.

Ключевые слова: благоустройство жилых территорий, социально-экономическая структура, озеленения городов, озелененных жилых массивов, сохранение и благоустройство зеленых зон отдыха в границах городов и за его пределами.

**MEASURES TO IMPROVE THE IMPROVEMENT MANAGEMENT
PROCESS IN MILLIONIAN CITIES: FOREIGN EXPERIENCE
IN MANAGING THE MUNICIPAL EDUCATION SPHERE**

Rocheva Olga Alexandrovna, Sharipova Firuza Radimovna,
Shamsemuhametov Azat Akhmetnurovich

The article analyzes the improvement of residential areas in Europe, America and Asia are completely different, but the aspirations are the same-to create a full and safe environment that improves living conditions. The issues of budget allocation for landscaping, the main tasks in the field of landscaping and landscaping today are considered. Describes the elements of increasing environmental consciousness of the population of the cities; improving the appearance of the city, its attractiveness; attracting a greater number of citizens to restore order livability in the courts; in respect of residents and exemplary maintenance yards; enhancement of environmental education, upbringing and enlightenment of the population.

Keywords: improvement of residential areas, socio-economic structure, greening of cities, green residential areas, conservation and improvement of green recreation areas within cities and beyond.

Благоустройство является той составляющей городской среды, которая может сформировать комфорт, эстетическую и функциональную привлекательность, качество и удобство жизни населения больших и малых городов. Учитывая важную роль благоустройства и активное развитие этой деятельности в городе, комплексное благоустройство формируется в особую отрасль проектирования и городского хозяйства [4].

Сохранение среды, окружающей человека в городе, и формирование условий, благотворно влияющих на человека, являются весьма важной проблемой на сегодняшний день. Благоустройство территорий, роль и значение зеленых насаждений города весьма огромны. Вся проблема заключается в экологическом, культурном и эстетическом воспитании горожан.

Основные задачи в сфере благоустройства и озеленения на сегодняшний день заключаются в повышении уровня экологического сознания населения городов, улучшении внешнего облика города, его привлекательности, привлечении как можно большего числа горожан к наведению порядка благоустроенности во дворах, в бережном отношении жителей и образцовом содержании дворов, повышении экологического образования, воспитания и просвещения населения.

Благодаря проведенному сравнительному анализу благоустройства и процесса его управления в городах-миллионниках были выявлены некоторые проблемы. Для улучшения регулирования процесса и повышения качества благоустроительной деятельности необходимо проведение определенных мероприятий.

К существенным проблемам можно отнести и низкую квалификацию, а также безынициативность жителей городов. Для решения этой проблемы необходимо комплексное изучение опыта других стран в процессе управления благоустройством городов. Как видно, в современной России используют устоявшиеся методы решения и управления этой сферой. Зарубежный опыт часто демонстрирует «превращение негатива в позитив». Конечно же, это требует финансовых средств и порою немалых, но они всегда окупаются, а городская среда получает интересное качество и колорит.

Дворовые пространства в разных странах не поддаются сравнению из-за множества базовых различий, таких как климатических, экономических, политических, а также несхожести менталитетов, традиций и обычаев – всего того, что ложится в основу обустройства среды обитания человека.

Подходы к благоустройству жилых территорий в Европе, Америке и Азии совершенно разные, но стремления одни и те же – создать полноценную и безопасную среду, улучшающую условия жизни.

В странах Европы многоквартирные жилые дома редко бывают высокими. Независимо от величины двора главным параметром, определяющим уровень благоустройства, является экономика. Максимально используются потенциальные возможности участков любого размера, но с учетом бюджета. Дворы закрыты от машин. Основой планировочной структуры двора являются пешеходные дорожки и газоны.

При распределении бюджета на благоустройство, в первую очередь, предусматривается создание мощеных дорожек, потом газонов. Затем, если хватает средств, устанавливаются опоры наружного освещения, потом скамьи, устраивается детская площадка, и, в последнюю очередь, высаживаются деревья и кустарники. Все стараются делать как можно лучше, с применением высококачественных материалов – за содержание двора платят сами жители, для которых дополнительная прибавка к квартплате зачастую становится невозможной. Поэтому обслуживание двора должно сводиться к минимуму.

Внешний вид дворовой территории имеет большое значение, так как влияет на стоимость аренды жилья. Даже за самые скромные средства благоустройство дворов выполняется уникально, с использованием разнообразных ландшафтно-композиционных приемов, заложенных в проектных решениях.

Детские площадки во дворах многоэтажных домов часто строят за средства жильцов, поэтому в целях экономии делается одна детская площадка на несколько домов. Площадки часто размещаются не во дворах, а в парках, скверах, на свободных участках или на территориях школ.

Во Франции действует Стандарт высокого качества окружающей среды (Haute Qualité Environnementale, HQE) – стандарт зеленого строительства, основанный на принципах устойчивого развития, впервые принятый в 1992 г. на Саммите Земли. Стандарт контролируется Ассоциацией по высокому качеству окружающей среды (Association pour la Haute Qualité Environnementale (ASSOHQE)). Стандарт представлен в 23 странах и адаптирован к специфическим особенностям каждой страны: климат, нормативная база, строительные практики, система организации процессов. Стандартизация нацелена на минимизацию негативного влияния на окружающую среду, сокращение водо- и энергопотребления,

количества отходов, создание здоровых и комфортных условий для жителей. Сертификация HQE адаптирована к каждому типу зданий: жилые, офисные, образовательные, лечебные и прочие. Она применима для проектируемых, реконструируемых, эксплуатируемых зданий, а также для внутренней отделки. Помимо этого, сертифицируются инфраструктурные объекты и кварталы.

В Париже действует Стратегический план перемещений (Plan de déplacements urbains, PDU), рассчитанный на 10 лет. В нем сформулированы основные задачи – такие, как снижение загрязнения воздуха, изменение моделей поведения горожан, повышение мобильности населения, качественное зонирование общественного пространства, стимуляция экономического развития и другие.

Проекты благоустройства находятся в ведении мэрии и создаются в рабочем порядке. С одной стороны, это позволяет все время обновлять подходы к проектированию, с другой – создавать уникальную среду даже на самой маленькой улочке или площади. Все городские проекты подчиняются общеевропейским нормам доступности, безопасности и защиты окружающей среды (HQE).

В Париже новые идеи тестируются на небольших участках. Если принцип доказал свою успешность, его начинают использовать на других территориях города.

Продуманный подход к формированию среды используется и при создании дворовых территорий в современных жилых кварталах в пригородах Парижа (например, Булонь-Бийанкур).

Находящиеся в реновации участки бывших промышленных территорий трансформируются в жилые кварталы, включающие как социальное жилье, так и жилье для среднего класса. Средняя этажность многоквартирных домов 6–7 этажей, что позволяет создавать сомасштабные человеку внутриквартальные пространства.

Дворовые территории свободны от машин и даже самые маленькие из них тщательно обустроены для тихого отдыха.

Под многими дворами размещены двухуровневые подземные паркинги, что не мешает создавать на поверхности интересные ландшафтные композиции. При этом почти нигде не увидишь участков стриженного газона. Интенсивное озеленение дворов носит, в основном, «природоподобный» характер, широко используются дикорастущие травы и кустарники, злаковые культуры, натуральный камень. Гармоничное сочетание природных цветов усиливает эффект и формирует благоприятное визуальное восприятие дворового пространства.

Очень украшают и придают оригинальность каждому двору интересные дизайнерские решения входных групп в многоквартирные дома. Разнообразные элементы городской мебели, даже в небольшом количестве, дают ощущение комфорта и уюта.

Основные тенденции проблем благоустройства и озеленения населенных мест и в России, и за рубежом заключаются в создании эффективного и оптимального баланса зеленого фонда города, застройки и промышленных территорий. Градостроительные решения зависят от природных предпосылок, специфики проектируемой территории, социальных факторов и эколого-экономической целесообразности. Озеленение в городе формирует условия комфортного проживания населения и своей композиционной структурой довершает эстетический и художественный облик городов, а также архитектурно-пространственное восприятие городского пейзажа [3].

Огромный опыт создания озелененных территорий за рубежом неоспоримо приумножит и обогатит отечественную проектную практику благоустройства, позволит привнести национальные традиции, оригинальные стили и эффективные приемы озеленения в оптимизацию ландшафтного благоустройства населенных мест России. Значительный интерес в зарубежной практике представляет роль человеческого фактора, корректное потребление озеленительного ресурса [2].

Резюмируя, можно сказать, что для улучшения текущего состояния необходимо комплексное рассмотрение всех проблем, ужесточение контроля за выполнением как самих работ по благоустройству, так и разработок программ и проектов.

Анализ современной отечественной и зарубежной практик озеленения городов отображает создание новых, хорошо озелененных жилых массивов, сохранение и благоустройство зеленых зон отдыха в границах городов и за его пределами. Достаточно проанализировать зарубежный опыт, чтобы увидеть возможные пути развития ситуации и выявить болевые точки в комплексе локальных городских проблем. Современные зарубежные парки также являются примером. Сохранение зеленых массивов, водоемов и бережный уход делают их более привлекательными не только для жителей самого, но также привлекают туристов. Важно не упустить время, и совсем нелишне при этом поучиться на чужих ошибках и достижениях.

Источники

1. Вахитова И.А., Биктимиров Н.М. Эколого-экономическое воспитание обучающихся, проживающих в высокоурбанизированных территориях // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-2. С. 374–376.

2. Рочева О.А. Инновационная экономика в России // Современные исследования основных направлений гуманитарных и естественных наук: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Казань, 2017. С. 996–998.

3. Семкина О.С., Скопинский А.И., Свиридовой Е.С. Роль управления благоустройством в развитии территории муниципального образования // Австрийский журнал гуманитарных и общественных наук. 2014. № 3-4. С. 159–161.

4. Смирнова А.В. Что необходимо учитывать при благоустройстве территории // Бухгалтерский учет. 2008. № 12. С. 34–38.

УДК 621.694.2

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛНОГО И СТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ОКРУЖНОЙ И ОСЕВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СКОРОСТИ В ЗОНЕ СОПЛА ПАССИВНОГО ГАЗА ДВУХКАМЕРНОГО ПВЭ

Самойлов Валерий Евгеньевич
ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара
samoilov-v@rambler.ru

В статье изложены результаты внутренних газодинамических исследований структуры потока в зоне сопла пассивного газа двухкамерного противоточного вихревого эжектора.

Ключевые слова: противоточный вихревой эжектор, сопло пассивного газа, полное давление, статическое давление, осевая скорость, окружная скорость.

CHANGE OF COMPLETE AND STATIC PRESSURE OF THE CIRCULAR AND AXIAL COMPONENT OF SPEED IN THE AREA OF A NOZZLE OF A PASSIVE GAS OF TWO-CHAMBER PVE

Samoilov Valery Evgenievich

The article presents the results of internal gas-dynamic studies of the flow structure in the zone of the passive gas nozzle of a two-chamber countercurrent vortex ejector.

Keywords: countercurrent vortex ejector, passive gas nozzle total pressure static pressure, axial speed, peripheral speed.

Комплекс свойств закрученных потоков позволяет использовать вихревой эффект для вакуумирования, отсоса вредных газов, создания нового вихревого метода безотходной очистки поверхностей.

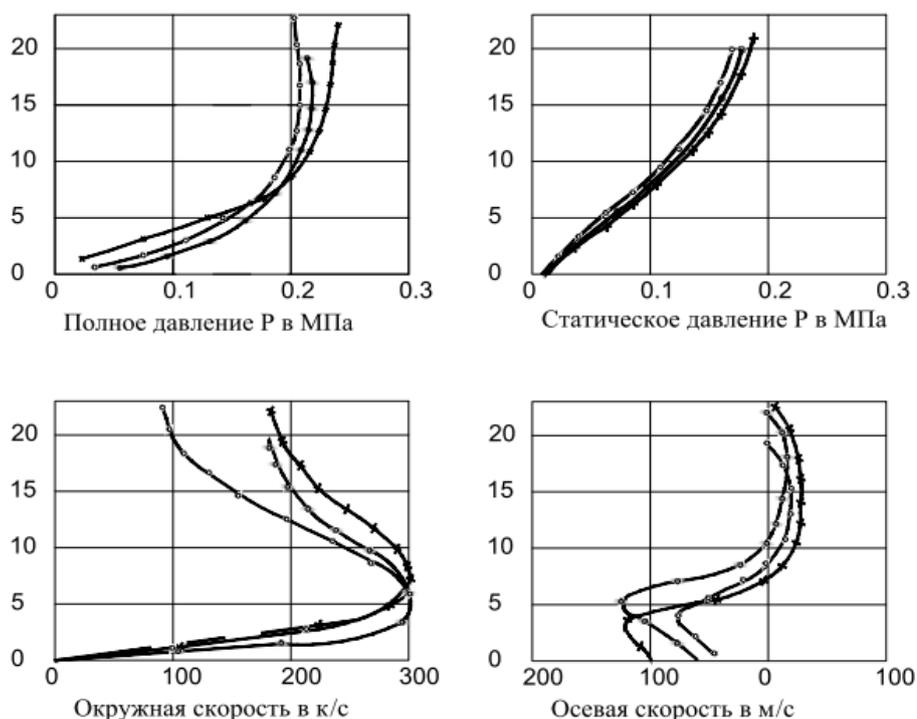
Одним из вакуумирующих устройств является противоточный вихревой эжектор (ПВЭ). Улучшение технико-экономических характеристик ПВЭ ещё в большей мере будут способствовать повышению эффективности различных энергетических технологических установок с использованием вакуума. Одним из методов повышения эффективности работы ПВЭ является подключение дополнительной камеры смешения меньшего диаметра соосно с первой. Анализ экспериментальных данных показывает безусловную эффективность двухкамерного ПВЭ для получения высоких степеней сжатия как по сравнению с прямоточным эжектором ДКМ, так и по сравнению с противоточным однокамерным эжектором ПВЭ-42 [1].

В проточной части эжектора газовый поток совершает сложное вихревое движение. При этом в диффузорных камерах смешения происходит расширение активного газа как в осевом направлении в сторону сопла пассивного газа, так и в радиальном направлении от периферии к оси камеры смешения.

Для выявления закономерностей рабочего процесса двухкамерного ПВЭ были проведены внутренние газодинамические исследования структуры потока в камерах смешения. Результаты исследования изменения структуры полного и статического давлений по четырём сечениям первой камеры смешения и трём сечениям второй камеры смешения двухкамерного ПВЭ и окружной и осевой скоростей для каждого из исследуемых сечений представлены в работе [2].

В данной работе представлены результаты исследования изменения полного и статического давлений окружной и осевой составляющих скорости в сечении камеры смешения, расположенной в непосредственной близости от сечения сопла пассивного газа. Эпюры построенные по результатам исследования представлены на рисунке: ●—● – двухкамерный ПВЭ оптимальной геометрии; ○—○ – однокамерный ПВЭ с геометрическими соотношениями, определёнными для оптимального двухкамерного ПВЭ; ×—× – однокамерный ПВЭ оптимальной геометрии.

Результаты исследования были получены на двухкамерном ПВЭ-42×35 оптимальной геометрии и на однокамерном ПВЭ-42 двух конструкций. Первая конструкция однокамерного эжектора предусматривала наличие геометрических соотношений, оптимальных для однокамерного ПВЭ, во второй – геометрические соотношения принимались, как для оптимальной конструкции двухкамерного ПВЭ-42×35 при отсутствии второй камеры смешения.



Изменение полного и статического давления, окружной и осевой составляющей скорости потока по радиусу камеры смешения в зоне сопла пассивного газа однокамерного и двухкамерного ПВЭ

Сравнение эпюр распределения статического давления в сечениях, находящихся в камере смешения однокамерного ПВЭ и во второй камере смешения двухкамерного ПВЭ в непосредственной близости от сопла пассивного газа в непосредственной близости от сопла пассивного газа, показало, что рост статического давления по радиусу второй камеры смешения двухкамерного ПВЭ происходит медленнее и на меньшую величину по сравнению с аналогичным сечением камеры смешения однокамерного ПВЭ.

Источники

1. Самойлов В.Е. Совершенствование конструкции противоточного вихревого эжектора с целью повышения эффективности его работы // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: сб. матер. III Всерос. науч.-практ. конф. Кемерово: КузГТУ, 2017. С. 162.

2. Самойлов В.Е. Экспериментальные исследования аэродинамики закрученного газового потока в камерах смешения двухкамерного противоточного вихревого эжектора // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: сб. матер. IV Всерос. науч.-практ. конф. Кемерово: КузГТУ, 2018. С. 166.1–166.6.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЯЗКОСТИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Сасаров Виталий Александрович¹, Федорова Мария Александровна²,
Юдин Алексей Викторович³

ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический
университет имени П. А. Соловьёва», г. Рыбинск

¹mr.vitalii@mail.ru, ²masha-fedorova2010@mail.ru, ³judinav@mail.ru

В статье рассматривается разомкнутая система автоматического регулирования (САР) с компенсацией, основанная на модели процесса снижения вязкости. Модель реализована в системе MATLAB и учитывает: исходную кинематическую вязкость нефти, её температуру и плотность. Производится моделирование каждого блока предложенной САР. Рассматривается пример работы САР для компенсации влияния температуры.

Ключевые слова: вязкость, источник импульсного тока, автоматизация, разряд, нефть, разомкнутая САР, модель, MATLAB.

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR REDUCING VISCOSITY OF OIL AND OIL PRODUCTS

Sasarov Vitalii Aleksandrovich, Fedorova Mariya Aleksandrovna,
Yudin Aleksey Viktorovich

The article considers an open automatic regulation system (ACS) with compensation based on the viscosity reduction process model. The model is implemented in the MATLAB system and takes into account the initial kinematic viscosity of oil, its temperature and density. Modeling of each block of the proposed ACS is performed. An example of the functioning of the ACS for compensation of temperature influence is considered.

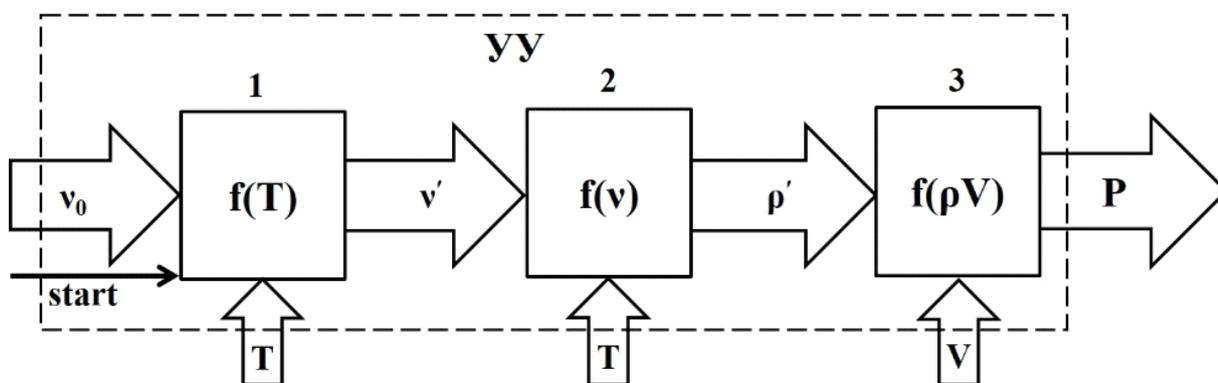
Keywords: viscosity, pulse current source, automation, discharge, oil, open ARS, model, MATLAB.

В настоящее время одним из основных способов снижения вязкости нефти является её термический нагрев [1]. Он осуществляется различными способами, такими как выделение тепла при сжигании углеродосодержащих веществ (уголь, нефть, газ) в котлах, отводом теплоты, выделяемой при работе насосов при перекачке, электрический обогрев нефтепровода [2]. Данный способ характеризуется относительно низкой эффективностью.

Перспективным с точки зрения энергоэффективности является метод воздействия электрогидродинамическими разрядами импульсами тока [3]. Суть метода заключается в воздействии на обрабатываемый поток нефти электрогидродинамическими ударами. Это приводит к формированию импульсов давления и интенсификации тепло- и массообменных процессов. Происходит разрыв химических связей с образованием свободных радикалов, изменение физико-химических свойств нефти, уменьшение плотности и снижение вязкости [4].

Необходимость автоматизации данного процесса связана с требованием постоянного контроля меняющихся параметров системы, а именно: зазор между разрядными электродами, внешние условия среды (температура), давление в трубопроводе, а также учитывать изначальную вязкость добытой нефти [5]. Необходимо внедрение в установку системы автоматического регулирования (САР). САР позволит в автоматическом режиме регулировать мощность и частоту импульсов тока в зависимости от всех характеристик, влияющих на вязкость нефти, а также регулировать зазор между электродами, по мере их износа.

В качестве первого варианта решения будем использовать разомкнутую САР с компенсацией. Это связано со сложностью настройки замкнутой САР в условии отсутствия точной модели технологического процесса снижения вязкости, которая, скорее всего, является не линейной. Предлагается разомкнутая САР с компенсацией (см. рисунок), основанная на модели процесса снижения вязкости. Модель реализована в системе MATLAB и учитывает: исходную кинематическую вязкость нефти, её температуру и плотность.



Структура разомкнутой САР снижения вязкости

Устройство управления (УУ) включает в себя три блока:

1) зависимость вязкости от температуры: ν_0 – исходная кинематическая вязкость нефти на момент запуска системы ($\text{м}^2/\text{с}$), T – температура нефти (К), ν' – вязкость с учетом температуры ($\text{м}^2/\text{с}$);

2) переход от вязкости к плотности: ν^{\wedge} – желаемая вязкость нефти ($\text{м}^2/\text{с}$), ρ – плотность нефти ($\text{кг}/\text{м}^3$);

3) зависимость энергии от плотности: V – производительность установки ($\text{м}^3/\text{с}$), P – мощность, необходимая для снижения вязкости нефти до требуемого значения (кВт).

В дальнейшем планируется усовершенствовать САР снижения вязкости нефти импульсами тока, добавив в неё систему слежения за межэлектродным зазором, а также она будет учитывать давление в трубопроводе. Планируется перейти от разомкнутой модели снижения вязкости нефти с компенсацией к замкнутой. Для этого будет необходимо понять динамику процесса.

Источники

1. Сасаров В.А., Слободяник А.С. Некоторые аспекты разработки технологии снижения вязкости нефтепродуктов // Электроэнергетика, гидроэнергетика, надежность и безопасность: матер. Республ. научно-практ. конф. Душанбе, 2016. С. 181–183.

2. Козачок М. В. Обоснование технологии перекачки высокопарафинистой нефти Харьягинского месторождения с использованием комплексного воздействия магнитного поля и ультразвуковых колебаний: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2012. 14 с.

3. Сасаров В.А., Коршунов П.В. Технологии снижения вязкости нефти и нефтепродуктов: настоящее и будущее // Опыт прошлого – взгляд в будущее: матер. 7-й Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов: / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Р.А. Ковалева. Тула, 2017. С. 91–96.

4. Абросимова Е.А., Устинова И.С. Поисковые исследования в области создания технологии электрогидродинамической обработки нефти и её составляющих // Состояния и пути развития российской энергетики: матер. Всерос. молод. науч. шк.-конф. Томск, 2014. С. 42–45.

5. Сасаров В.А., Слободяник А.С. Разработка импульсного источника питания для высокоинтенсивного разряда в нефти // Завалишинские чтения: тр. конф. СПб., 2017. С. 215–216.

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПОТЕРИ ТЕПЛА В ТРУБОПРОВОДАХ

Спицкий Денис Андреевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
dspitskiy@mail.ru

В данной статье описывается подход к разработке и реализации стратегии планирования потерь тепла в трубопроводах на предприятиях при его транспортировке потребителю. Отмечаются и разбираются основные этапы этого процесса планирования, а именно получение объективных данных об объеме используемых энергетических ресурсов, определение показателей энергетической эффективности и потенциала энергосбережения, повышения энергетической эффективности, а также разработка перечня мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, проведение их стоимостной оценки.

Ключевые слова: теплопотери, трубопровод, прогнозирование, анализ.

RATIONALIZATION OF CALCULATION OF HEAT LOSSES IN THE PIPELINE

Spitskiy Denis Andreevich

This article describes the approach to the development and implementation of a strategy for planning heat losses in pipelines at enterprises during transporting it to the consumer. The main stages of this planning process are noted and understood, namely obtaining objective data on the amount of energy resources used, determining energy efficiency indicators and the potential for energy saving and improving energy efficiency, and developing a list of energy saving and energy efficiency measures and their valuation.

Keywords: heat loss, pipeline, forecasting, analysis.

Эффективное планирование потерь тепла влияет на обеспечение нормальной жизнедеятельности предприятия, имеет непосредственное отношение к его рентабельной производственной деятельности. Сам процесс зависит от работы основных и посреднических элементов, находящихся между производительными устройствами и потребителями тепла. В рамках планирования определяется состав потребляемых тепло-ресурсов зданием: выделяются наиболее теплоемкие системы и участки, определяются места наиболее вероятных потерь тепла, производится оценка эффективности использования топливно-энергетических ресурсов

на объекте, определяется уровень эффективности использования теплоресурсов, и разрабатываются мероприятия, направленные на рационализацию потребления тепла. Для подбора мощности системы обогрева трубопровода требуется рассчитать теплотери в этом самом трубопроводе, на основании которых такое же количество тепла будет подводиться к трубе с помощью системы, и тем самым можно избежать «остывания» и переохлаждения трубы с её содержимым (вода, нефть, бензин и т.д.). Параметров, влияющих на теплотери несколько: температура окружающей среды, необходимая температура жидкости внутри трубы, диаметр трубопровода, толщина теплоизоляции и её коэффициент [1].

Рассчитываются тепловые потери:

$$Q = 2\pi \cdot K \cdot L \cdot \left(\frac{T_{\text{вн}} - T_{\text{нар}}}{\ln(D/d)} \right), \quad (1)$$

где Q – теплотери, K – коэффициент теплопроводности теплоизоляции; L – длина трубы; $T_{\text{вн}}$ – температура жидкости в трубопроводе; $T_{\text{нар}}$ – температура наружного воздуха или земли; D – наружный диаметр трубопровода с теплоизоляцией; d – внутренний диаметр трубопровода. Итоговую теряемую мощность необходимо увеличить на 30–40 % (это запас 1,3–1,4 раза). Чтобы каждый раз не считать теплотери по формуле, обращаются к таблице с типовыми параметрами толщины теплоизоляции [2]. Однако при планировании потерь тепла в трубопроводах необходимо учитывать такие факторы, как износ трубопроводов, виды трубопроводов по способу прокладки, тип изоляции и т. д. В таких случаях при использовании формулы (1) данные умножаются на определенную величину K' , которая находится между нулем и единицей.

$$Q = 2\pi \cdot K \cdot L \cdot \left(\frac{T_{\text{вн}} - T_{\text{нар}}}{\ln(D/d)} \right) K'.$$

Изменив формулу, учитывая все упомянутые факторы, расчет потерь тепла оказывается более точным. Следствие этого, благодаря правильному планированию, можно избежать лишних затрат и улучшить качество и эффективность транспортирующего рабочего тела.

Источники

1. Дубровин И.А. Бизнес-планирование на предприятии: учеб. для бакалавров. 2-е изд. М.: М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2017. 432 с.

2. Муныбин Л.И., Арефьев Н.Н. К вопросу о методике расчета тепловых потерь при различных вариантах тепловой изоляции // Новости теплоснабжения. 2002. № 4. С. 35–38.

УДК 621.992.31

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ РЕЗЦА ПРИ ОБРАБОТКЕ НАРУЖНОЙ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОЙ РЕЗЬБЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛИ

Тимофеев Антон Александрович¹, Исаев Александр Вячеславович²
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва
¹timofeev.design@yandex.ru, ²avisz@yandex.ru

Работа посвящена профилированию режущей части резца, установленного в нормальной плоскости к направлению винтовой линии резьбы на внутреннем, среднем и наружном диаметрах. По результатам исследования разработан алгоритм определения профиля режущей части резца для нарезания наружной трапецеидальной резьбы, а также представлены результаты определения наиболее простой формы режущей кромки на передней поверхности инструмента с точки зрения изготовления.

Ключевые слова: трапецеидальная резьба, резьбовой резец, профилирование.

DETERMINATION OF THE PROFILE OF THE CUTTING PART OF THE CUTTER WHEN PROCESSING THE EXTERNAL TRAPEZEIDAL THREAD FOR INCREASING THE ACCURACY OF FORMING OF THE PART

Timofeev Anton Alexandrovich, Isaev Alexander Vyacheslavovich

The work is devoted to profiling the cutting part of the cutter installed in the normal plane to the direction of the helical line of the thread on the inner, middle and outer diameters. Based on the results of the study, an algorithm for determining the profile of the cutting part of the cutter for cutting the external

trapezoidal thread is developed, and the results of determining the simplest form of the cutting edge on the front surface of the tool from the point of view of manufacturing are presented.

Keywords: trapezoidal thread, threaded cutter, profiling.

Обработка резьбовых деталей считается широко распространённой и сложной технологической процедурой [1]. Детали, имеющие резьбовые соединения, применяются во многих отраслях промышленности, в том числе в топливно-энергетическом комплексе.

Для формирования наружной трапецеидальной резьбы применяют различные методы, одним из которых является обработка лезвийными инструментами, в частности резьбовым резцом. По сравнению с другими видами инструментов, резьбовые резцы обладают следующими преимуществами: простотой конструкции и технологии изготовления; возможностью одним и тем же резцом обрабатывать резьбы различного диаметра и шага; высокой точностью расположения оси обработанной резьбы относительно торцевой и цилиндрической поверхностей заготовки; возможностью нарезать резьбы с переменным шагом, а также на конической поверхности [2].

Существуют две принципиально разные схемы установки резца по отношению к детали. В одном случае передняя плоскость инструмента расположена в осевом сечении заготовки. Боковые стороны профиля резца, как образующие винтовой архимедовой поверхности винта, являются прямолинейными, и изготовление такого инструмента не представляет затруднений. Но наблюдается существенный недостаток – неравномерные условия резания на сторонах профиля резца.

В другом случае для выравнивания условий резания передняя поверхность режущей части устанавливается в плоскости, нормальной к направлению винтовой линии на среднем (внутреннем, наружном) диаметре детали. Однако появляется необходимость корректирования формы режущей кромки резца, в особенности при нарезании многозаходной резьбы [3].

На рис. 1 представлен графоаналитический способ профилирования резьбового резца, из которого видно, что сформированные профили по внутреннему, среднему и наружному диаметрам имеют криволинейную форму, и изготовление такого инструмента является трудной задачей. На рис. 2 представлены результаты определения наиболее простой формы режущей кромки на передней поверхности инструмента с точки зрения изготовления.

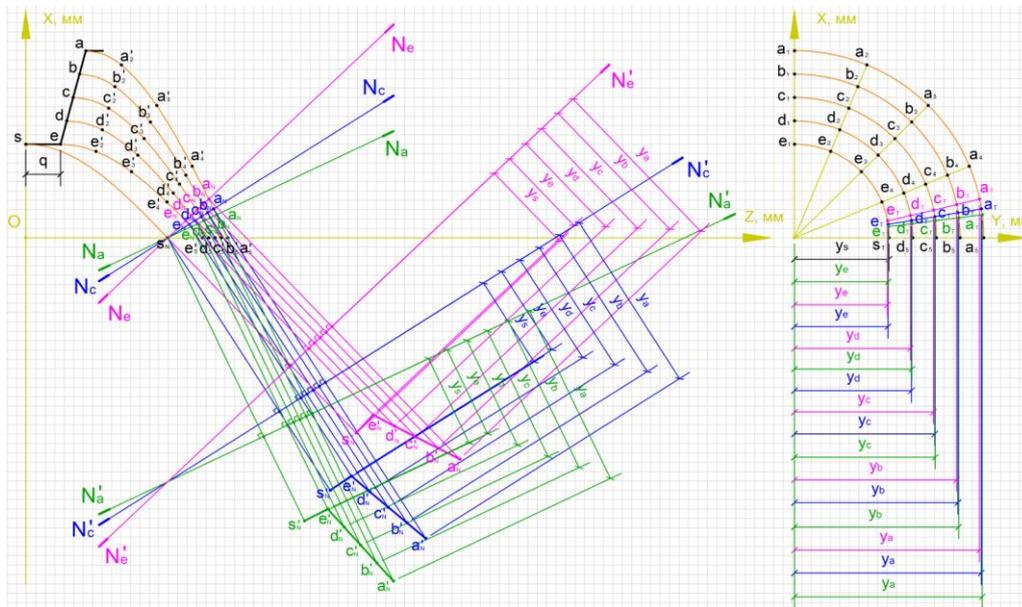


Рис. 1. Схема профилирования резьбового реза

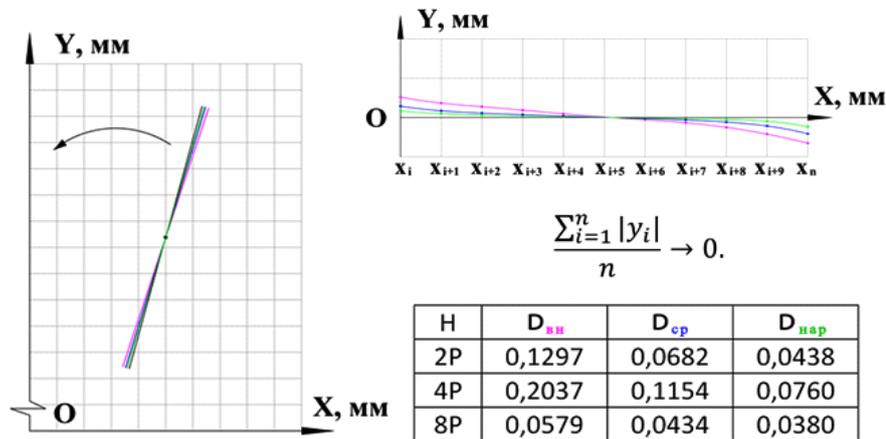


Рис. 2. Результаты определения наиболее простой формы режущей кромки с точки зрения изготовления

Источники

1. Инструментальные системы интегрированных машиностроительных производств и роботизированных комплексов / В.А. Гречишников [и др.]. М.: КУРС, 2017. 400 с.

2. Определение профиля пластины сборных резцов для обработки трапецидальной резьбы ходовых винтов / В.А. Гречишников [и др.] // Вестник МГТУ «Станкин». 2017. № 4 (43). С. 62–67.

3. Гречишников В.А. Наука и искусство системного моделирования инструментального обеспечения машиностроительных производств. М.: КУРС, 2016. 376 с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Тугашова Лариса Геннадьевна¹, Гончаров Антон Александрович²

¹ФГБОУ ВО «АГНИ», г. Альметьевск

²ООО «Автоматика-сервис», г. Москва

¹tugashowa.agni@yandex.ru, ²antalg@mail.ru

Рассмотрена возможность прогнозирования выработки топливно-энергетических ресурсов с помощью мультипликативных моделей. Представлены результаты исследований, проведенных с применением программного пакета Matlab. Предложены модели, отличающиеся учетом сезонной компоненты и видом тренда. На примере модели выработки электроэнергии построен постпрогноз. Средняя относительная погрешность постпрогноза не превышает 4 %.

Ключевые слова: мультипликативная модель, выработка, динамический ряд, индекс сезонности, тренд.

FORECASTING PRODUCTION OF FUEL AND ENERGY RESOURCES

Tugashova Larisa Gennad'evna, Goncharov Anton Aleksandrovich

The possibility of forecasting the production of fuel and energy resources using multiplicative models is considered. The results of studies conducted using the Matlab software package. Models have been developed that differ in the consideration of the seasonal components and the type of trend. The post-forecast is built on the example of electricity production models. The average relative error of postdiagnosis not exceed 4 %.

Keywords: multiplicative model, production, time series, seasonality index, trend.

К топливно-энергетическим ресурсам (ТЭР) относятся природные и преобразованные виды топлива и энергии. Можно привести следующую классификацию ТЭР: первичные энергетические ресурсы (природное топливо, гидроэнергия, солнечная энергия, энергия ветра); вторичные энергетические ресурсы (нефтепродукты, кокс, отработанный пар, горючие газы); преобразованные энергоресурсы (электроэнергия, тепловая энергия и др.).

Вопросы анализа и прогнозирования развития ТЭК рассмотрены во многих работах. Например, в работе [1] производятся прогнозные расчеты для российских нефтеперерабатывающих заводов, которые осуществляются в «Модели анализа и прогнозирования нефтеперерабатывающей промышленности Российской Федерации (РФ)».

Развитием ТЭК определяются динамика и технико-экономические показатели отраслей промышленности. Эффективное использование ТЭР является важным показателем деятельности предприятий, влияющим на себестоимость получаемой продукции. В связи с этим важной задачей является анализ и прогнозирование производства и потребления ТЭР.

Для построения прогнозирующих моделей применяются следующие методы: методы экстраполяции временных рядов (Хольта [2], ARIMA (*autoregressive integrated moving average*) [3] и др.), регрессионные многофакторные модели [4], нейронные сети [5] и др.

При анализе статистических данных сайта ЕМИСС¹ в динамических рядах по выработке различных видов ТЭР (автомобильного бензина, дизельного топлива, электроэнергии, тепловой энергии и др.) можно выделить сезонную составляющую. Тренд – сезонный временной ряд можно представить в аддитивной или мультипликативной форме. При построении аддитивной и мультипликативной модели необходимо рассчитать значения трендовой, сезонной и случайной составляющих для каждого уровня временного ряда.

Приведем построение математической модели временного ряда выработки ТЭР на примере выработки электроэнергии в РФ. При наблюдении динамики выработки за период 2013–2019 гг. по данным ЕМИСС можно выделить наличие сезонной компоненты с непостоянным размахом сезонной составляющей. Поэтому аппроксимируем исходные данные мультипликативной моделью.

Предлагается применять мультипликативную модель следующего вида:

$$\hat{Q} = \hat{T} \cdot S \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

где \hat{T} – тренд; S – индексы сезонности; ε – остатки.

Сначала определена центрированная скользящая средняя для исходного временного ряда. На следующем шаге вычислены индексы сезонности:

$$S = [0,8857; 0,9027; 0,9125; 1,0448; 1,0809; 1,1513; 1,1688; 1,0491; 1,0731; 0,9637; 0,9096; 0,8578].$$

¹ «Официальные статистические показатели» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicators> (дата обращения: 13.10.2019).

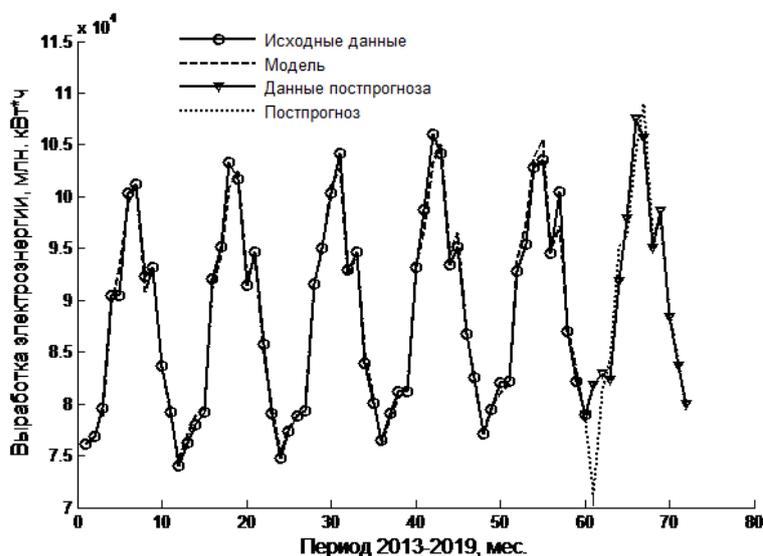
В качестве тренда могут применяться различные зависимости, например, линейный тренд, показательная, степенная и другие функции. Для улучшения качества аппроксимации предлагается использовать в виде трендовой составляющей авторегрессионную модель следующего вида:

$$\hat{T}(t_i) = a_1 \cdot T(t_{i-1}) + a_2 \cdot T(t_{i-2}) + a_3 \cdot t_i, \quad (2)$$

где T_i – выработка электроэнергии без учета сезонности, млн. кВт·ч; a_j – коэффициенты; t – время.

Коэффициенты a_j в модели (2) определены с помощью метода наименьших квадратов (МНК): $a_1 = -0,7858$; $a_2 = -0,2148$; $a_3 = 2,3581$. Задача идентификации решена в Matlab с применением функции **mldvide** [6]. Для определения порядка в модели авторегрессии использована частная автокорреляционная функция (ЧАКФ). Рассчитаны модельные значения выработки по зависимостям (1) и (2). Качество полученной модели определяем по средней относительной погрешности.

На рисунке приведен график выработки электроэнергии, определенной по моделям (1) и (2) по 60 фактическим значениям за 2013–2018 гг.



Выработка электроэнергии

Сплошной линией показаны исходные данные, а пунктирной – модельные значения. Период 61–72 соответствует периоду постпрогноза (12 значений, с июля 2018 г. по июнь 2019 г.). Средняя относительная

погрешность аппроксимации составляет 0,92 %, а постпрогноза – 3,41 %. Приведенные значения говорят о точности построенной модели и возможности ее применения для прогнозирования исследуемого показателя.

Источники

1. Эволюция мировых энергетических рынков и ее последствия для России / под ред. А.А. Макарова, Л.М. Григорьева, Т.А. Митровой. М.: ИНЭИ РАН-АЦ при Правительстве РФ, 2015. 400 с.

2. Косовцева Т.Р., Беляев В.В. Технологии обработки экономической информации. Адаптивные методы прогнозирования: учеб. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 31 с.

3. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: principles and practice. OTexts [Электронный ресурс]. URL: <https://otexts.com/fpp2> (дата обращения: 12.10.2019).

4. Тугашова Л.Г. Прогнозирование показателей качества нефтепродуктов на установках первичной переработки нефти // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. 2015. Т. 14. С. 99–103.

5. Тугашова Л.Г. Виртуальные анализаторы показателей качества процесса ректификации // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2013. Т. 9, № 3. С. 97–103.

6. Затонский А.В., Тугашова Л.Г. Моделирование объектов управления в MatLab: учеб. пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2019. 144 с.

УДК 697,34

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОСЕТИ НА ТЕПЛОВЫХ ПУНКТАХ

Файзуллина Ландыш Раисовна, Зиганшин Малик Гарифович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
l.fazullina29@mail.ru, mjihan@mail.ru

Разработка и совершенствование систем, использующих нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, вторичные энергоресурсы, является одной из приоритетных задач на сегодняшний день.

Ключевые слова: тепловой пункт, система рекуперации давления, циркуляционный насос.

POSSIBILITY OF USING OVER PRESSURE OF THE HEAT NETWORK ON THE HEAT POINTS

Faizullina Landysh Raisovna, Ziganshin Malik Garifovich

The development and improvement of systems using non-traditional and renewable energy sources, secondary energy resources, is one of the priority tasks for today.

Keywords: heat point, pressure recovery system, circulation pump.

Для большинства городов РФ характерна централизованная схема теплоснабжения, при которой один крупный теплоисточник – тепловая электростанция или районная котельная генерирует тепловую энергию для большого числа абонентов. Абонентские системы теплоснабжения запитываются через тепловые пункты (ТП), до которых теплоноситель должен быть доставлен от теплоисточника по городским распределительным сетям в надлежащем количестве и с требуемыми параметрами – температурой и давлением. Соответственно, крупными теплоисточниками обслуживается большое количество центральных (ЦТП) и/или индивидуальных (ИТП) тепловых пунктов, располагающихся, как правило, на самых различных расстояниях от него. Так, например, по данным [1], расстояния между ближайшим и наиболее удаленным потребителем по московским источникам и сетям теплоснабжения в среднем составляют 10 км. Кроме того, городские магистральные и внутриквартальные теплопроводы имеют сложную разветвленную конфигурацию большой протяженности (в Москве – около 1000 км, в Санкт-Петербурге – около 350 км [2], в Казани – 246,7 км [3]) со множеством элементов, создающих местное сопротивление движению тепловых потоков. Поэтому теплоисточники оборудуются мощными сетевыми насосами, осуществляющими движение теплоносителя в сетях.

Для преодоления большого гидравлического сопротивления магистрали и гарантированной доставки теплоносителя с требуемыми параметрами до самых удаленных потребителей создают значительное давление на входе в магистраль. В результате большинство потребителей, кроме наиболее удаленных от тепловой станции, получают теплоноситель с существенно избыточным давлением, которое дросселируется регулирующим клапаном. Так как значение рабочего давления при переходе теплоносителя из теплосети в систему теплоснабжения здания должно

быть снижено, то потенциал энергии избыточного давления теплоносителя, который можно использовать для преобразования в электрическую или другие виды энергии, безвозвратно теряется при дросселировании. К тому же такие ТП не обладают достаточной надежностью, так как при аварийном отключении электропитания не могут обеспечить циркуляцию теплоносителя в системе отопления.

Известны способы утилизации вышеуказанного избыточного потенциала энергии при условии применения ЦТП с отечественным насосным оборудованием, например, способ рекуперации (преобразования) избыточного магистрального давления в электрическую энергию [1]. На основании этого способа разработана система рекуперации давления (СРД), трансформирующая избыточное магистральное давление в электрическую энергию, используемую в дальнейшем в ЦТП на собственные нужды (см. рисунок).

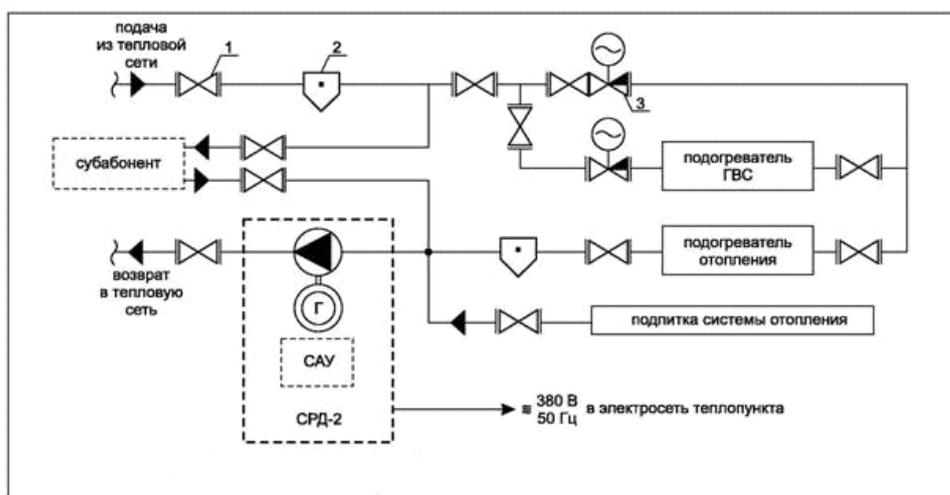


Схема подключения СРД на ЦТП с независимой схемой теплоснабжения:

1 – задвижка; 2 – грязевик; 3 – редукционный клапан

Поток теплоносителя, проходя через рабочее колесо гидротурбины и создавая на нем вращательный момент, теряет часть энергии, понижая давление до требуемых значений. Электродвигатель переходит в генераторный режим и вырабатывает электрическую энергию. В качестве гидротурбины используется насосная установка ЦТП. На действующих установках подобного типа используются насосы типа К (например, К-100-80-160), которыми комплектовались ЦТП. Динамический насос по [4], работающий в турбинном режиме за счет энергии избыточного магистрального

давления с генератором электрического тока, который может быть скоммутирован с сетью потребителя через инвертор (преобразователь напряжения), обеспечивает автономное питание электропривода циркуляционных насосов системы отопления при аварийном отключении его штатного электропитания.

В ИТП используются насосы Grundfos, Wilo и др. зарубежных производителей, отличающиеся небольшим размером рабочего колеса. Поэтому их эффективность в качестве обращенного генерирующего оборудования невысока. Если дополнительную электроэнергию, вырабатываемую насосом типа К, можно использовать в критических случаях, например, при аварии на ТЭЦ для питания силового оборудования ЦТП, то выработанной энергии обращенными насосами типа Wilo для этого недостаточно. Однако подобная схема СРД может иметь свою эффективную область применения уже в настоящее время. Это поддержание работоспособности системы автоматического регулирования работы ИТП и его освещения при аварийных отключениях электроэнергии. В дальнейшем в схему работы ИТП может быть включен генератор, работающий от избыточного давления теплосети, сконструированный на базе современных бесшумных насосов типа Grundfos, Wilo с целью постоянного обеспечения электроэнергией системы автоматики и освещения ИТП.

Источники

1. Волкова Т.А. Использование избыточного магистрального давления теплоносителя для повышения надежности и экономичности систем централизованного теплоснабжения: дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. С. 12–19.
2. Плачкова С.Г. Система теплоснабжения городов Москвы и Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] // Энергетика: история, настоящее и будущее. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-1/section-5/5-2> (дата обращения: 21.09.2019).
3. «Энциклопедия теплоснабжения» [Электронный ресурс] // Всё о теплоснабжении в России. URL: <https://www.rosteplo.ru> (дата обращения: 21.09.2019).
4. Система рекуперации избыточного давления магистральных сетей водо- и теплоснабжения: пат. 2239752 Рос. Федерация № 2003136705/03; заявл. 22.12.2003; опубл. 10.11.2004, Бюл. № 31.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ В СИСТЕМЕ ЖКХ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ЗАКРЫТОЙ СИСТЕМЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Яковлев Павел Сергеевич, Безруков Роман Евгеньевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
p.yakovlev25@gmail.com

В данной статье будет рассмотрен вопрос об отказе центрального теплоснабжения и переходе на индивидуальные котельные в системе ЖКХ на основе проведённого сравнительного анализа с закрытой системой центрального теплоснабжения, а также будут представлены основные достоинства и недостатки индивидуальных тепловых пунктов.

Ключевые слова: Индивидуальные котельные, закрытая система центрального теплоснабжения, индивидуальный тепловой пункт, котельные в системе жилищно-коммунального хозяйства.

INDIVIDUAL BOILER HOUSES IN THE HOUSING SYSTEM AS AN ALTERNATIVE TO THE CLOSED SYSTEM OF CENTRAL HEAT SUPPLY

Yakovlev Pavel Sergeevich, Bezrukov Roman Evgenievich

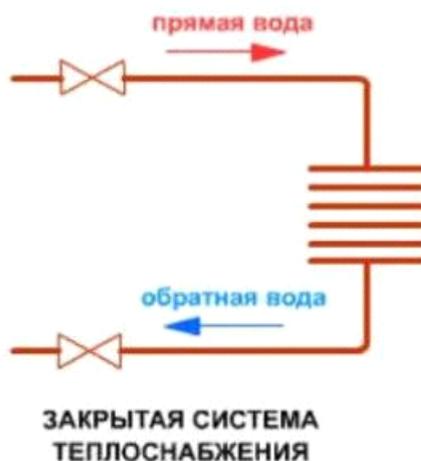
This article will address the issue of the failure of central heating and the transition to individual boiler rooms in the housing and communal services system on the basis of a comparative analysis with a closed central heating system, as well as the main advantages and disadvantages of individual heating units.

Keywords: Individual boiler houses, closed central heating system, individual heating station, boiler houses in the housing and communal services system.

Для отопления помещений применяется закрытая система центрального теплоснабжения. В закрытой системе центрального теплоснабжения вода применяется как теплоноситель. Происходит постоянная ее циркуляция по замкнутому циклу, где потери минимальны. Схема закрытой системы центрального теплоснабжения показана на рисунке.

Тепловая магистраль выполнена в виде отдельного замкнутого контура. Вода в тепловой магистрали подогревается через теплообменники от магистрали теплоцентрали. Исключаются потери и загрязнения воды,

а температурный режим становится более стабильным. Вода остается в системе и не забирается потребителем. С помощью автоматической подпитки восстанавливаются минимальные потери.



Закрытая система теплоснабжения

Тепловая энергия вырабатывается на ТЭЦ либо в районной котельной. К потребителю горячая вода поступает по трубопроводам. Средний радиус действия районной котельной примерно 3 км. При транспортировке горячей воды к потребителю с помощью тепловых потерь определяется средний радиус действия котельной. Можно также использовать более качественную изоляцию труб для того, чтобы как раз увеличить расстояние между котельными.

Среди достоинств данной системы теплоснабжения стоит отметить, что в больших масштабах тепловая энергия по себестоимости будет ниже, чем при использовании индивидуального отопления. Еще одно достоинство заключается в дополнительном повышении экономичности установки от её использования, так как эти установки для центрального отопления могут работать на дешевом топливе. В районных котельных часто используют различные виды топлива потому, что там стоит надежное отопительное оборудование. Это повышает уровень отказоустойчивости системы. Но у этой системы также имеются свои минусы, которые связаны с большими теплотерями как при производстве тепловой энергии, так и при транспортировке тепла до потребителя. Также требуются большие затраты на топливо для поддержания температуры воды, так как во время транспортировки, преодолевая большое расстояние, горячая вода успевает остыть [2].

В последние несколько лет стали внедрять систему автоматизации для того, чтобы повысить технический уровень системы теплоснабжения. Следовательно, сокращаются затраты на топлива для выработки тепловой энергии, а также непроизводительные затраты. Также рассматривается методика, которая будет устанавливать тариф на теплоснабжение. Данная методика называется альтернативная котельная [1].

Индивидуальный тепловой пункт, состоящий из элементов высококачественного теплового оборудования, представляет целый комплекс устройств, который находится в отдельном помещении. Система теплоснабжения также остаётся закрытой, так как все магистральные тепловоды, источники тепла (котельные и ТЭЦ) остаются неизменными. Тепловая установка, которая обеспечивает теплом здания или отдельные части здания, называется индивидуальным тепловым пунктом. Жилые дома, производственные объекты и объекты ЖКХ обслуживает индивидуальный тепловой пункт, который снабжает их ГВС, теплом и вентиляцией. Для выполнения функции ИТП требуется подключение к системам тепло- и электроснабжения, а также водоснабжения. Эти мероприятия необходимы для активации циркуляционного насосного оборудования. Небольшие строения обслуживает малый тепловой пункт, который подключен к системе центрального теплоснабжения, тогда как большой ИТП обслуживает большие здания или многоквартирные дома. Мощность такого теплового пункта находится в пределах от 50 кВт до 2 МВт. Следует также отметить некоторые преимущества ИТП: высокая экономичность; бесшумная работа; компактность; процесс работы полностью автоматизирован. После нескольких лет эксплуатации ИТП, современное оборудование потребляет на 30 % меньше тепловой энергии в отличие от других неавтоматизированных процессов, затраты при эксплуатации снизились примерно на 40–60 %. Также индивидуальный тепловой пункт может использоваться в малогабаритном помещении. Основное преимущество индивидуального теплового пункта над закрытой системой центрального теплоснабжения состоит в том, что в случае отказа ИТП только одно или несколько зданий (домов) лишаются горячего водоснабжения, тогда как в случае аварии на ЦТП горячее водоснабжение будет отсутствовать у целого района. ИТП имеет ограниченные возможности в отпуске теплоты, в сравнении с ЦТП [3].

Окончательный вывод по вопросу отказа от центрального теплоснабжения и перехода на индивидуальные (крышные, квартальные) котельные может быть сделан только на основе сравнительного детального анализа, где будет видно, что выгоднее по себестоимости тепла с учётом того, как это повлияет на экономичность теплоэлектростанции.

Источники

1. «Альтернативная котельная и новые правила утверждения тарифов на теплоснабжение» [Электронный ресурс]. URL: https://www.energo-konsultant.ru/sovets/teplosnabgenie/rascheti_za_teplo/alternativnaya_kotel'naya (дата обращения: 27.09.2019).

2. Пивоваров В. Закрытая система центрального теплоснабжения [Электронный ресурс]. URL: <http://fb.ru/article/322311/zakryitaya-i-otkryitaya-sistema-teplosnabjeniya-osobennosti-nedostatki-i-preimuschestva> (дата обращения: 27.09.2019).

3. Пруцакова О. Тепловой пункт индивидуальный (ИТП): схема, принцип работы, эксплуатация [Электронный ресурс]. URL: <http://fb.ru/article/204804/teplovoy-punkt-individualnyiy-itp-shema-printsip-raboty-i-ekspluatatsiya> (дата обращения: 27.09.2019).

Секция 4. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 620.1.08

АНАЛИЗ БЮДЖЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КАЛИБРОВКЕ СЧЕТЧИКОВ ГАЗА

Авилов Алексей Васильевич¹, Авилова Наталья Васильевна²,
Колесников Александр Васильевич³

^{1,2}ФГБОУ ВО «ДГТУ», г. Ростов-на-Дону

³ФБУ «Ростовский ЦСМ», г. Ростов-на-Дону

¹av100982@rambler.ru, ²av170556@rambler.ru, ³alexanderr161@mail.ru

В статье предложены результаты анализа бюджета неопределенности при калибровке ротационного счетчика газа RVG G1000 с диапазонами расходом (80–1600 м³/ч) и расширенной неопределенностью не более 3 %. Представлена методика калибровки, проведены оценки систематической погрешности, стандартной неопределенности, суммарной стандартной неопределенности, расширенной стандартной неопределенности.

Ключевые слова: систематическая погрешность, бюджет неопределенности, калибровка, счетчик газа.

BUDGET ANALYSIS OF MEASUREMENT UNCERTAINTY IN THE CALIBRATION OF GAS METERS

Avilov Alexey Vasilyevich, Avilova Natalia Vasilyevna, Kolesnikov Alexander Vasilyevich

The article presents the results of the analysis of the uncertainty budget in the calibration of the rotary gas meter RVG G1000 with flow ranges (80–1600 m³/h) and an extended uncertainty of not more than 3 %. The method of calibration is presented, the estimation of systematic error, standard uncertainty, total standard uncertainty, extended standard uncertainty is carried out.

Keywords: systematic error, uncertainty budget, calibration, gas meter.

Основной целью калибровки счетчиков газа является подтверждение возможности воспроизведения единицы величины в пределах допустимых отклонений и установление пригодности использования данного оборудования в соответствии с его назначением [1, 2].

Калибровка счетчиков газа производится с помощью эталонной установки соплового типа методом сравнения. В качестве эталона в составе установки находятся эталонные критические сопла. Схема калибровки

приведена на рисунке. Погрешность отсчета калибруемого счетчика $\Delta_c = 0,0005 \text{ м}^3$. Анализ бюджета неопределенности при калибровке счетчиков газа проведен в соответствии с [3, 4].

Калибровка производится при трех значениях расхода, соответственно равных Q_{\min} , $0,1Q_{\max}$ и Q_{\max} . Точность задания калибровочных расходов не должна превышать $\pm 10\%$ при расходе Q_{\max} , плюс 10% при расходах Q_{\min} и $0,1Q_{\max}$.

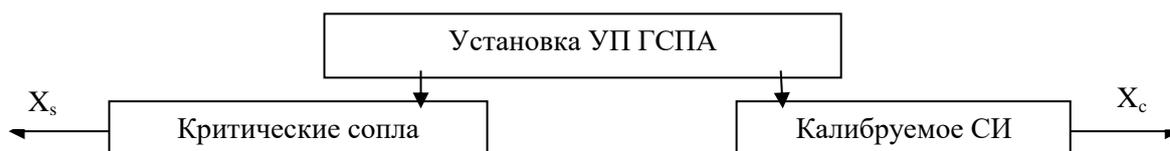


Схема калибровки на сопловой установке счетчиков газа

Для анализа бюджета неопределенности выбран счетчик газа ротационный RVG G1000 с диапазонами расходом (80–1600 $\text{м}^3/\text{ч}$) и расширенной неопределенностью не более 3% .

Анализ результатов измерения объема газа при $Q_{\min} = 80 \text{ м}^3/\text{ч}$, значения измеренного объема указаны в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерения объема газа при Q_{\min}

n	$V_{ci}, \text{м}^3/\text{ч}$	$V_{si}, \text{м}^3/\text{ч}$	$\Delta_i, \%$	C_{ci}	C_{si}
1	6,509	6,501	0,115	0,4724277	-0,4743191
2	6,508	6,500	0,115	0,4725729	-0,4744652
3	6,507	6,501	0,085	0,4727181	-0,4740279
4	6,510	6,500	0,146	0,4722826	-0,4747565
5	6,508	6,500	0,115	0,4725729	-0,4744652
$\sum_{i=1}^n C_{ci}^2 = 1,1163516; \sum_{i=1}^n C_{si}^2 = 1,12530914$					

Модельное уравнение (оценка систематической погрешности) для этого случая калибровки имеет вид:

$$\Delta = \left[(V_c - \Delta_c) - V_s \right] 100\% / V_s,$$

где V_c – объем газа, измеренный калибруемым счетчиком газа; V_s – объем газа, измеренный эталонной установкой; Δ_c – поправка на погрешность отсчета калибруемого счетчика.

При многократных измерениях оценка систематической погрешности калибруемого счетчика будет равна:

$$\bar{\Delta} = \left\{ \sum_{i=1}^n [(V_c - \Delta_c) - V_s] 100\% / V_s \right\} / n =$$

$$(0,115 + 0,115 + 0,085 + 0,146 + 0,115) / 5 = 0,115\% .$$

Стандартная неопределенность, связанная с наблюдаемой изменчивостью показаний калибруемого и эталонного ИП, оцениваемая по типу А при выполнении многократных измерений:

$$u_A(\bar{\Delta}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2 / [n(n-1)]} =$$

$$= \sqrt{(0 + 0 + (0,085 - 0,115)^2 + (0,146 - 0,115)^2 + 0) / 20} = 0,00972\% . \quad (3)$$

Стандартная неопределенность отсчета калибруемого счетчика, в предположении о равномерном законе распределения, равная:

$$u_B(\Delta_{ci}) = d / 2\sqrt{3} = 0,0005 / 2\sqrt{3} = 0,000433, \quad (4)$$

где d – дискретность отсчета.

Стандартная неопределенность эталонного счетчика, полученная из значений расширенной неопределенности U_S и коэффициента охвата k_S , указанные в сертификате о калибровке на эталон:

$$u_B(V_{si}) = U_S / k_S = 0,2 / 2 = 0,1. \quad (5)$$

Суммарная стандартная неопределенность измерения калибруемого счетчика равна:

$$u_c(\Delta) = \sqrt{u_A^2(\bar{\Delta}) + \sum_{i=1}^n C_{Ci}^2 u_B^2(\Delta_{Ci}) + \sum_{i=1}^n C_{Si}^2 u_B^2(V_{Si})} =$$

$$\sqrt{0,00973^2 + 1,1163516^2 \cdot 0,000433^2 \cdot 0,1^2} = 0,1065271. \quad (6)$$

где $C_{Ci} = \partial \bar{\Delta} / \partial V_{ci}$; $C_{Si} = \partial \bar{\Delta} / \partial V_{si}$.

Эффективное число степеней свободы V_{eff} будет равно:

$$V_{eff} = u_C^4(\Delta) / \left[u_A^4(\bar{\Delta}) / (n-1) \right] =$$

$$= 0,1065271^4 / (0,00973^4 / 4) = 57420,34266. \quad (7)$$

Коэффициент K при вероятности $P = 0,95$ будет равен: $K = 1,96$.
Относительная расширенная неопределенность при $P = 0,95$ будет равна:

$$U = u_C(\Delta) \cdot K = 0,1065271 \cdot 1,96 = 0,20879\%. \quad (8)$$

Анализ результатов измерения объема газа при $Q_{\min} = 160 \text{ м}^3/\text{ч}$, значения измеренного объема указаны в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерения объема газа при $0,1 Q_{\max}$

n	$V_{ci} \text{ (м}^3/\text{ч)}$	$V_{si} \text{ (м}^3/\text{ч)}$	$\Delta_i, \%$	C_{ci}	C_{s1}
1	12,160	12,000	0,492	0,13531390	-0,1379461
2	12,180	12,000	0,657	0,13486980	-0,1383977
3	12,160	12,000	0,492	0,01353139	-0,1379461
4	12,190	12,000	0,740	0,13464870	-0,1386235
5	12,150	12,000	0,409	0,13553670	-0,1377203

$$\bar{\Delta} = 0,558\%; \quad u_A(\bar{\Delta}) = 0,0607; \quad u_B(\Delta_{ci}) = 0,000433;$$

$$u_B(V_{si}) = 0,1; \quad \sum_{i=1}^n \cdot C_{si}^2 = 0,0953956; \quad u_C(\Delta) = 0,068134;$$

$$V_{eff} = 6,336802; \quad U = 0,16672\%.$$

Анализ результатов измерения объема газа при $Q_{\max} = 1600 \text{ м}^3/\text{ч}$, значения измеренного объема указаны в табл. 3.

Таблица 3

Результаты измерения объема газа при Q_{\max}

n	$V_{ci} \text{ (м}^3/\text{ч)}$	$V_{si} \text{ (м}^3/\text{ч)}$	$\Delta_i, \%$	C_{ci}	C_{s1}
1	132,000	130,000	1,538	0,0011479	-0,00122
2	134,000	130,000	3,077	0,0011139	-0,001256
3	135,000	130,000	3,846	0,0010974	-0,001274
4	133,000	130,000	2,307	0,0011307	-0,001238
5	130,000	130,000	0	0,0011835	-0,001183

$$\bar{\Delta} = 2,153\%; \quad u_A(\bar{\Delta}) = 0,662; \quad u_B(\Delta_{ci}) = 0,000433; \quad u_B(V_{si}) = 0,1;$$

$$\sum_{i=1}^n \cdot C_{ci}^2 = 0,0000064; \quad \sum_{i=1}^n \cdot C_{si}^2 = 0,0000076; \quad u_C(\Delta) = 0,81346;$$

$$V_{eff} = 9,1351372; \quad U = 1,84017\%.$$

Таким образом, расширенная неопределенность измерений при калибровке счетчиков газа не превышает 3 %. Счетчик газа признан годным для дальнейшей эксплуатации.

Источники

1. ПР 50.2.016-94. Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к выполнению калибровочных работ [Электронный ресурс]: приняты Постановлением Госстандарта России от 21 сентября 1994 г. № 17. URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4294845/4294845141.htm> (дата обращения: 17.09.2019).

2. Р РСК 002-06. Основные требования к методикам калибровки, применяемым в Российской системе калибровки. М., 2006. 20 с.

3. ГОСТ Р 54500.1-2011. Неопределенность измерений. Введение в руководства по неопределенности. М.: Стандартинформ, 2012. 18 с.

2. ГОСТ Р 54500.3-2011 Неопределенность измерений. Руководство по выражению неопределенности измерения. М.: Стандартинформ, 2012. 98 с.

УДК 378

ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПОДГОТОВКИ ЛИНЕЙНЫХ ИНЖЕНЕРОВ С ТВОРЧЕСКИМ СТИЛЕМ МЫШЛЕНИЯ

Ахметгареев Ринат Ахатович¹, Ахметгареева Розалия Калимулловна²

ФГБОУ ВО «КазГАСУ», г. Казань

¹rinat.axmetgareev@yandex.ru, ²rozateacher@mail.ru

В статье рассматривается педагогический аспект проблемы подготовки инженерного персонала с творческим стилем мышления. Выделяется, что подготовка научно-технических и инженерных кадров становится важнейшим фактором социально-экономического развития страны. Подчеркивается, что сегодня определяющая роль в процессе производства принадлежит сотрудникам, которых называют «линейный персонал».

Ключевые слова: линейный инженер, процесс формирования творческого стиля мышления, творческая личность.

PEDAGOGICAL ASPECT OF TRAINING LINE ENGINEERS WITH A CREATIVE THINKING STYLE

Akhmetgareyev Rinat Akhatovich, Akhmetgareyeva Rozaliya Kalimullova

The article deals with the pedagogical aspect of the problem of training engineering personnel with a creative thinking style. It is highlighted that the training of scientific, technical and engineering personnel is becoming an important factor in the social and economic development of the country. It is emphasized that in this present time the defining role in the production process belongs to employees, who are called "line personnel".

Keywords: line engineer, the process of formation of creative thinking, creative personality.

В августе 2019 г. в г. Казани был успешно проведен чемпионат мира по профессиональному мастерству WorldSkills. В составе других государств мы большое внимание уделяем популяризации рабочих профессий среди молодых специалистов. Движение WorldSkills Russia охватывает все регионы страны и является одним из приоритетных проектов в сфере подготовки кадров. Наше государство с мая 2012 г. входит в состав движения WorldSkills International.

Подготовка научно-технических и инженерных кадров становится важнейшим фактором социально-экономического развития страны. Большая роль в процессе любого производства принадлежит сотрудникам, которых называют «линейный персонал» (это персонал, обладающий недостаточной квалификацией). Данная категория сотрудников организации выполняет важную часть производственной или хозяйственной деятельности, которая становится основанием для осуществления трудовой функции других работников.

Приведем небольшой пример. В центре г. Казани в начале 2019 г. был запущен в эксплуатацию современный многоуровневый паркинг для легковых автомобилей. Паркинг рассчитан для стоянки более 800 автомобилей, этот объект оснащен в инженерном отношении современным инженерным оборудованием. Для полноценной и безопасной эксплуатации данного паркинга предусмотрены следующие основные инженерные системы: система автоматической пожарной сигнализации, система контроля загазованности, система контроля и управления доступом, система автоматизации управления водяного пожаротушения, система автоматики общеобменной вентиляции и автоматики противодымной вентиляции и т. д. Можно добавить оборудование «паркоматов» и зарядных

терминалов для электрокаров, лифтовое хозяйство и т. д. Конечно, для грамотной и безопасной эксплуатации всего перечня инженерного оборудования необходим линейный инженерный персонал с набором базовых инженерных компетенций. Необходим персонал, способный грамотно эксплуатировать и выполнять регламентные работы, готовый решать в чрезвычайных ситуациях самые различные задачи. Подбор и прием на работу на такие сложнейшие в инженерном отношении объекты инженеров с творческим стилем мышления является сегодня не простой задачей.

Образовательные результаты и приоритеты в этой ситуации смещаются от достижения прочных знаний, умений и навыков к совокупности компетенций, способностей, позволяющих успешно адаптироваться в динамичном мире. Происходит перенос центра внимания на самого человека и его роли в изменении внешних условий развития.

Мы солидарны с мнением ряда исследователей, таких как А.А. Кирсанов, В.В. Кондратьев, В.Г. Иванов, П.Н. Осипов, Р.Х. Шакуров, подтверждающих, что основная особенность такого стиля мышления как интеллектуальной системы – умение анализировать любые проблемы, устанавливать системные связи, выявлять противоречия, находить для них решения на уровне идеальных, прогнозировать возможные варианты развития таких решений и т. д.

Ориентирование современной педагогики на формирование у студентов качеств творческой личности меняет формы и принципы педагогической деятельности. Ключевая фигура образовательного процесса – преподаватель. Именно то, что происходит в аудитории, придает смысл всей деятельности системы образования. Преподаватель должен не учить, т. е. передавать знания, а помогать учиться и развиваться, быть не источником информации, а организатором мыследеятельности. Обучение творческому мышлению, или формирование культуры мышления, непосредственно в образовательном процессе будет происходить тогда, когда учебный материал будет вводиться не как описательный, а как содержащий реальную проблему; но при этом необходима методология решения проблем. Важнейшим моментом такого учебного процесса станет переход от преимущественно неререфлективного к осознанному овладению и владению мыслительными приемами и операциями [1, 2, 4].

Таким образом, подготовка в реальных условиях «линейных» инженеров является своевременной и важной задачей. Творческое мышление как познавательная деятельность развивается в процессе преодоления

ценностных и системы познавательных барьеров. Для подготовки инженерного персонала наиболее продуктивным является «метод проектов». Проект как проблема представляет собой реальную ситуацию творчества.

Источники

1. Иванов В.Г. Проектирование содержания профессионально-педагогической подготовки преподавателя высшей технической школы. Казань: Карпол, 1997. 258 с.
2. Ильясов И.И., Галатенко Н.А. Проектирование курса обучения по учебной дисциплине: пособие для преподавателей. М.: Логос, 1994. 205 с.
3. Основы инженерной педагогики / А.А. Кирсанов [и др.]. М.: МАДИ (ГТУ); Казань: КГТУ, 2007. 498 с.
4. Образовательная среда вуза как ресурс научного и профессионально-педагогического развития преподавателя / У.А. Казакова [и др.] // Мир образования – образование в мире. 2016. № 1. С. 136–140.
5. Кондратьев В.В. Методология науки и высшего профессионального образования. Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2003. 277 с.
6. Осипов П.Н., Зиятдинова Ю.Н. Интернализация инженерного образования как многоаспектный феномен // Образование и саморазвитие. 2015. № 3. С. 190–197.
7. Шакуров Р.Х. Личность: психогенез, воспитание. Казань: Центр инновационных технологий, 2003. 303 с.

УДК 004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

Галиуллина Эльмира Рамилевна, Зарипова Римма Солтановна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
zarim@rambler.ru

Данная статья посвящена вопросу исследования внедрения имитационного моделирования как основного методологического подхода к повышению качества энергетического образования, рассматриваются различные варианты и способы использования средств моделирования и имитационного моделирования.

Ключевые слова: образование, моделирование, инструменты, модель, обучение, новые явления, сценарии, управление.

MODELING AS A TOOL FOR IMPROVING EDUCATION QUALITY

Galiullina Elmira Ramilevna, Zaripova Rimma Soltanovna

This article is devoted to the study of the implementation of simulation as the main methodological approach to improving the quality of energy education; various options and ways of using modeling tools and simulation are considered.

Keywords: education, modeling, tools, model, training, new phenomena, scenarios, management.

В последнее время энергетическому образованию уделяется большое внимание в связи с реструктуризацией отрасли ЖКХ. Этот процесс привел к значительной текучести рабочей силы, в результате чего многие специалисты либо сменили работу, либо вышли на пенсию. Традиционная философия занятости, удерживающая квалифицированную рабочую силу на одном и том же рабочем месте как можно дольше, изменилась, и требуются новые работники. Это вызвало новый интерес к выпускникам с разносторонним опытом. Следовательно, подходы к обучению традиционным темам электроэнергетики должны быть пересмотрены, чтобы убедиться, что новые выпускники обладают требуемыми знаниями, необходимыми в более конкурентоспособной отрасли [1].

Использование моделирования и имитационного моделирования в энергетическом образовании не является новым понятием. Был опубликован ряд отличных учебных работ по этой теме. Например, они варьируются от акцентирования внимания на разработке тренажеров для обучения операторов до мощных графических интерфейсов и специализированных решений для изучения конкретных тем [2]. В большинстве документов упор делался на разработку либо индивидуальных пакетов, либо на принятие какого-либо традиционного решения. Каждый из инструментов моделирования или проектирования разрабатывается, или выбирается для решения конкретной учебной задачи и наилучшим образом соответствует потребностям обучения.

Моделирование и проектирование всегда были полезны в преподавании любой темы энергосистемы, когда:

а) сложные физические взаимодействия, описываемые различными математическими формулировками, должны быть объяснены всеобъемлющим образом;

б) необходимо было разработать подход, учитывающий различные аспекты отношений «затраты–выпуск»;

в) дальнейшее понимание физических явлений стало возможным благодаря новым открытиям в области моделирования;

г) имеются соответствующие и простые в использовании вычислительные средства.

Однако устоявшиеся системные концепции и способ их формулирования часто были слишком сложными для объяснения с помощью простых моделей, которые учащиеся могли бы быстро понять, а инструменты не были достаточно гибкими, чтобы рассматривать различные уровни сложности. Исследования чувствительности было нелегко реализовать без данных из реальных сценариев использования, которые трудно получить, и программы часто не могли быть манипулированы для расчета этих чувствительностей. Адекватное моделирование не всегда было доступно в общей литературе для некоторых физических явлений, устройств, контроллеров, которые в то время не были адекватно представлены в инструментах моделирования [3]. Меньший уровень детализации (например, более устойчивое состояние, чем динамическое) должен был быть достаточным. Доступность инструментов была ограничена, и часто это были либо довольно простые индивидуальные инструменты, либо довольно сложные коммерческие инструменты, не соответствующие потребностям класса.

Современное состояние моделирования и проектирования продвинулось далеко вперед за последние 20 лет, в результате чего появилась возможность быстрее разрабатывать соответствующие инструменты, что позволяет настраивать их в соответствии с потребностями класса. Наиболее полезными инструментами были мета-языки, такие как Matlab и простая в использовании графика [4]. Дальнейшее развитие математических формулировок сделало моделирование и имитационное моделирование гораздо более эффективным и желательным. Сложность увеличилась, но моделирование и проектирование продвинулись, чтобы помочь сделать обучение более эффективным, находя способы разрушения сложности через соответствующие модули и их взаимодействия. Служебные данные для реальных сценариев стали более доступными в то время, как программы могут быть легко и быстро разработаны, настроены для объяснения некоторых сложных явлений с использованием таких больших наборов данных. Был достигнут дальнейший прогресс в изучении моделей, приведенных в открытой литературе, таким образом, многие явления, отличные от потока мощности и стабильности, могут быть легко проиллюстрированы (например, различные динамические режимы, которые затем могут использоваться для тестирования различных типов управления) [4]. Эти более передовые технологии для разработки средств моделирования и проектирования очень хорошо зарекомендовали себя для улучшения преподавания и изучения явлений энергосистемы.

Источники

1. Зарипова Р.С., Пырнова О.А. Особенности и тенденции развития современного инженерного образования // Современные исследования социальных проблем. 2018. Т. 9, № 8-2. С. 43–46.
2. Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Обучение компьютерному моделированию с использованием интерактивных сред // International Journal of Advanced Studies in Education and Sociology. 2019. № 1. С. 56–59.
3. Антипова Т.С., Зарипова Р.С. Компьютерное моделирование цифровых приборов // Состояние и перспективы развития ИТ-образования: сб. докл. и науч. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2018. С. 193–198.
4. Кривоногова А.Е., Зарипова Р.С. Современные информационные технологии и их применение в сфере образования // Russian Journal of Education and Psychology. 2019. Т. 10, № 5. С. 44–47.
5. Байнов А.М., Зарипова Р.С. Робототехника и компьютерное моделирование: задачи и перспективы применения // International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. 2018. № 2. С. 4–7.
6. Зарипова Р.С., Залялова Г.Р. Современные тенденции подготовки инженеров // Нефтегазовый комплекс: проблемы и инновации: тез. II науч.-практ. конф. с междунар. уч. Саратов, 2017. С. 42.
7. Антипова Т.С., Зарипова Р.С. Применение программных комплексов трехмерного моделирования // Сб. ст. XX Всерос. студ. науч.-практ. конф. Нижневартковского государственного университета. Нижневартовск, 2018. С. 278–280.
8. Галиуллина Э.Р., Зарипова Р.С. Тенденции современного образования технических специалистов // Состояние и перспективы развития ИТ-образования: сб. докл. и науч. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2018. С. 304–307.

УДК 378.147

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОПРИВОД В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ»

Львова Татьяна Николаевна¹, Кузнецов Борис Васильевич²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹tn.lvova@yandex.ru, ²kuznetsov_b@rambler.ru

Рассмотрены результаты применения интерактивных методов обучения на примере дисциплины «Электропривод в современных технологиях». Отмечено, что в условиях интерактивного обучения у студентов наблюдается повышение

точности восприятия, мыслительной работоспособности, происходит интенсивное развитие интеллектуальных и эмоциональных свойств личности: устойчивости внимания, наблюдательности, способности анализировать и подводить итоги.

Ключевые слова: методы обучения, интерактивные методы, работа в малых группах, выступление-вдвоем.

APPLICATION OF INTERACTIVE TEACHING METHODS ON THE EXAMPLE OF THE DISCIPLINE “ELECTRIC DRIVE IN MODERN TECHNOLOGIES”

Lvova Tatiana Nikolaevna, Kuznetsov Boris Vasilyevich

The results of application of interactive methods of teaching on the example of the discipline “Electric drive in modern technologies” are considered. It is noted that in the conditions of interactive learning, students have an increase in the accuracy of perception, mental performance. there is an intensive development of intellectual and emotional properties of personality: stability of attention, observation, ability to analyze and summarize.

Keywords: teaching methods, interactive methods, work in small groups, performance-together.

Согласно исследованиям, использование интерактивных методов является самым эффективным способом обучения, позволяющим оптимально усваивать новый и закреплять изученный материалы. Кроме того, интерактивное обучение способствует развитию коммуникативных умений и навыков обучающихся, помогает установлению эмоциональных контактов между ними, активизирует работу в команде и расширяет спектр образовательных возможностей.

В рамках дисциплины «Электропривод в современных технологиях» подбор тем производился в соответствии с учебной программой дисциплины с учетом темы выпускной квалификационной работы студента. Четко определялись временные рамки проведения занятия, регламент выступлений с использованием презентационного материала, содержащего схемы, рисунки, чертежи, видео.

При составлении заданий использовались такие интерактивные методы обучения как:

– работа в малых группах (2–3 человека), дающая возможность всем обучающимся участвовать в работе группы, практиковать навыки сотрудничества, межличностного общения, разрешать возникающие разногласия;

– выступление вдвоем, позволяющее распределить учебный материал проблемного содержания в диалогическом общении двух докладчиков, при этом профессиональные дискуссии как бы разворачиваются между

разными специалистами, например, теоретиком и практиком, сторонником и противником определённой концепции. Этот вид выступлений заставляет студентов активно включаться в мыслительный процесс, сравнивать разные точки зрения и свой выбор;

– мини-лекция – одна из эффективных форм преподнесения теоретического материала, излагаемого на доступном для обучающихся языке, при этом каждому термину обязательно дается определение со ссылкой на авторитетных авторов и источники. По окончании выступления происходит обсуждение возникших вопросов, а также способы использования полученной информации на практике.

После окончания выступления каждого докладчика проводилось обсуждение возникших вопросов, а также способов использования полученной информации на практике и в выпускных квалификационных работах. Кроме того, каждый докладчик получил возможность задать подготовленные им заранее вопросы по теме своего выступления в виде тестовых заданий с различными вариантами ответов (от трех до пяти ответов) и оценить ответы слушателей на них по пятибалльной шкале.

После завершения выступлений всех докладчиков было проведено обсуждение результатов выполненной работы и подведение итогов. Преподавателем совместно с обучающимися были отмечены лучшие доклады и докладчики, наиболее удачно подобранный иллюстративный материал. Выделены самые запоминающиеся из приведенных обучающимися примеры. Отмечены работы с наиболее удачным оформлением представленных презентаций. Уделено внимание лучшим вопросам и наиболее точным ответам. Также были озвучены замеченные недостатки и рассмотрены различные возможности их устранения как относительно самих выступлений, так и способов оформления и представления текстового и иллюстративного материала.

Обучающиеся получили навыки подготовки текстового и иллюстративного материала, выступления перед аудиторией, формулировки вопросов в виде тестовых заданий как открытого, так и закрытого типа. Приобрели навыки умения внимательно слушать выступление коллег, выделять из полученной информации главное, корректно задавать вопросы и четко формулировать ответы. Научились грамотно составлять тестовые задания различного типа и предлагать различные варианты ответов на них. Было установлено, что подобная форма проведения учебного занятия способствует лучшему усвоению изучаемого материала. Кроме того, опыт показал, что предоставленная обучающимся возможность объективно оценивать ответы коллег на основе глубокого анализа полученной информации позволяет развивать навыки обучающихся и в области педагогики.

Источники

1. Привалова Г.Ф. Активные и интерактивные методы обучения как фактор совершенствования учебно-познавательного процесса в ВУЗе [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13161> (дата обращения: 27.10.2019).

2. Панина Т.С., Вавилова Л.Н. Современные способы активизации обучения: учеб. пособие / под ред. Т.С. Паниной. 4-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 176 с.

3. Новиков В.А., Савва С.В., Татаринцев Н.И. Электропривод в современных технологиях. М.: Академия, 2014. 400 с.

УДК 378:004

ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ

Пырнова Ольга Александровна, Зарипова Римма Солтановна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
zarim@rambler.ru

Данная статья посвящена применению искусственного интеллекта в образовательной среде. Рассматриваются новейшие технологии, которые уже играют огромную роль как для преподавателей, так и для обучающихся. Также затрагивается тема будущего искусственного интеллекта в образовании.

Ключевые слова: информационные технологии, искусственный интеллект, образование, информация, трансформация.

PROSPECTS FOR DIGITAL TRANSFORMATION OF EDUCATION

Pirnova Olga Aleksandrovna, Zaripova Rimma Soltanovna

This article is devoted to the use of artificial intelligence in the educational environment. The latest technologies that are already playing a huge role for both teachers and students are considered. The topic of the future artificial intelligence in education is also addressed.

Keywords: information technology, artificial intelligence, education, information, transformation.

Традиционная система образования далека от современных технологий, а потребность в них обучающихся и профессионалов высока. По мере развития информационных технологий вмешательство искусственного интеллекта в процесс обучения может стать более активным. Но сможет ли искусственный интеллект полностью заменить учителя-человека?

В настоящее время существует много программ искусственного интеллекта, помогающие в образовании, благодаря которым студенты, школьники и учителя получают огромную пользу. Огромным преимуществом является то, что образовательная платформа адаптируется в соответствии с потребностями студентов [1]. Система разработки программного обеспечения искусственного интеллекта помогает ученым работать над своими слабостями. В ходе процесса программа обнаруживает, где у ученика возникают трудности, и отправляет необходимые материалы для улучшения навыков [2]. Адаптивное обучение использует базовый алгоритм искусственного интеллекта. Кроме того, образование в любое удобное время несомненно является огромным плюсом для обучающегося. Сейчас уже известны такие программы, основанные на искусственном интеллекте. Рассмотрим их подробнее.

Автоматическая оценка – это специализированная компьютерная программа, основанная на искусственном интеллекте, которая имитирует поведение учителя, проставляющего оценки за эссе, написанные в образовательной среде. Она может оценивать знания студентов, анализировать их ответы, давать обратную связь и составлять индивидуальные планы обучения.

Промежуточный интервал обучения – программа, перепроверяющая те знания, которые обучающиеся возможно уже забыли. Суть его заключается в том, что искусственный интеллект отслеживает, что и когда студенты изучили. Благодаря этому, она способна выяснить ту информацию, что скорее всего студенты могли забыть, и рекомендовать повторить ее.

Для обратной связи с учителем используются чат боты с искусственным интеллектом. Они способны собирать мнения через диалоговый интерфейс, как настоящий интервьюер.

На данный момент уже существуют виртуальные помощники, которые способны отвечать точно и быстро на запросы студентов, благодаря встроенным в них компьютерам с искусственным интеллектом.

Чат Кампус – проект, способный помогать студентам, только что пришедшим в кампус освоиться. Чат Кампус всегда с радостью объяснит, как попасть в нужный кабинет, расскажет, как и куда подавать нужные документы.

Персонализированное обучение – это обучение, относящееся к разнообразным образовательным программам, в которых темп обучения и учебный подход оптимизированы для потребностей каждого учащегося. Опыт учитывает предпочтения в обучении и конкретные интересы разных учащихся [4]. Искусственный интеллект сможет подобрать нужный темп для учащихся для лучшего освоения программы.

Адаптивное обучение – обучение, предполагающее, что искусственный интеллект способен отслеживать прогресс каждого обучающегося, корректировать курс и информировать преподавателя о материале, который конкретному обучающемуся трудно понять.

Прокторинг – система, позволяющая следить за тестированием или экзаменом в онлайн-режиме. Дистанционное обучение обычно предполагает проведение дистанционных экзаменов. Однако необходимо проследить, чтобы студент написал данный ему экзамен самостоятельно. Для этого на помощь приходят системы защиты на базе искусственного интеллекта. Прокторинг дает возможность подтвердить личность тестируемого, а также наблюдать за его поведением и происходящим на его экране компьютера, чтобы убедиться, что он не списывает, не прибегает к помощи других людей, не ищет ответы в интернете.

Накопление данных и персонализация осуществляется следующим образом. Уже сейчас искусственный интеллект способен предлагать ближайшие кафе по интересам в зависимости от геолокации человека. Та же технология может быть применена и в обучении. Она основана на примерах только из той сферы, которая интересует пользователя [5].

Прогресс в области искусственного интеллекта и машинного обучения впечатляет, но это далеко не предел возможностей [6]. Существует огромное количество хороших идей, которые искусственный интеллект может реализовать. В целом, искусственный интеллект может значительно улучшить системы образования за счет его способности оптимизировать многие части работы учителя и автоматизировать другие части, в конечном итоге давая им все больше и больше времени, чтобы тратить его на своих учеников [7]. Несмотря на все достоинства искусственного интеллекта, роль учителя как человека, который оказывает эмоциональное и психологическое влияние на ученика и помогает ему полюбить свой предмет, незаменима и неоценима.

Источники

1. Зарипова Р.С., Пырнова О.А. Особенности и тенденции развития современного инженерного образования // Современные исследования социальных проблем. 2018. Т. 9, № 8-2. С. 43–46.

2. Зарипова Р.С., Бикеева Н.Г. Исследование влияния информационных технологий на формирование ценностных ориентаций современных студентов // Современные исследования социальных проблем. 2018. Т. 9, № 7-2. С. 110–113.

3. Кривоногова А.Е., Зарипова Р.С. Современные информационные технологии и их применение в сфере образования // Russian Journal of Education and Psychology. 2019. Т. 10, № 5. С. 44–47.

4. Галиуллина Э.Р., Зарипова Р.С. Цифровые игры как способ обучения // Учёные записки ИСГЗ. 2019. Т. 17, № 1. С. 126–129.

5. Зарипова Р.С., Шакиров А.А. Роль когнитивных технологий в современном образовании // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2018. № 1-2 (11-12). С. 63–65.

6. Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Интернет как средство обучения // International Journal of Advanced Studies in Education and Sociology. 2018. № 2. С. 41–44.

7. Зарипова Р.С., Залялова Г.Р. Современные тенденции подготовки инженеров // Нефтегазовый комплекс: проблемы и инновации: тез. II науч.-практ. конф. с междунар. участием. Саратов, 2017. С. 42.

УДК 378

ЦИФРОВЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Хамитова Динара Вилевна¹, Николаев Кирилл Валерьевич²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹orhidey-din@mail.ru, ²mr.nikolaev.2000@mail.ru

В статье рассматривается вопрос внедрения и использования цифровых образовательных технологий в учебном процессе дисциплины «Инженерное геометрическое моделирование».

Ключевые слова: инженерное геометрическое моделирование, цифровая экономика, электронный учебный курс.

DIGITAL EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN ENGINEERING GEOMETRICAL DESIGN

Khamitova Dinara Vilevna, Nikolaev Kirill Valeryevich

The article discusses the issue of introduction and use in the educational process of the discipline “Engineering geometric modeling” of digital educational technologies.

Keywords: engineering geometric modeling, digital economics, e-learning course.

В настоящее время востребованными становятся специалисты, способные быстро адаптироваться в новых социально-экономических условиях цифровой экономики. Работодатели заинтересованы в их компетентности, способности работать в группе, инициативности, умении справляться со сложными профессиональными ситуациями. Цель современного образования заключается в подготовке специалистов, востребованных на высокотехнологичных предприятиях, основанных на цифровых технологиях мирового уровня.

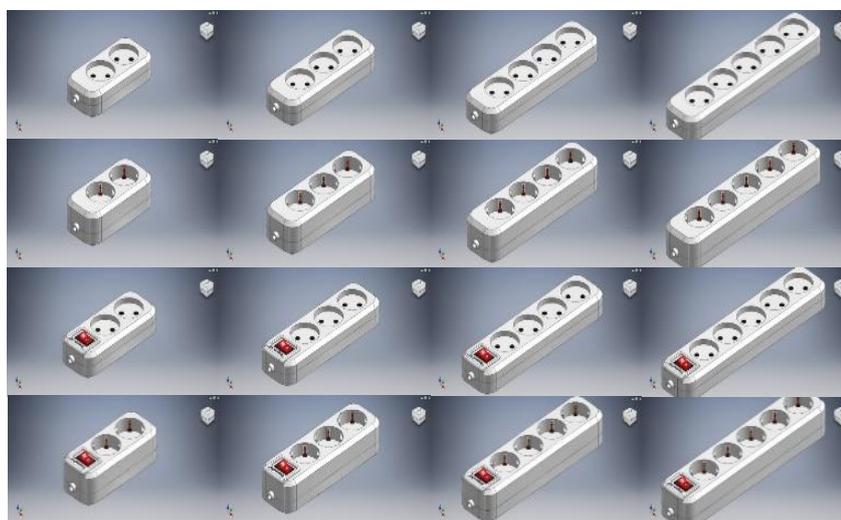
Одна из задач цифровых технологий заключается в создании и применении цифровых образовательных ресурсов, наиболее современных и эффективных, которые воспроизводятся на компьютере. В качестве цифровых образовательных ресурсов применяются представленные в цифровой форме видеофрагменты, статические и динамические модели, объекты виртуальной реальности и интерактивного моделирования, звукозаписи, символьные объекты и деловая графика, текстовые документы и иные учебные материалы, необходимые для организации учебного процесса.

На кафедре инженерной графики КГЭУ разработана и внедрена в учебный процесс дисциплина нового цифрового поколения «Инженерное геометрическое моделирование», спроектированная в соответствии с «системно-компетентностной» моделью (проф. В.А. Рукавишников) [1] подготовки специалистов в вузе. Данная дисциплина ориентирована на формирование первого уровня профессиональной проектно-конструкторской компетенции.

Дисциплина соответствует перспективным требованиям высокотехнологичных производств и адаптивна к постоянно меняющимся 3D-технологиям геометрического моделирования, отражает базовые требования ФГОС ВО нового поколения. Важным моментом в реализации новой дисциплины является использование последних версий программ в области автоматизированного проектирования, включая возможность их бесплатного применения для проведения занятий в компьютерных классах и установку на личные компьютеры. Все занятия проводятся с использованием мультимедийных средств. Компьютеры на кафедре оснащены последними версиями программного обеспечения таких компаний, как Autodesk (AutoCAD, Inventor), Siemens (SolidEdge).

С самых первых дней обучения студенты пользуются электронным учебным курсом «Инженерное геометрическое моделирование» на основе модульной объектно-ориентированной динамической учебной среды *LMS Moodle*, которая существует в нашем университете.

Электронный учебный курс состоит из разделов, в каждом из которых дана соответствующая информация по всем видам учебного процесса. Внедрение электронного учебного курса и использование его возможностей позволило значительно повысить эффективность работы преподавателя и студентов. Выполненные работы студенты пересылают преподавателю на проверку и для дальнейшего их хранения в архиве кафедры в электронном виде. В течение одного семестра количество участников, записавшихся на курс, достигает около 500 человек, включая студентов очной и заочной форм обучения. В ходе работы появляются новые идеи по эффективному использованию элементов курса. Основной упор делается на добавление в курс видеороликов, а также реализацию возможностей видео-уроков. Ежегодно на кафедре проводятся олимпиады, дающие возможность выявить перспективных студентов, которые впоследствии становятся победителями и призерами всероссийских и международных олимпиад. Создан «Центр инженерного цифрового проектирования», направленный на разработку 3D и 4D цифровых моделей на основе систем САПР(CAD); 3D-прототипирование и 3D-сканирование различных объектов энергетической отрасли (см. рисунок) [2].



Параметризация модификаций удлинителя

Развитие цифровых технологий меняет способы получения знаний, умений и формирования навыков. Наши основные направления работы по реализации ФГОС ВО – это активизация поведения и мышления учащихся, развитие интереса к предмету, вовлечение их в познавательный поиск, умение самостоятельно находить и перерабатывать информацию, развивать индивидуальные способности.

Источники

1. Рукавишников В.А., Хамитова Д.В., Уткин М.О. Цифровая экономика – новый базис профессионального образования // Актуальные задачи и пути их решения в области кадрового обеспечения электро- и теплоэнергетики: сб. тр. II Всерос. науч.-практ. конф. М., 2018. С. 53–54.
2. Николаев К.В., Хамитова Д.В. Использование параметризации в проектировании трехмерных электронных моделей // Всероссийский конкурс научных работ «Лобачевский – 2019»: сб. тез. Открытого конкурса науч. работ среди обучающихся на соискание премии им. Н.И. Лобачевского. Казань, 2019. С. 212–213.

Секция 5. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА НА ОБЪЕКТАХ ЖКХ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 621.313

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ ПО КОНСТРУКТИВНЫМ ОСОБЕННОСТЯМ

Мусина Алина Маратовна¹, Грачева Елена Ивановна², Горлов Алексей Николаевич³

^{1,2}ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

³ФГБОУ ВО «ЮЗГУ», г. Курск

¹miami00800@gmail.com, ²grachieva.i@bk.ru, ³alexjulia17@yandex.ru

В статье рассмотрены особенности критериальных требований по выбору аппаратов, классификация низковольтных коммутационных аппаратов по конструктивным особенностям.

Ключевые слова: коммутационный аппараты, электроснабжение, анализ, сопротивление.

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF LOW-VOLTAGE SWITCHING DEVICES BY CONSTRUCTION FEATURES

Musina Alina Maratovna, Gracheva Yelena Ivanovna, Gorlov Alexey Nikolaevich

The article discusses the features of the criterion requirements for the selection of devices, the classification of low-voltage switching devices by design features.

Keywords: switching devices, power supply, analysis, resistance.

Некоторые виды низковольтных коммутационных аппаратов, несмотря на кажущуюся простоту [1], представляют собой весьма сложную техническую систему, главным требованием к которой является нормальное функционирование в соответствии с конкретным назначением [2, 3]. Общее положение, определяющее функциональную пригодность аппарата, предполагает удовлетворение в процессе его эксплуатации заранее установленных и совершенно определенных критериальных требований [4, 5],

причем по содержанию и жесткости они могут сильно различаться в зависимости от типа аппарата, режимов и условий его эксплуатации. Так, в работах [6, 7] впервые представлен анализ эксплуатационных характеристик низковольтных аппаратов отечественных и зарубежных производителей.

Например, характерной особенностью автоматических выключателей является возможность длительного нахождения их контактов в замкнутом состоянии, к тому же в условиях действия агрессивных сред, влаги, повышенной температуры и т. д. А это обуславливает жесткие требования к стабильности и уровню переходного сопротивления контактных соединений. Для контакторов эти требования могут быть смягчены, поскольку при частой оперативной коммутации тока возможно периодическое обновление контактных поверхностей [8, 9]. Но в том и другом случае необходимо наличие информации о значении сопротивлений контактных соединений, поскольку из-за большой протяженности и разветвленности заводских сетей низкого напряжения с множеством последовательных узлов с контактными соединениями, доля сопротивлений последних в общем эквивалентном сопротивлении заводской сети достаточно высока. Поэтому при определении потерь ЭЭ в заводских сетях напряжением до 1000 В следует учитывать сопротивление контактной системы коммутационных аппаратов, что впервые обосновано в исследованиях [10–12]. Мощность, потребляемая собственно аппаратом при его функционировании и рассеиваемая в нем, должна быть минимальной [13].

Результаты экспериментальных исследований низковольтных коммутационных аппаратов, применяемых в цеховых сетях промышленного электроснабжения, впервые представленные в работе [14], показали, что по конструктивным особенностям аппараты можно разделить на следующие три группы:

– аппараты, имеющие кроме силовых контактов в силовой цепи добавочные элементы (датчики тепловых реле, катушки максимальных реле), такие как автоматические выключатели, магнитные пускатели, контакторы;

– аппараты, имеющие относительно большое сопротивление силовой цепи, такие как предохранители;

– аппараты, имеющие только переходное сопротивление контактов, такие как рубильники, пакетные выключатели.

Источники

1. Таев И.С. Электрические аппараты. М.: Энергия, 1977. 277 с.
2. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Энергия, 1973. 258 с.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 288 с.
4. Орлов В.С. Снижение электропотребления путем регулирования напряжения // Промышленная энергетика. 1991. № 4. С. 42–44.
5. Холодный С.Д. Методы испытаний и диагностики кабелей и проводов. М.: Энергоатомиздат, 1991. 200 с.
6. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс: учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988. 720 с.
7. Шагидуллина А.В., Грачева Е.И. Анализ параметров надежности автоматических выключателей российских и зарубежных производителей // Актуальные вопросы современной техники и технологии. 2010. С. 214–218.
8. Грачева Е.И., Наумов О.В. Оценка величины потерь электроэнергии в электрических сетях до 1000 В // Проблемы энергетики. 2003. № 1-2. С. 108–117.
9. Дзербичкии С. Испытания электрических аппаратов. М.: Энергия, 1977. 204 с.
10. Вешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Статистика, 1980. 263 с.
11. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С.Д. Волоб-ринский [и др.]. Л.: Энергия, 1970. 264 с.
12. Грачева Е.И., Золотарская М.Н. Вероятностное прогнозирование изменения сопротивления изоляции кабелей и проводов линий цеховых сетей // Проблемы энергетики. 2008. № 5-6. С. 63–67.
13. Грачева Е.И., Сафин А.Р. Оптимизационные задачи электроэнергетики: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 120 с.
14. Грачева Е.И., Идиятуллин Р.Г. Применение R-оптимальных планов для исследования функциональных параметров систем электроснабжения промышленных предприятий // Повышение эффективности электрического хозяйства потребителей в условиях ресурсных ограничений: матер. докл. науч.-техн. конф. / под общ. ред. Б.И. Кудрина и Ю.В. Матюниной. М., 2009. С. 146–154.

ИММИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДЕМАГНЕТИЗАЦИИ

Гусев Олег Валерьевич
ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск
gusevov@yandex.ru

В статье предложена имитационная модель системы размагничивания (демагнетизации) на базе управляемого преобразователя, представляющего собой комбинацию виртуального инвертора напряжения с непосредственным управлением по методу широтно-импульсной модуляции, выполненную в среде Matlab/Simulink. Представлены результаты моделирования системы демагнетизации.

Ключевые слова: Simulink-модель, техническое размагничивание, силовые ключи, магнитное дутье.

SIMULATION OF DEMAGNETIZATION SYSTEM

Gusev Oleg Valeryevich

The article proposes a simulation model of a demagnetization (demagnetization) system based on a controlled converter, which is a combination of a virtual voltage inverter with direct control according to the pulse width modulation method, performed in a Matlab/Simulink medium. The results of simulation of the demagnetization system are presented.

Keywords: Simulink-model, technical demagnetization, power keys, magnetic blowing.

Остаточная намагниченность деталей, механизмов, стальных труб может оказывать негативное влияние при их эксплуатации. Например, остаточная намагниченность подшипников приводит к удерживанию ферромагнитных частиц (микрочастицы металла) на поверхностях трения, что приводит к увеличению их износа и уровню шума. При сварке труб и стальных конструкций не редко возникает эффект «магнитного дутья» [1] (отклонение сварной дуги), который не позволяет получить требуемое качество сварного шва. Причиной эффекта «магнитного дутья», опять же, является остаточная намагниченность, которая может возникать, например, из-за использования магнитных дефектоскопов, применяемых для диагностики состояния труб. Во всех случаях деталь или механизм подвергают процедуре технического размагничивания или демагнетизации. В результате анализа основных способов размагничивания [2] наиболее эффективным и наиболее приемлемым, в плане реализации, считается размагничивание при помощи воздействия на образец магнитного поля создаваемого током с плавно убывающей до нуля амплитудой

На данный момент, большинство систем демагнетизации используют фиксируемую частоту (часто, это частота промышленной сети 50 Гц), однако известно, что частота магнитного поля размагничивания зависит от магнитной проницаемости образца, а так влияет на толщину проникновения магнитного поля в детали [3].

На сегодняшний день большинство выпускаемых промышленностью полупроводниковых элементов (IGBT и MOSFET транзисторы, силовые тиристорные ключи, диоды и т.д.) по своим параметрам достаточно близки к идеальным ключевым элементам. Близость параметров макромодели к параметрам реального полупроводникового элемента позволяет говорить о высокой достоверности результатов моделирования в системе Simulink.

Формирование тока требуемой формы осуществляется преобразователем частоты, имитационная модель которого показана на рис. 1, которая представляет собой комбинацию из четырех MOSFET-транзисторов (рис. 2).

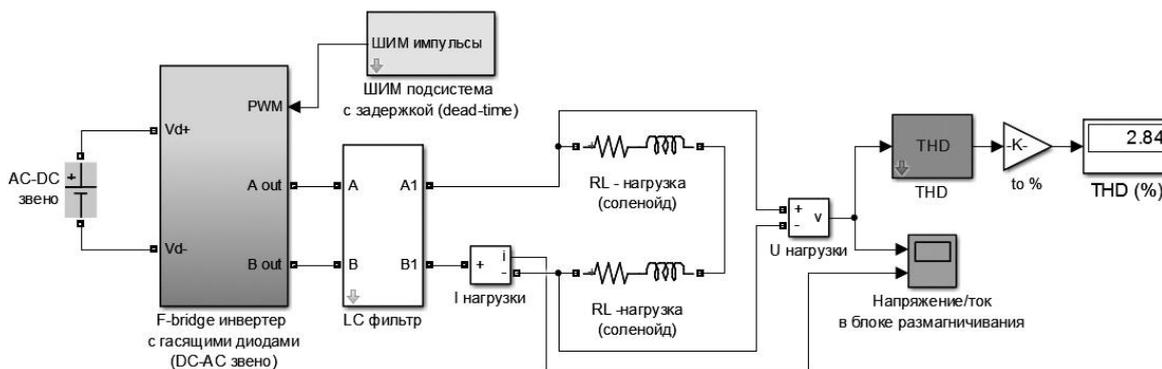


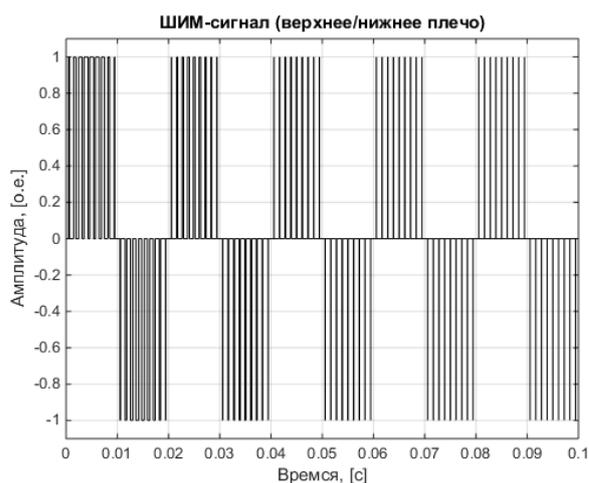
Рис. 1. Имитационная Simulink-модель силовой части демагнетизатора

Для снижения уровня высших гармоник, присутствующих на выходе блока задания частоты, его выходной сигнал сглаживался простейшим LC-фильтром, параметры которого рассчитываются исходя из выражения [4]:

$$\frac{X_L}{X_C} \geq \frac{34,2}{f_c^2}, \quad (1)$$

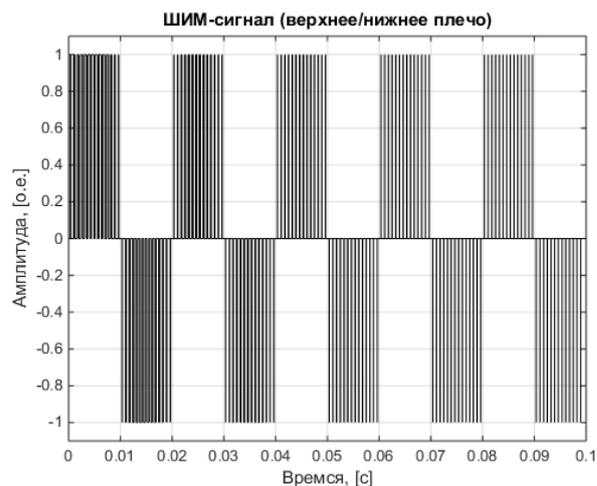
где X_L – индуктивное сопротивление фильтра; X_C – емкостное сопротивление фильтра; f_c – частота среза фильтра.

На рис. 2 представлены результаты имитационного моделирования, которые показывают формирование размагничивающего тока на выходе силовой части системы демагнетизации.



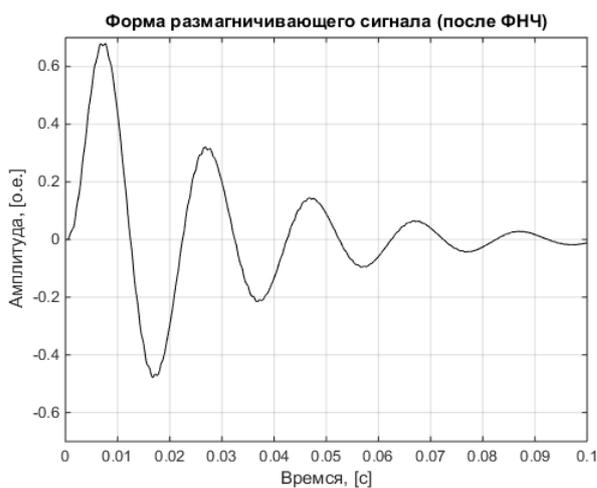
a

$$M_i = 0,8; f_{\text{ключей}} = 900 \text{ Гц}; f_0 = 40 \text{ Гц}$$



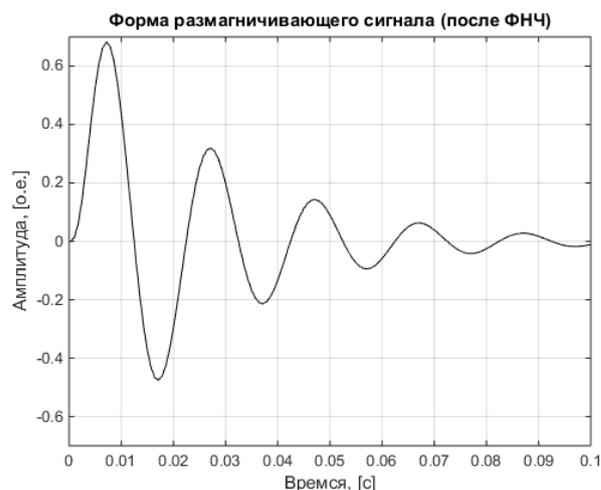
б

$$M_i = 0,8; f_{\text{ключей}} = 1400 \text{ Гц}; f_0 = 40 \text{ Гц}$$



в

$$M_i = 0,8; f_{\text{ключей}} = 900 \text{ Гц}; f_c = 100 \text{ Гц}$$



з

$$M_i = 0,8; f_{\text{ключей}} = 1400 \text{ Гц}; f_c = 100 \text{ Гц}$$

Рис. 2. Результаты моделирования управляющих импульсов силовой части системы размагничивания (*a, б*) и сигнал после прохождения импульсов через LC-фильтр (*в, з*)

Источники

1. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. М.: Машиностроение, 1970. 335 с.
2. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. М.: Изд-во стандартов, 1979. 18 с.
3. Щербинин В.Е., Горкунов Э.С. Магнитный контроль качества металлов: моногр. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 263 с.
4. Mohan N., Undeland T.M., Robbins W.P. Power Electronics: Converters, Applications, and Design. JohnWiley & Sons, Inc., New York, 1995. 824 p.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ВЫХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЛАЗЕРА В УСЛОВИЯХ ДЕФОРМАЦИИ ПЛОСКОГО ЗЕРКАЛА РЕЗОНАТОРА

Кесель Людмила Григорьевна¹, Ведерникова Ксения Олеговна²,

Смирнова Анна Сергеевна³, Терентьев Никита Дмитриевич⁴

КНИТУ-КАИ, г. Казань

¹bak1951@yandex.ru, ²vedernikova.k11@gmail.com, ³simpleplan259@gmail.com,

⁴terentev.nikita@mail.ru

Проведён анализ резонатора промышленного лазера в условиях деформации плоского зеркала. Определено влияние деформаций на основные параметры оптического резонатора и характеристики выходного излучения.

Ключевые слова: коаксиальный лазер, оптический резонатор, деформация плоского зеркала, малая конусность, характеристики выходного излучения.

EVALUATION OF OUTPUT RADIATION CHARACTERISTICS OF INDUSTRIAL LASER UNDER CONDITIONS OF DEFORMATION OF FLAT MIRROR OF RESONATOR

Kesel Lyudmila Grigorievna, Vedernikova Ksenia Olegovna,

Smirnova Anna Sergeevna, Terentyev Nikita Dmitrievich

The resonator of an industrial laser was analyzed under conditions of deformation of a flat mirror. The effect of deformations on the main parameters of the optical resonator and the characteristics of the output radiation are determined.

Keywords: coaxial laser, optical resonator, deformation of flat mirror, low taper, characteristics of output radiation.

Коаксиальные лазеры на современном этапе широко используются в различных отраслях промышленности для выполнения технологических операций. Данные лазеры достаточно активно изучаются как экспериментально, так и теоретически. Характерной особенностью коаксиальных лазеров является увеличение поперечных размеров резонатора (и активной среды) при сохранении продольных габаритов.

Преимущественными типами колебаний в указанных лазерах являются многоходовые типы, получившие название М-мод. [1]

В данной работе рассматривается коаксиальный CO₂ – лазер, резонатор которого образован асферическим и плоским зеркалами. Асферическое зеркало выполнено в виде осесимметричного коноида, образующая которого – дуга окружности. [2]

В условиях реальной эксплуатации плоское зеркало резонатора подвергается различного рода воздействиям окружающей среды (тепловые и механические деформации, деформации, обусловленные давлением атмосферы, если зеркало является выходным окном лазера и т. д.).

В работе проведён анализ указанного резонатора с деформированным плоским зеркалом (малая конусность). Плоское зеркало было заменено коническим зеркалом с углом конусности при вершине близким к 180° . На основе оптико-геометрического приближения был получен ход лучей в трёхмерной модели резонатора и определено условие самовоспроизводимости трасс многоходовых мод.

Результаты численного анализа показали, что деформация плоского зеркала (введение малой конусности) оказывает влияние практически на все параметры оптического резонатора и характеристики выходного излучения.

На рис. 1 приведена зависимость угла наклона выходных лучей ψ от радиуса кольца излучения на плоском зеркале R_k для различных длин резонатора L в случае деформации плоского зеркала на угол $\varepsilon = 0,3^\circ$.

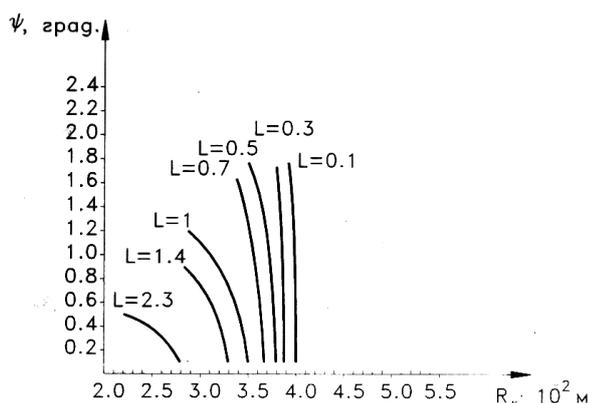


Рис. 1. Зависимость угла наклона выходных лучей ψ от радиуса кольца излучения на плоском зеркале R_k для различных длин резонатора L

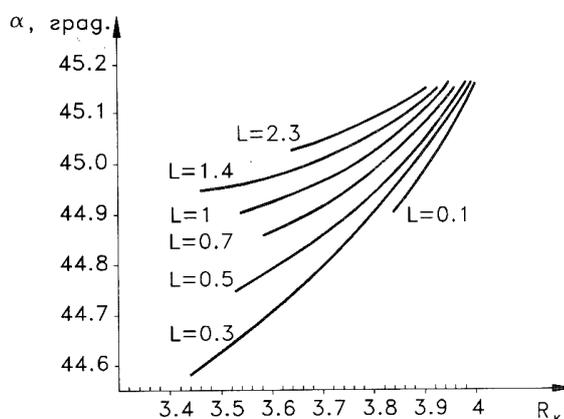


Рис. 2. Зависимость угла при вершине конуса асферического зеркала α от радиуса кольца излучения на плоском зеркале R_k для различных длин резонатора L

На рис. 2 приведена зависимость угла при вершине конуса асферического зеркала α от радиуса кольца излучения на плоском зеркале R_k для различных длин резонатора L в случае деформации плоского зеркала на угол $\varepsilon = -0,3^\circ$.

Из графиков, представленных на рис. 1 и 2 следует, что деформация плоского зеркала может привести к значительным изменениям диаметра кольца выходного излучения. Этот факт следует учитывать при выборе конструктивных параметров разрядной камеры лазера.

Полученные в работе результаты позволяют оценить влияние погрешностей изготовления зеркал и отклонений формы зеркала (малая конусность), обусловленных воздействием окружающей среды на характеристики выходного излучения. Кроме того, они позволяют выбрать конструктивные параметры резонатора для формирования заранее заданных типов колебаний.

Источники

1. Андреев Я.С., Кесель Л.Г. Приближённая трёхмерная модель резонатора лазера на М-модах // Новые технологии, материалы и оборудование Российской авиакосмической отрасли: матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. Казань, 2018. Т. 3. С. 25–27.

2. Терентьев Н.Д., Кесель Л.Г. Анализ основных характеристик резонатора для лазера с активной средой кольцевого сечения // Новые технологии, материалы и оборудование Российской авиакосмической отрасли: матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. Казань, Т. 3. С. 312–314.

УДК 628.971.6

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ ДЛЯ МАГИСТРАЛЕЙ

Садыков Марат Фердинантович¹, Иванов Дмитрий Алексеевич²,
Ярославский Данил Александрович³, Галиева Татьяна Геннадьевна⁴
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹sadykov@kgeu.ru, ²divanale@gmail.com, ³fbox52@gmail.com, ⁴79534929817@ya.ru

Задача «Повышение безопасности движения», решением которой обеспечивается достижение долгосрочной цели инновационного развития транспортного комплекса Российской Федерации на период до 2030 г. – повышение уровня безопасности транспортной системы, предусматривает повышение уровня обустройства

автомобильных дорог средствами, обеспечивающими безопасность движения. Такие меры в дорожном хозяйстве реализуются, в том числе мероприятиями по увеличению протяженности линий освещения автомобильных дорог. В работе предлагается внедрить в транспортную систему автоматическую систему управления наружным освещением, способную регулировать освещенность в зависимости от загруженности дороги, экономив тем самым на энергопотреблении.

Ключевые слова: наружное освещение, автоматическая система наружным освещением, транспортная система, энергоэффективность.

AUTOMATIC EXTERNAL LIGHTING CONTROL SYSTEM FOR HIGHWAYS

Sadykov Marat Ferdinantovich, Ivanov Dmitry Alekseevich,
Yaroslavsky Danil Aleksandrovich, Galieva Tatyana Gennadevna

The task of “Improving traffic safety”, which ensures the long-term goal of innovative development of transport complex of the Russian Federation for the period up to 2030 – improving the safety of the transport system, provides for improving the arrangement of roads means safety. Such measures are being implemented in the road sector, including measures to increase the length of road lighting lines. The paper proposes to introduce an automatic outdoor lighting control system into the transport system, which is able to adjust the illumination depending on the congestion of the road, thereby saving on energy consumption.

Keywords: outdoor lighting, automatic outdoor lighting system, transport system, energy efficiency.

В соответствии с Транспортной стратегией Российской Федерации на период до 2030 г. прирост протяженности линий электрического освещения автомобильных дорог федерального значения должен составить к 2024 году 4000 км, а к 2030 году – 4500 км. [1]. Таким образом, задача содержания наружного освещения на автомобильных дорогах федерального значения приобретает значимость и актуальность в связи со значительным приростом линий электроосвещения. Кроме того, при переходе к инновационному варианту развития транспортной системы необходимо обеспечить ее энергоэффективность. Несмотря на активное внедрение энергосберегающих источников света, расход электроэнергии на освещение остаётся значительным.

Автомобильные дороги делятся на три категории (А, Б, В), каждая категория делится на 2–4 класса [2]. Дороги относятся к тому или иному классу по нескольким критериям (число полос, расчетная скорость, значение для города, расположение относительно центра). Но основным критерием, однозначно связанным с классом дороги, является ее пропускная способность.

Самый высокий класс дороги – А1. Это магистральные дороги и улицы общегородского значения за пределами центра города, 6–8 полос в обоих направлениях. Расчетная скорость движения составляет 100 км/ч, пропускная способность — свыше 10 000 единиц транспортных средств в час. Для этого класса установлены следующие минимальные нормы: $L_{\text{ср}} = 2 \text{ кД/м}^2$; $L_{\text{мин}}/L_{\text{ср}} = 0,4$; $L_{\text{мин}}/L_{\text{макс}} = 0,7$; $E_{\text{ср}} = 30 \text{ лк}$; $E_{\text{мин}}/E_{\text{ср}} = 0,35$.

Зная промежуток времени, когда загруженность дорог становится минимальна или вовсе отсутствует, то дорогу на этот промежуток можно отнести к более низкому классу с более низкими нормами по освещению. Таким образом можно сэкономить на энергопотреблении обеспечив необходимый уровень безопасности. Загруженность магистрали могут специальные датчики со счетчиком, передавать информацию на координатор, а тот в свою очередь определять к какому классу на данный момент относится дорога и включать соответствующий алгоритм работы светильников.

Для реализации уличного освещения предлагается автоматизированная система управления наружным освещением (АСУНО), которая состоит из блоков управления светильниками (устанавливаются на светильник на разъем NEMA), координатора и модема для выхода в интернет (устанавливается вблизи группы светильников) и диспетчерского сайта для управления и контроля группами светильников (рис. 1).

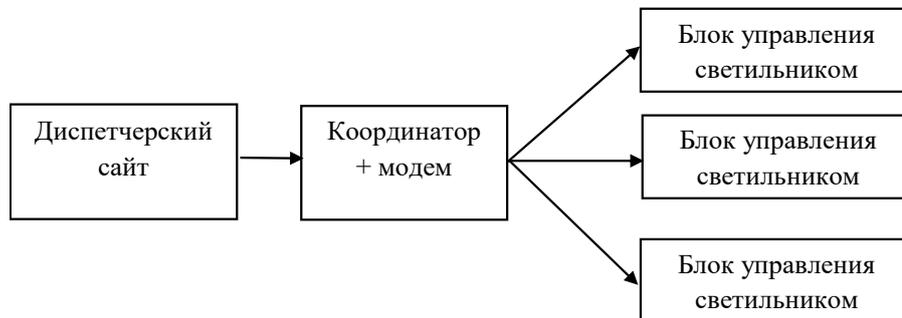


Рис. 1. Блок схема АСУНО

АСУНО имеет следующие функции:

1. Автономная работа по расписанию. Время включения/выключения и изменения светового потока программируется с диспетчерского сайта. В расписании для каждого события можно указывать абсолютное время, время относительно рассвета/заката. Расписание управляет одновременно группой светильников.

2. Ручное управление группой или индивидуально каждым светильником. Каждая группа и каждый светильник имеют свой индивидуальный адрес и геолокационные координаты. На сайте имеется географическая карта с обозначенными на ней светильниками. Указав на карте положение светильника можно производить манипуляции с ним.

3. Просмотр статистики по каждому светильнику и всей группе на сайте: мгновенный ток, мгновенная мощность, энергия (кВт·ч), установленный световой поток, режим работы, исправность. В групповой статистике есть величины от времени суток: мощность, энергия, состояние.

4. Административные функции. Добавление/удаления: светильников/групп, организаций, параметров, свойств и т. п.

Комплекс АСУНО успешно реализован на участке магистральной дороги М7.

Внедрение автоматической системы наружным освещением в транспортную систему Российской Федерации позволит сэкономить на электроэнергии до 50 %, обеспечив при этом необходимый уровень безопасности. Управление и контроль системы освещения через интернет позволит обеспечить бесперебойность системы.

Источники

1. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года (с изменениями на 12 мая 2018 г.) [Электронный ресурс]: распоряжение от 22 ноября 2008 года N 1734-р. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902132678> (дата обращения: 23.10.2019).

2. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 23.10.2019).

УДК 621.384.3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОНОМНОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ

Шарафутдинов Айдар Ильхамович, Потапов Андрей Александрович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹aidar.sharafutdinov1996@yandex.ru, ²aapot@yandex.ru

Статья посвящена экономии электрической энергии и денежных средств на обслуживание освещения помещений за счет применения автономных источников электропитания – фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) (вместо питания от энергосистемы) с применением экономичных светодиодных светильников (вместо газоразрядных).

Ключевые слова: фотоэлектрический преобразователь, светодиодный светильник, инвертор, контроллер, экономия, АКБ (аккумулятор).

DESIGN OF AUTONOMOUS LED LIGHTING OF PREMISES

Sharafutdinov Aidar Ilkhamovich, Potapov Andrey Alexandrovich

The article is devoted to the saving of electric energy and money for the maintenance of lighting of premises due to the use of Autonomous power sources-photovoltaic converters (PV) (instead of power supply from the power system) with the use of economical led lamps (instead of gas-discharge).

Keywords : photoelectric converter, led lamp, inverter, controller, economy, battery .

Актуальность данной работы обусловлена возможностью автономного питания электрической энергией потребителей и переход полностью на альтернативную энергетику.

Система автономного освещения на солнечных батареях предназначена для освещения помещений, участков и придомовых территорий. Особенно актуально применение таких систем освещения в местах удаленных от общих сетей электроснабжения, где подведение сетевого электричества либо невозможно, либо очень дорого [1].

Бесспорным преимуществом этих систем является полная автономность и независимость от подачи электроэнергии общими сетями электроснабжения, отсутствие проводов подключения к сетям, а так же отсутствие платы за использование электроэнергии [2].

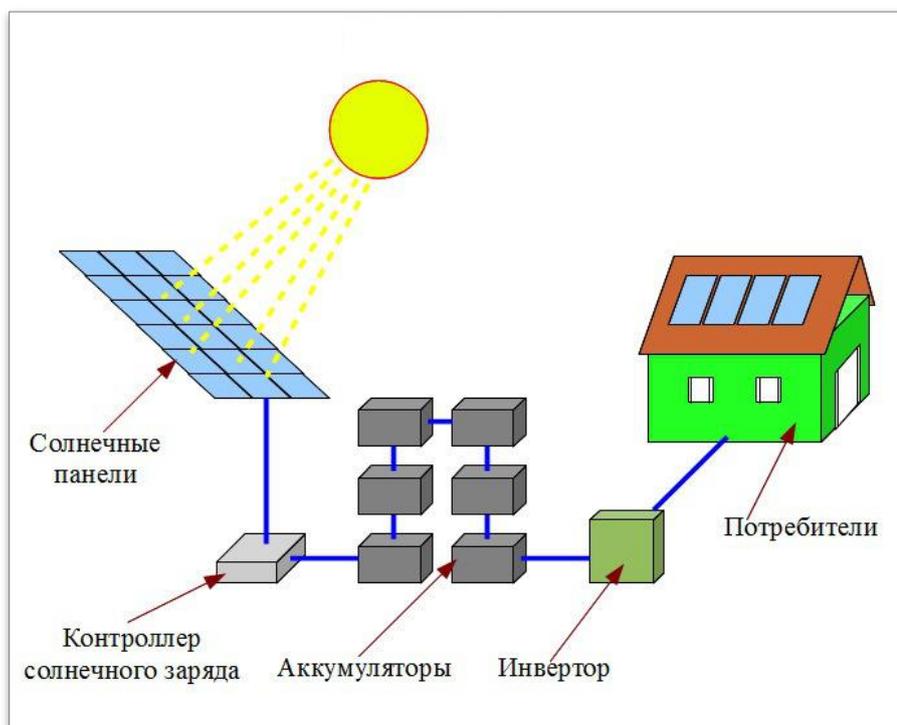


Схема подключения ФЭП

Принцип работы схемы, представленной на рисунке заключается в следующем. После того как солнечный свет попадает на ФЭП солнечный свет преобразуется в электричество, после электричество по проводнику идет к контроллеру заряда АКБ, который заряжает АКБ. Далее напряжение увеличивается с помощью инвертора до нужных значений и только после этого идет к потребителю, в данном случае это светодиодные светильники, если разработать более мощную СЭС, то можно запитать и другие потребители энергии.

Источники

1. Василькова Т.М., Комиссаров Д.А. Способы экономии электроэнергии в осветительных сетях жилого дома // Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 86. С. 71–75.
2. Бобыль А.В., Малышкин В.Г. Эрк А.Ф. Методы оценки экономической эффективности солнечных электростанций // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 97. С. 49–56.

Секция 6. СВЕТОТЕХНИКА

УДК 621.32

УТИЛИЗАЦИЯ СВЕТОДИОДОВ

Абросимов Лев Игоревич, Микаева Светлана Анатольевна
РТУ МИРЭА, г. Москва
lev_ab_00@mail.ru

В работе ставится вопрос о влиянии использования светодиодов на природу, и предлагаются методы его решения.

Ключевые слова: светоизлучающий диод, светодиодная лампа, утилизация, переработка отходов.

UTILIZATION OF LIGHT EMITTING DIODES

Abrosimov Lev Igorevich, Mikaeva Svetlana Anatolievna

In this work the question about how using of light emitting diodes affect the nature is asked and the answer is offered.

Keywords: light emitting di-ode, LED bulb, utilization, recycling.

В современном мире, с растущими темпами производства и появлением новых технологий, вопросы экологии и переработки отходов становятся всё актуальнее. Чем больше человечество производит промышленной продукции, тем больше оно выбрасывает мусора. Одно выброшенное изделие в масштабах нашей планеты является пренебрежимо малым влиянием на природу, но на самом деле мусор регулярно выбрасывают миллиарды людей, и это уже нельзя оставлять без внимания. Сегодня каждый человек должен следить за тем, как он взаимодействует с окружающей средой. Светоизлучающие диоды (СИД) часто рассматриваются в качестве решения проблемы с использованием в осветительных приборах таких вредных веществ как ртуть и её амальгамы. Светоизлучающие диоды отличаются большим сроком эксплуатации, экономичностью энергопотребления и износостойкостью. Однако вопросы влияния светодиодов на окружающую среду можно рассмотреть повторно в целях поиска лучших решений. Кроме того, если производство светодиодов будет расширяться в силу перечисленных преимуществ по отношению к другим осветительным приборам, то проблема их переработки станет намного острее.

Применительно к светоизлучающим диодам, переработка отходов представляет собой безопасное уничтожение или вторичное использование различных отходов, образующихся на всех стадиях жизненного цикла осветительных приборов на основе светодиодов. В данном случае, рассматриваются отходы процессов производства, эксплуатации, ремонта и утилизации СИД.

Обычно СИД как конструктивный элемент осветительного прибора состоит из нескольких деталей, крепко соединённых друг с другом. Наличие дополнительных элементов конструкции варьируется, но принцип работы светодиода неизменен: свет образуется при пропускании электрического тока через *p-n*-переход. Чтобы обеспечить этот процесс, требуется использование как минимум трёх различных материалов: полупроводника *p*-типа, полупроводника *n*-типа и проводника для подведения напряжения. Полупроводники двух типов находятся в контакте, причём используется многослойная система с большим количеством *p-n*-переходов. Это нужно для того, чтобы ширина запрещённой зоны соответствовала области получаемого излучения, а дефектов в кристалле было минимальное количество. Для производства СИД разных цветов применяют полупроводники, различающиеся по износостойкости. СИД может быть покрыт люминофором, преобразующим его световую энергию в эффект послесвечения. Люминофор может содержать редкоземельные металлы, ZnS, алюминаты или другие вещества [1, 3–5]. Зачастую, светодиод находится внутри пластиковой линзы. Перечисленные вещества требуют различных химических процессов для их переработки, из чего следует необходимость их разделения в процессе утилизации СИД.

В быту светодиодные приборы зачастую выбрасываются без попыток проведения их ремонта. Но даже в домашних условиях есть возможности как по применению отдельных конструктивных элементов таких устройств, так и по ремонту светодиодных ламп. Некачественное изделие на основе светодиодов с высокой вероятностью можно усовершенствовать в целях продления срока службы, а повреждённые элементы изделия, вышедшего из строя, можно заменить. Недобросовестные производители создают светодиодные лампы с низкой частотой пульсаций, с высокой вероятностью перегрева, а также с запланированным устареванием изделия. Частота пульсации и износостойкость зависят от работы печатной платы, а теплоотвод обеспечивается радиатором. Одна из задач печатной платы – выпрямление тока, и от качества выполнения этой задачи также зависят характеристики изделия. Для продления работы ламп низкого

качества следует провести замену электрической схемы, неизбежно вызывающей перегрев, на схему, позволяющую удерживать температуру устройства в пределах, допустимых для всех конструктивных элементов. Для восстановления работоспособности изделия с большим количеством СИД вышедшие из строя светодиоды во многих случаях можно заменить резисторами или проводниками, но так стоит поступать только в том случае, если нет светодиодов для замены. Если светодиоды соединены последовательно, то устройство перестает работать в случае перегорания любого из них [2, 6, 7]. Если речь идёт о промышленной утилизации приборов на основе СИД, то стоит отметить, что всё изделие изначально должно быть спроектировано таким образом, чтобы имелась возможность полного его разбора на составляющие детали и повторного сбора из них. Если каждую деталь с низкой износостойкостью в случае выхода из строя возможно будет безопасно утилизировать и заменить аналогичной работоспособной деталью, то часть проблемы утилизации будет решена. Дело в том, что чем сложнее устройство, чем больше оно имеет нераздельных производственных единиц из разных материалов, тем сложнее его утилизация и тем ниже КПД такой утилизации.

Светоизлучающие диоды имеют высокую эффективность, но от подхода к их проектированию и изготовлению данный показатель кардинально меняется. На данный момент не существует специального стандарта по утилизации СИД, и их переработка происходит по стандарту СТО 71.12.15 «Сбор и транспортирование твердых бытовых отходов». Однако существует необходимость в создании нового стандарта, касающегося переработки светодиодов. Во-первых, в их состав могут входить редкоземельные элементы. Во-вторых, в силу запланированного устаревания ламп, существует вероятность выбрасывания работоспособных светодиодов в их составе. И в-третьих, стандартизация переработки отходов – важное современное направление деятельности, в котором нужно вести работу.

Источники

1. «Что такое люминофор и его виды» [Электронный ресурс]. URL: http://www.luminofor66.ru/stati/chto_takoe_lyuminofor_i_ego_vidyi (дата обращения: 18.10.2019).

2. «Вечная светодиодная лампочка» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=tcnQ49aMx2w> (дата обращения: 18.10.2019).

3. Микаева С.А., Микаева А.С. Современные электронные системы и устройства. М.: РУСАЙНС, 2019. 188 с.

4. Микаева С.А., Микаева А.С. Экспериментальные исследования характеристик перспективных источников света, приборов и систем. М.: РУСАЙНС, 2017. 136 с.

5. Микаева С.А. Производство приборов и систем с новейшими источниками света. М.: РУСАЙНС, 2018. 135 с.

6. Брысин А.Н., Микаева С.А. Электротехника. Казань: Бук, 2018. 228 с.

7. Брысин А.Н., Микаева С.А. Промышленная электроника. Импульсные устройства и основы микропроцессорной техники. Казань: Бук, 2019. 252 с.

УДК 628-93

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТОДИОДНЫХ ДАМП ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Абубьярова Диана Исламутдиновна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
abubyakyarova33@gmail.com

В статье предложена идея разработки беспроводных сетей нового поколения, основанного на использовании видимого света взамен радиоволн для передачи сигнала. В качестве осветительного устройства предполагается использовать светодиодные лампы, которые широко применяются на сегодняшний день.

Ключевые слова: светодиодные лампы, беспроводные сети, передача информации, сигнал, видимый свет.

USING LED DUMPS FOR TRANSMITTING INFORMATION IN MODERN COMMUNICATION NETWORKS

Abubyakyarova Diana Islamutdinovna

The article proposes the idea of developing a new generation of wireless networks based on the use of visible light instead of radio waves for signal transmission. It is supposed to use energy-efficient LED lamps, which are widely used today, as a lighting device.

Keywords: LED lamps, wireless networks, information transfer, signal, visible light.

В последнее время идет ускоренное развитие беспроводных компьютерных сетей, основной причиной которого является расширение возможностей электронных устройств. Но есть преграды на пути развития беспроводной передачи данных. И одним из путей решения препятствия является использование светодиодных ламп. Данный метод называется Li-Fi (Light Fidelity), а технология, осуществляющий этот метод – VLC (Visible Light Communication). Фундаментом технологии послужит главная особенность светоизлучающих диодов это способность быстро, незаметно для человека включаться и выключаться. Мерцание света, происходящее с большой частотой, позволит передавать информацию в уровне освещенности комнаты. Сама передача информации происходит путем обмена бинарными данными (0 или 1) между приемником и источником информации. Если светодиод включен, передается цифра 1, если выключен – 0. Все, что необходимо для передачи это светодиоды внутри лампочки и микрочип, который формирует входные данные и управляет диодами. Вначале микрочип преобразует поток входных данных в световую форму, а после он определяется фотодатчиком, который встроен в беспроводное устройство. После преобразуется обратно в бинарный код для последующей обработки данных. Фотодатчик использует для приема оптических сигналов PIN-диод, который имеет широкий диапазон приема сигнала. Основным преимуществом является его стабильность к среде с электромагнитными помехами, а также невысокая стоимость, благодаря которой он полезен в использовании.[1]

Развитие метода Li-Fi началось в 2011 г., профессором из Эдинбургского университета Харольдом Хаасом. Он использовал волоконную оптику для передачи данных через светодиодную лампу. После, через некоторое время профессора из других университетов начали исследования по развитию данной технологии. Главной целью было внедрение Li-Fi точек доступа не только в светодиодные лампы бытового назначения, но и в телевизоры, дорожные знаки и рекламные щиты.



Рис. 1. Схема работы технологии VLC

Эта технология сможет решить ряд проблем.

1. Диапазон оптического спектра в несколько тысяч раз больше, чем диапазон радиоволн. Это позволяет увеличить скорость передачи данных.

2. Светодиодные лампы потребляют мало энергии и имеют длительный срок службы, это позволяет говорить об их высоком энергосбережении данной технологии.

3. Доступность Li-Fi сетей не будет проблематичной. С использованием VLC доступ к сети будет доступен из любой точки планеты, где работает светодиодный источник, управляемый микрочипом.

4. Вопрос безопасности беспроводного соединения: в отличие от радиоволн, световые лучи не могут проникать через стены, поэтому ни одно устройство, кроме приемника оптического излучения, не сможет пользоваться доступом к сети. Это означает отсутствие возможности перехвата и использования данных.

Применение Li-Fi сетей будет полезна во всех сферах жизни. В больницах эти сети будут полезны в управлении оборудованием операционных блоков. В области дорожного движения метод Li-Fi может создать обмен данных между светодиодами на светофорах и на фарах автомобилей. Это позволило бы сократить число аварий. Но нужно учитывать, что Li-Fi может работать только в закрытых беспроводных коммуникационных системах, диапазон доступа которых ограничен. Поэтому очевидным недостатком является необходимость располагать сетевые устройства в зоне видимости светодиодной лампы. Однако это не кажется таким и большим минусом [3].

Таким образом, глобальное внедрение Li-Fi сетей позволит человечеству получить высокоскоростной, надежный, доступный и недорогой беспроводной Интернет-доступ в закрытых беспроводных коммуникационных системах.

Источники

1. Живоглазов Е. Светодиодная точка доступа к Интернету – Li-Fi технология [Электронный ресурс]. URL: <https://kratko-obo-vsem.ru/articles/292-light-fidelity-li-fi.html> (дата обращения: 23.09.2019).

2. Chatterjee S., Agarwal S., Nath A. Scope and Challenges in Light Fidelity (LiFi) Technology in Wireless Data Communication [Электронный ресурс] // International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering. 2015. Vol. 2, Is. 6. URL: <https://www.ijirae.com/archivesid=122> (дата обращения: 21.09.2019).

3. Methodology to Achieve Enhanced Data Transmission Rate using Li-Fi in VLC Technology [Электронный ресурс] / S. Hossain [et al.] // International Journal of Engineering Research. 2014. Vol. 3, Is. 12. URL: http://www.ijer.in/ijer/publication/v3s12/IJER_2014_1221.pdf (дата обращения: 21.09.2019).

УДК 628.984

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ ПРИБОРОВ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ ДЛЯ ТЕПЛИЦ

Агапов Дмитрий Александрович¹, Чуваткина Татьяна Александровна²,
Агапов Андрей Валерьевич³, Балашов Никита Андреевич⁴
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск
¹felzricdima@gmail.com, ²tanya.alex.ch@gmail.com, ³vkagapov@yandex.ru,
⁴balashov_1999@inbox.ru

В статье предложен вариант автоматизации процесса измерения фотосинтетически активной радиации от облучательных приборов, предназначенных для теплиц, и ее эффективности. В качестве решения предложено программное обеспечение, реализованное при помощи языка программирования Pascal в среде разработки TurboDelphi.

Ключевые слова: фотосинтетически активная радиация, эффективность, программа, прибор облучательный, теплица.

THE AUTOMATION OF PROCESS MEASURING EFFICIENCY OF PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION OF IRRADIATION APPLIANCES FOR GREENHOUSES

Agapov Dmitry Alexandrovich, Chuvatkina Tatiana Alexandrovna,
Agapov Andrew Valerievich, Balashov Nikita Andreevich

The article proposes a variant of automation of the process of measuring photosynthetically active radiation from irradiation devices designed for greenhouses, and its effectiveness. As a solution, software proposed using the Pascal programming language in the Turbo Delphi development environment is proposed.

Keywords: photosynthetically active radiation, efficiency, program, irradiation device, greenhouse.

На интенсивность роста растений оказывают влияние множество факторов, такие как освещенность помещения, влажность воздуха, температура воздуха и другие. При этом основным из факторов, влияющих на образование хлорофилла растения является свет. При слабом освещении образование хлорофилла идет медленно, растения не могут плодоносить. Следует отметить, что для растений важно не столько освещение,

а наличие определенного спектра в составе излучения. Так для большей эффективности стоит использовать красные (750–600 нм) и оранжевые лучи (620–595 нм).

С целью оценки эффективности излучения от облучательных приборов для теплиц, в качестве основных количественных характеристик излучения используются фотосинтетически активная радиация (ФАР) и её эффективность. Фотосинтетически активная радиация – это оптическое излучение в диапазоне от 400 до 700 нанометров, используемое растениями для фотосинтеза, роста и развития [2]. Эффективность в области ФАР представляет собой отношение фотосинтетического потока фотонов, излучаемого прибором, к потребляемой им мощности [1].

При этом ФАР согласно [1] рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{ФАР}} = K \cdot \int_{400}^{700} \varphi_{\lambda} \cdot \lambda \cdot d\lambda \quad (1)$$

где $F_{\text{ФАР}}$ – фотосинтетический поток фотонов, мкмоль/с; φ_{λ} – спектральная плотность распределения мощности излучения прибора (в области ФАР), Вт/нм; λ – длина волны, нм; $K = 8,36 \cdot 10^{-3}$ мкмоль/(нм·Дж) – коэффициент.

Эффективность в области ФАР согласно [1] определяется как:

$$\eta_{\text{ФАР}} = \frac{F_{\text{ФАР}}}{P}, \quad (2)$$

где $\eta_{\text{ФАР}}$ – эффективность в области ФАР, (мкмоль/с)/Вт; P – потребляемая мощность, Вт.

В настоящее время не существует утверждённых типов средств измерений, позволяющих получить значения ФАР и эффективности ФАР, прямым измерением. Их получают расчетным путем из значений спектральная плотность распределения мощности излучения. В связи с чем, для автоматического расчета описанных величин было разработано программное обеспечение на языке программирования Pascal в среде разработки TurboDelphi. Внешний вид программы представлен на рис. 1.

Программа для расчета ФАР и эффективности в области ФАР состоит из главного окна, в котором с левой стороны осуществляется выбор длины волны от 400 до 700 нм шагом в 1 нм. Справа два окна ввода. Первое окно (сверху) для ввода спектральной плотности распределения мощности излучения. Второе окно ввода предназначено для введения потребляемой мощности. Также присутствует кнопки, одна из которых предназначена для расчета ФАР и эффективности в области ФАР и другая для выхода из программы.

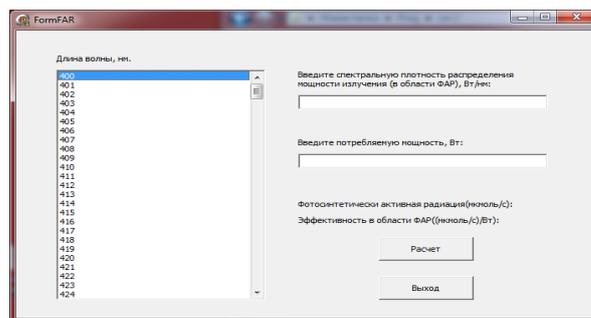


Рис. 1. Внешний вид окна программы для вычисления значения ФАР и эффективности ФАР

Разработанная программа позволяет автоматизировать процесс измерений, предотвратить возможные грубые промахи при расчетах, а также сократить время необходимое на определение данных величин и соответственно повысить производительность проведения измерений.

Источники

1. ГОСТ Р 54815-2011. Лампы светодиодные со встроенным устройством управления для общего освещения на напряжения свыше 50 В. Эксплуатационные требования. М.: Стандартинформ, 2012. 12 с.
2. ПНСТ 211-2017 Облучение растений светодиодными источниками света. Методы измерений. М.: Стандартинформ, 2017. 12 с.

УДК 628.981

ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ВВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА «О ТРЕБОВАНИЯХ К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ»

Агапов Андрей Валерьевич¹, Чуваткина Татьяна Александровна²,
Агапов Дмитрий Александрович³, Балашов Никита Андреевич⁴
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

¹vkagapov@yandex.ru, ²tanya.alex.ch@gmail.com, ³felzricdima@gmail.com,
⁴balashov_1999@inbox.ru

В статье раскрываются вопросы о неактуальности некоторых требований нового технического регламента «О требованиях к энергетической эффективности энергопотребляющих устройств» и его проблемных местах. Также, на примере светодиодных ламп показано, что сложившийся уровень энергетической эффективности в нашей стране выше уровня, устанавливаемого новым техническим регламентом.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, светодиодная лампа, мощность, световой поток, световая отдача.

ON THE RELEVANCE OF THE INTRODUCTION OF TECHNICAL REGULATIONS “ON ENERGY EFFICIENCY REQUIREMENTS POWER CONSUMING DEVICES”

Agapov Andrew Valerievich, Chuvatkina Tatiana Alexandrovna,
Agapov Dmitry Alexandrovich, Balashov Nikita Andreevich

The article reveals questions about the irrelevance of some of the requirements of the new technical regulation “On the requirements for the energy efficiency of energy-consuming devices” and its problem areas. Using the example of LED lamps, it is shown that the level of our energy efficiency in our country is higher than the level established by the new technical regulation.

Keywords: energy efficiency, LED lamp, power, luminous flux, light output.

В августе 2019 г. советом Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) был принят Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к энергетической эффективности энергопотребляющих устройств» (далее ТР). ТР, в частности, устанавливает требования к энергетической эффективности светодиодных ламп.

В качестве основного нормируемого параметра энергопотребления ТР устанавливает максимально допустимое значение потребляемой мощности в зависимости от светового потока [1]. Кроме того, ТР установлено обязательное указание в сопроводительной документации и определение при проведении процедуры подтверждения соответствия таких параметров как: световая отдача; потребляемая мощность; индекса цветопередачи; световой поток; коэффициента пульсации и т. д.

Согласно ТР, лампы подлежат подтверждению соответствия в форме сертификации, а в качестве критерия соответствия – соответствие фактических параметров номинальным значениям, заявленным изготовителем и отсутствие отклонения более чем на 10 % от предельных значений характеристик, указанных в приложении 9 ТР [1]. Следует отметить, что в данном приложении присутствуют не все значения параметров, которые подлежат обязательному определению согласно ТР. Исходя из этого, у испытательных лабораторий, органов и по сертификации и производителей возможно серьезные проблемы с толкованием критерия соответствия фактических параметров номинальным значениям, заявленным изготовителем. На практике не возможно полное совпадение заявленных значений и фактических. Так, например, исходя из критерия, отклонение определенного светового потока на 1 лм от заявленного будет свидетельством

несоответствия изделия ТР. В связи с тем, можно сделать вывод о том, что должны быть установлены границы допусков на определяемые параметры. Решением данной проблемы возможно указание в Перечне стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований ТР и стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, необходимые для применения и исполнения ТР и осуществления оценки (подтверждения) соответствия продукции документов, устанавливающих допустимые отклонения.

Кроме выше сказанного, следует учесть, что требования к светодиодным лампам, заложенные в ТР, несколько отстают от уровня энергетической эффективности установившегося в нашей стране в настоящее время. Например, обязательные требования к энергетической эффективности ламп, отраженные в [2]. Данный вывод подтверждается результатами измерений случайных ламп различных производителей, присутствующих на российском рынке, представленными в таблице.

Результаты измерения светодиодных ламп

P , Вт	Φ , лм	η , лм/Вт	P_{max} , Вт	η_{min1} , лм/Вт	η_{min2} , лм/Вт	P , Вт	Φ , лм	η , лм/Вт	P_{max} , Вт	η_{min1} , лм/Вт	η_{min2} , лм/Вт
5,7	567,1	98,4	11,3	49,8	80	8,6	768,1	88,7	16,1	47,4	80
4,9	537,9	108,8	11,4	47,0		8,6	777,5	89,4	15,0	51,7	
9,6	834,0	86,1	16,6	50,2		5,1	540,3	104,3	42,8	12,6	
8,4	864,8	102,1	16,1	53,4		9,5	830,3	86,7	60,9	13,6	
6,1	564,8	91,9	11,4	49,3		4,7	447,5	94,0	36,8	12,1	
5,8	703,6	120,4	53,1	13,2		8,8	867,5	97,9	63,2	13,7	
8,8	878,9	99,5	15,0	58,5		4,7	490,4	102,9	10,0	48,8	
3,9	448,3	113,2	36,8	12,1		6,7	641,1	95,6	49,2	13,0	
4,1	380,9	92,9	8,9	42,7		5,7	562,3	97,2	11,1	50,5	

Примечание – P и Φ – соответственно измеренные значения потребляемой мощности и светового потока; η – определенные значения световой отдачи; P_{max} – предельно допустимое значение потребляемой мощности, согласно ТР; η_{min1} – минимальное допустимое значение световой отдаче, исходя из Φ и P_{max} ; η_{min2} – минимальное допустимое значение световой отдачи, согласно постановлению Правительства РФ от 10 ноября 2017 г. № 1356

Анализируя данные таблицы видно, что все измеренные образцы соответствуют требованиям ТР по потребляемой мощности и имеют существенно меньшее значение P по сравнению с P_{max} . Значение η_{min1} в среднем более чем в два раза меньше обязательного η_{min2} . Кроме того, все измеренные

лампы соответствуют $\eta_{\min 2}$. Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод о том, что введение в действие ТР в нашей стране приведет к удорожанию ламп, так как в нем установлена процедура сертификации, проводимая органами по сертификации и требующая дополнительных затрат, без увеличения с другой стороны их энергетической эффективности. Кроме того, возникнет вопрос противоречия обязательных требований, действующих в нашей стране и требований ТР.

Источники

1. Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к энергетической эффективности энергопотребляющих устройств» (ТР ЕАЭС 048/2019) [Электронный ресурс]: принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 8 августа 2019 г. № 114. URL: <https://cloud.mail.ru/stock/a9cofSWAFLbe5UzxJhb2zkmg> (дата обращения: 19.10.2019).

2. Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 10 ноября 2017 г. № 1356 (ред. от 3 ноября 2018 г.). Доступ из ЭПС «Гарант» (дата обращения: 19.10.2019).

УДК 628.984

О СОБЛЮДЕНИИ ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Балашов Никита Андреевич¹, Чуваткина Татьяна Александровна²,
Агапов Андрей Валерьевич³, Агапов Дмитрий Александрович⁴
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», г. Саранск
¹balashov_1999@inbox.ru, ²tanya.alex.ch@gmail.com,
³vkagapov@yandex.ru, ⁴felzricdima@gmail.com

В статье рассматривается вопрос о соответствии энергетической эффективности светодиодных светильников обязательным требованиям. В ходе исследования были проанализированы заявленные и фактические параметры светодиодных светильников, присутствующих на российском рынке и выявлены несоответствия по данным параметрам.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, светодиодный светильник, потребляемая мощность, световой поток, световая отдача.

COMPLIANCE WITH MANDATORY REQUIREMENTS FOR THE ENERGY EFFICIENCY OF LED LUMINAIRES

Balashov Nikita Andreevich, Chuvatkina Tatiana Alexandrovna,
Agapov Andrew Valerievich, Agapov Dmitry Alexandrovich

The article considers the issue of compliance of the energy efficiency of LED lamps with mandatory requirements. During the study, the declared and actual parameters of the LED lamps present on the Russian market were analyzed and inconsistencies in these parameters identified.

Keywords: energy efficiency, LED lamp, power consumption, luminous flux, light output.

В настоящее время вопросы повышения энергетической эффективности особенно актуальны, поскольку в их решении заинтересован очень широкий круг потребителей. В частности для населения, увеличение энергетической эффективности – это значительное сокращение коммунальных расходов, для страны – экономия ресурсов, повышение производительности и т. д. С точки зрения самого понятия энергетическая эффективность – это характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции [1].

В области светотехнической промышленности, для решения задач по увеличению энергетической эффективности определены обязательные требования к осветительным устройствам, отраженные в [2]. Одним из основных параметров энергетической эффективности осветительного прибора, согласно [2], является световая отдача.

В ходе исследования в качестве объекта исследования были выбраны светодиодные светильники, как наиболее перспективные источники света, и проведена оценка их соответствия обязательным нормативным требованиям. Следует отметить, что для светодиодных светильников установлены следующие минимально допустимые значения световой отдачи светильников:

- а) для наружного утилитарного освещения – более 90 лм/Вт;
- б) для общественных и производственных помещений:
 - с диффузным рассеивателем с номинальной мощностью (далее мощностью) менее 25 Вт и более 75 лм/Вт;
 - с диффузным и прозрачным (призматическим) рассеивателями с мощностью более 25 Вт и более 85 лм/Вт;

– с прозрачным (призматическим) рассеивателем и с открытым выходным отверстием с мощностью менее 25 Вт и более 80 лм/Вт;

– с открытым выходным отверстием с мощностью более 25 Вт и более 90 лм/Вт.

В ходе эксперимента, по измерению параметров светильников были получены результаты, представленные в таблице. Кроме того, в ней представлены заявленные производителем в эксплуатационной документации, номинальные параметры светильников.

Заявленные и фактические параметры светодиодных светильников

Назначение светильника	$P_{\text{ном}}$, Вт	$\Phi_{\text{ном}}$, лм	$\eta_{\text{ном}}$, лм/Вт	$P_{\text{изм}}$, Вт	$\Phi_{\text{изм}}$, лм	$\eta_{\text{изм}}$, лм/Вт
Светильник для общественных и производственных помещений с диффузным рассеивателем	36	4300	119,4	37,1	4445	119,8
	50	6000	120,0	49,3	5598	113,5
	46	5000	108,7	26,9	3149	116,9
	35	5000	142,9	35,8	4870	136,0
	20	1360	68,0	18,8	1083	57,6
	40	2240	56,0	40,5	1645	40,6
Светильник для общественных и производственных помещений с прозрачным (призматическим) рассеивателем	40	2920	73,0	39,9	2003	50,2
	36	4500	125,0	35,6	3075	83,4
	50	6300	126,0	50,4	6280	124,6
	20	1750	87,5	18,8	1162	61,8
	40	3350	83,8	40,1	2563	63,9
Светильник для общественных и производственных помещений с открытым выходным отверстием	40	3500	87,5	40,6	2705	66,6
	86	10000	116,4	80,6	9892	122,7
Светильники для наружного утилитарного освещения	75	9200	122,7	73,8	9339	126,5
	200	19500	97,5	187,1	17605	94,1
	125	16250	130,0	123,5	17160	138,9
	50	5000	100,0	49,7	4856	97,7
	200	29300	146,5	198,3	29022	146,4
Примечание – $P_{\text{ном}}$, $\Phi_{\text{ном}}$ и $\eta_{\text{ном}}$ – соответственно номинальные потребляемая мощность, световой поток и световая отдача, указанные в паспорте производителем; $P_{\text{изм}}$, $\Phi_{\text{изм}}$ и $\eta_{\text{изм}}$ – соответственно измеренные потребляемая мощность, световой поток и световая отдача						

Исходя из данных таблицы, видно, лишь 61 % светильников, от общего числа измеренных, соответствует обязательным требованиям. Кроме того, наблюдается несоответствие между измеренными параметрами светодиодных светильников и заявленными характеристиками. Следует отметить, что некоторые различия между измеренными и заявленными параметрами весьма существенны.

Проанализировав выше сказанное можно сделать вывод о том, что на рынке присутствуют не добросовестные производители, использующие некачественные и дешевые комплектующие для светильников, и контроль за светотехнической продукцией реализуется в недостаточной степени. Данное обстоятельство ведет к торможению процесса экономии энергетических ресурсов в стране за счет увеличения энергетической эффективности при использовании искусственного освещения. Для решения данной проблемы необходима более детальная проработка механизма контроля изделий на соответствие обязательным требованиям.

Источники

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ (ред. от 26 июля 2019 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 17.10.2019).

2. Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Рос. Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1356. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 17.10.2019).

УДК 621-313.3

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СВЕТИЛЬНИКОВ ДЛЯ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Батуев Кирилл Владимирович¹, Стародубцева Валерия Александровна²
ФГБОУ ВО ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск
¹Batuev.Kirill@mail.ru, ²Starodubceva_V_A@istu.ru

В данной статье рассмотрены требования к уличному освещению. Изучены типы светильников обеспечивающие требуемую освещенность тротуаров и проезжей части. Проведен анализ выпускаемых промышленностью России ламп по затратам, сроку эксплуатации и окупаемости.

Ключевые слова: уличное освещение, экономичность, окупаемость, световой поток, свод правил, затраты, энергоэффективность.

ECONOMIC SUBSTANTIATION USE OF VARIOUS TYPES OF LUMINAIRES FOR STREET LIGHTING

Batuev Kirill Vladimirovich, Starodubceva Valeria Alexandrovna

This article discusses the requirements for street lighting. The types of luminaires providing the required illumination of sidewalks and the roadway were studied. The analysis of lamps produced by the Russian industry in terms of costs, life and payback is carried out.

Keywords: Street lighting, profitability, payback, luminous flux, set of rules, costs, energy efficiency.

По заданию МКП «Горсвет» были выполнены исследования, целью которых являлось определение экономичности использования для уличного освещения альтернативных источников энергии (в частности солнечных батарей). Внедрение данной установки, согласно расчетным данным, а именно результатам технико-экономического обоснования, является экономически выгодно. При расчете чистый доход срок окупаемости составляет 13 лет, а при чистом дисконтированным доходом срок окупаемости составил 17 лет.

Кроме экономических показаний уличное освещение должно соответствовать основным количественным и качественным показателям наружного освещения улиц. Эти показатели регламентированы в СП 52.13330.2011 [1] с учетом категорий и значений в градообразующей структуре и интенсивности движения. Освещение улиц, дорог и площадей с регулярным транспортным движением должно соответствовать исходя из нормы средней яркости дорожных покрытий согласно табл. 1.

Таблица 1

Нормируемые показатели для улиц и дорог городских поселений с регулярным транспортным движением с асфальтобетонным покрытием

Проезжая часть	
$L_{ср}$, кД/м ² , не менее	0,6
$L_{мин} / L_{ср}$, кД/м ² , не менее	0,4
$L_{мин} / L_{макс}$, кД/м ² , не менее	0,5
T_1 , %, не более	15
$E_{г.ср}$, лк, не менее	10
$E_{мин} / E_{ср}$, не менее	0,25
Тротуар	
$E_{г.ср}$, лк, не менее	5
$E_{мин} / E_{ср}$, не менее	0,3
Стена	
$E_{макс}$, лк, не более	10

Здесь: $L_{\text{ср}}$ – средняя яркость дорожного покрытия; $E_{\text{г.ср}}$ – средняя горизонтальная освещенность; L_{min} – минимальное значение яркости дорожного покрытия; L_{max} – максимальное значение яркости дорожного покрытия.

Качественное наружное освещение городов позволяет в темное время суток:

- обеспечить выявление светом архитектуры городских ансамблей, зданий и культурно-бытовых объектов и совместно со световой рекламой и иллюминацией создать внешний облик современного города;

- снизить количество аварий на 20–30 %;

- снизить количество грабежей, краж и других преступлений на улицах.

Требуемая освещенность зависит от используемых ламп. На сегодняшний день в России существуют несколько подходов к освещению улиц:

- 1) освещение светильниками типа РКУ (с лампой ДРЛ);

- 2) освещение стандартными светильниками ЖКУ (со стандартной лампой ДНаТ);

- 3) освещение светодиодными светильниками.

Задачей исследования в данной статье является сравнение экономических показателей этих ламп при заданных параметрах наружного освещения, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Технико-экономические характеристики ламп

Параметр	Дуговая ртутная лампа (ДРЛ)	Дуговая натриевая трубчатая лампа (ДНаТ)	Светодиодный источник света (LED)
Средняя стоимость лампы, руб.	220 – лампа, 3000 – светильник	500 – лампа, 3000 – светильник	11 000 (за весь светильник)
Эффективность, лм/Вт	75–80	100–110	95–140
Световой поток, лм	13000	24000	24000
Частота замены	1 раз в 2 года	1 раз в 3 года	более 7 лет
Срок службы, часы	в среднем 7 000	в среднем 9 000	более 50 000
Мерцание, %	10–15	10–15	Менее 3%
Выход на рабочий режим	5–7 мин	5–7 мин	менее 1 с
Чувствительность к перепадам напряжения	чувствительна	чувствительна	нечувствительна

Из табл. 2 видно, что светодиодный источник света намного долговечнее и экономичнее [2].

Таким образом, делая выбор осветительного прибора для освещения объекта, надо принимать во внимание тот фактор, что ДРЛ и ДНаТ могут проявить «эффект старения», когда световой поток со временем тускнеет. После 400 ч эксплуатации этого вида ламп, они начинают светить на 80 % от заявленной мощности светового потока, а затем свечение понижается до 50 %.

Лампы LED на сегодняшний день, несмотря на и их высокую стоимость, все больше применяются в уличном освещении. С учетом времени окупаемости и длительностью эксплуатации они дают возможность сэкономить на электрической энергии.

Источники

1. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [Электронный ресурс]: утв. Приказом Министерства регионального развития Рос. Федерации от 27 декабря 2010 г. № 783. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 23.10.2019).

3. Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 г. / пер. с англ.; под ред. Ю.Н. Старшинова. М.: Энергия, 1980. 254 с.

УДК 628.9:621.382.2

ИЗМЕНЕНИЕ ЦВЕТНОСТИ СВЕТОДИОДНОЙ ЛЕНТЫ ОТ РЕЖИМОВ, ЗАВИСЯЩИХ ОТ ЧАСТОТЫ И ГРОМКОСТИ ЗВУКА

Зинкин Константин Алексеевич, Журавлева Юлия Алексеевна,
Микаева Светлана Анатольевна
РТУ МИРЭА, г. Москва
^{1,2,3}ulypil@mail.ru

Работа посвящена разработке управления цветностью светодиодной ленты, в зависимости от режимов, зависящих от частоты и диапазона звука. Приведен алгоритм и руководство по эксплуатации.

Ключевые слова: оптическое излучение, светодиодная лента, цветность.

CHANGE THE SPECTRUM OF THE LED TAPE FROM MODES DEPENDING ON THE FREQUENCY AND VOLUME OF THE SOUND

Zinkin Konstantin Alekseevich, Zhuravleva, Julia Alekseevna,
Mikaeva Svetlana Anatolyevna

The work is devoted to the development of spectrum management of LED strip, depending on the modes, depending on the frequency and range of sound. The algorithm and operation manual are given.

Keywords: optical radiation, LED strip, color.

В настоящее время в целях освещения все шире используют светодиодные источники света, а также применяют различные системы управления на основе их [1–3].

Для исследования управления настройки спектральных характеристик светодиодной ленты в зависимости от частоты и диапазона громкости звука была приобретена адресная светодиодная лента WS2812 с напряжением питания 5 В, длиной 1,5 м, влагозащитой – IP67. Для управления командами был разработан прибор, в состав которого входили плата Arduino Nano, блок питания на 5 В с силой тока 500 мА, порт mini jack, необходимый для получения аудиосигнала, конденсатор с номинальным напряжением 6,3 В и емкостью 1000 мкФ в качестве С-фильтра, потенциометр для подстройки диапазона громкости и микроконтроллер ATmega328 (рис. 1).

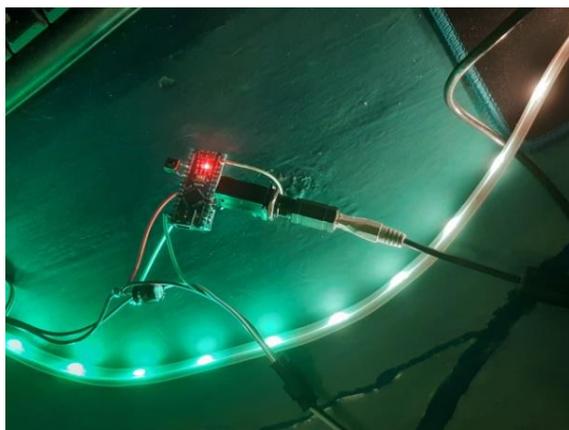


Рис. 1. Внешний вид исследуемого прибора в сборе

Было предложено следующее руководство по эксплуатации:

1. Включить в сеть.
2. Подключить к источнику аудиосигнала через Jack-3,5 мм.

3. При наличии шумов при выключенном звуке откалибровать порог нижнего шума. Для этого нажать и удерживать кнопку, до загорания второго диода на плате.

4. Изменением сопротивления потенциометра подстроить диапазон обрабатываемых сигналов.

5. По желанию можно последовательно менять режимы при помощи кнопки.

Была разработана программа, позволяющая управлять режимами работы:

1. Зависимость от уровня громкости (рис. 2): а) от зелёного к красному; б) радуга.

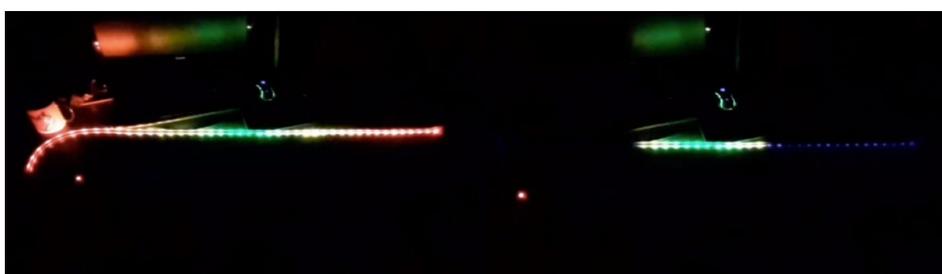


Рис. 2. Работа прибора в режиме управления цветностью светодиодной ленты от уровня громкости

2. Зависимость от частот (рис. 3): а) в пять полос; б) в три полосы; в) в одну полосу



Рис. 3. Работа прибора в режиме управления цветностью светодиодной ленты от частоты

В ходе работы был отработан следующий алгоритм.

1. Для режимов, зависящих от громкости выбирается наибольшее напряжение, выбранное из выполненных 100 измерений, из данного значения вычитается нижний порог шумов, применяется «скользящее среднее», определяется максимальная громкость шкалы, результат преобразуется в количество светящихся светодиодов.

2. Для режимов, зависящих от частот применяется преобразование Хартли для разбивки на спектр частот, вычитается нижний порог шумов, определяется максимальное значение для каждого диапазона, и если текущий сигнал выше среднего, используются светодиоды из соответствующего массива.

Источники

1. Афонин В., Коваленко О., Гусева Е., Пильщикова Ю. Моделирование спектра солнечного излучения с помощью светодиодов // Фотоника. 2016. № 2 (56). С. 72–77.

2. Микаева С.А., Микаева А.С. Экспериментальные исследования характеристик перспективных источников света, приборов и систем. М.: РУСАЙНС, 2017. 136 с.

3. Микаева С.А. Производство приборов и систем с новейшими источниками света. М.: РУСАЙНС, 2018. 135 с.

УДК 621.3.087.9:621.382.2

LI-FI ТЕХНОЛОГИЯ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ НА БАЗЕ СВЕТОДИОДОВ

Иванова Дарья Сергеевна, Микаева Светлана Анатольевна
РТУ МИРЭА, г. Москва
dayremember@yandex.ru

В статье описаны устройство и принцип работы световой технологии нового поколения Li-Fi на базе светодиодов. Рассмотрен частный случай действия приборов, а также приведена оценка характеристик данной коммуникационной системы.

Ключевые слова: технология, светодиод, излучение, освещенность, устройство, информация.

FIFTH-GENERATION LED-BASED LI-FI TECHNOLOGY

Ivanova Daria Sergeevna, Mikaeva Svetlana Anatolyevna

The article describes the device and the principle of operation of the new generation of Li-Fi light technology based on LEDs. A special case of the operation of the devices is considered, as well as an assessment of the characteristics of this communication system.

Keywords: technology, LED, radiation, illumination, structure, information.

Li-Fi – это беспроводная коммуникационная технология пятого поколения, использующая инфракрасный и видимый спектр для передачи данных на высоких скоростях. Устройство основано на применении светодиодов в качестве как источника, так и приёмника информации [1–3].

Рассмотрим принцип работы технологии. В качестве источника данных используют яркий светодиод, от выбора вида которого зависит максимальная скорость передачи информации. Эта связь представлена на рис. 1. Чаще всего используют светодиоды с фосфорным покрытием, которое преобразует изначально синий свет в желтый. Смешиваясь, эти цвета дают на выходе яркое белое излучение, которое обеспечивает передачу информации больших объемов. Но материал покрытия снижает частоту сигнала, поэтому такой источник позволяет достичь пропускной способности не более чем в 2 МГц. Если на приемник поставить фильтр синего света, исключая желтые составляющие излучения, можно добиться скорости передачи данных в 1 Гб/с. Значительные преимущества имеют многоцветные светодиоды, при использовании которых можно получить скорость около 5 Гб/с. Максимальных скоростей достигают, применяя нитрид-галлиевые светодиоды и многоцветные лазеры [4–6].

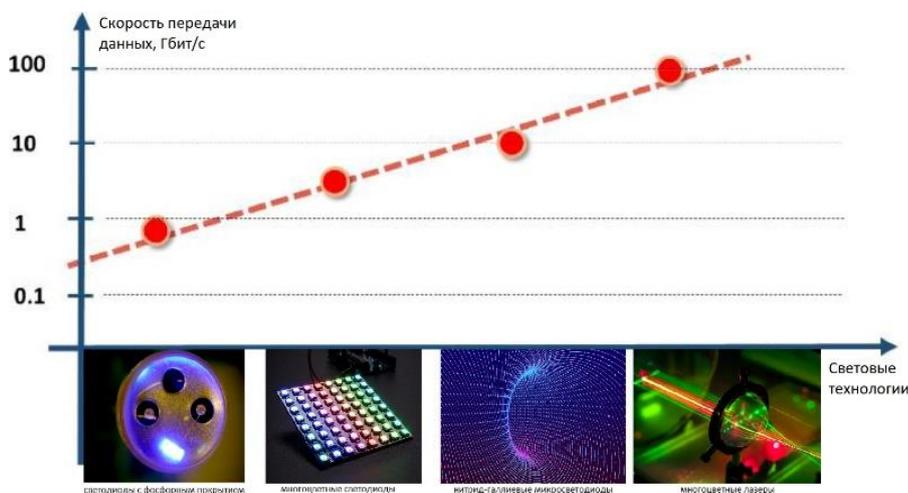


Рис. 1. Зависимость скорости передачи данных от вида источника

В систему излучателя входит также электронная плата, содержащая микроконтроллер. Он осуществляет управление характеристиками излучения – диммирование, а именно меняет поступающее к источнику напряжение [7, 8]. Поскольку светодиоды являются полупроводниковыми приборами, модуляция напряжения и, соответственно, интенсивности излучения осуществляется на высоких скоростях. Импульсы, порождаемые регулированием яркости лампы, поступают к кремниевому фотоприемнику.

Он реагирует на излучение и преобразует световой сигнал в электрический, а затем в цифровой код. На устройстве отображения появляется переданная информация – видео-, аудиофайлы, тексты и т. д. Уникальное свойство Li-Fi состоит в сочетании излучения и передачи данных в одном устройстве. На рис. 2, *а* представлена комната 2,5×5 м, оборудованная двумя Li-Fi лампами на высоте 3 м. Оба источника используют одинаковый диапазон видимого излучения для передачи независимых данных. Рис. 2, *б* показывает суммарную освещенность помещения на уровне стола (0,75 м). В рассматриваемом случае в плоскости стола 90 % площади имеет освещенность в 400 лк. На рис. 2, *в* изображено распределение сигнала с учетом шума, возникающего из-за интерференции двух каналов одного диапазона. В зоне, обозначенной синим цветом, возникают сильные искажения, и характеристика сигнала SINR значительно снижается. Это показывает, что качество сигнала может меняться до 30 дБ в области всего нескольких сантиметров. Также максимальное значение SINR достигает 50 дБ, что в 2-3 раза превышает показатель Wi-Fi устройств. Из этого следует, что одна из основных задач в развитии световых технологий – снижение зависимости качества сигнала от помех на фоне интерференции.

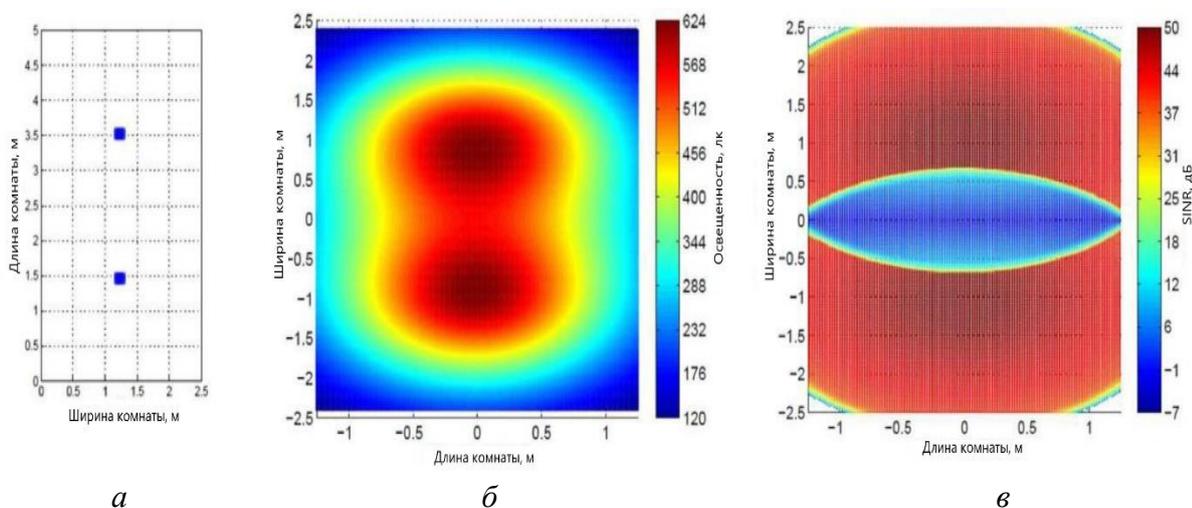


Рис. 2. Пример действия Li-Fi технологии двух независимых источников: *а* – схема размещения ламп в комнате; *б* – суммарная освещенность; *в* – распределение суммарного сигнала

Исходя из свойств света и законов оптики, можно выделить следующие положительные характеристики Li-Fi устройств: высокую защищенность и конфиденциальность данных, передача информации в широком диапазоне, низкое потребление энергии, высокая пропускная способность, экономичность использования. К недостаткам можно отнести малый радиус действия, что значительно ограничивает работу пользователей.

Источники

1. What Is Li-Fi? / Н. Хаас [et al.] // Journal of Lightwave Technology. 2016. Vol. 34. Pp. 1533–1544.
2. Хаас Н. High-speed wireless networking using visible light [Электронный ресурс]. URL: <https://www.spie.org/news/4773-high--speed-wireless-networking-using-visible-light?SSO=1> (дата обращения: 08.10.2019).
3. Coexistence of WiFi and LiFi toward 5G: concepts, opportunities, and challenges / М. Аyyаш [et al.] // IEEE Communications Magazine. 2016. Vol. 54, Is. 2. Pp. 64–71.
4. Микаева С.А., Микаева А.С. Современные электронные системы и устройства. М.: РУСАЙНС, 2019. 188 с.
5. Микаева С.А., Микаева А.С. Экспериментальные исследования характеристик перспективных источников света, приборов и систем. М.: РУСАЙНС, 2017. 136 с.
6. Микаева С.А. Производство приборов и систем с новейшими источниками света. М.: РУСАЙНС, 2018. 135 с.
7. Брысин А.Н., Микаева С.А. Электротехника. Казань: Бук, 2018. 228 с.
8. Брысин А.Н., Микаева С.А. Промышленная электроника. Импульсные устройства и основы микропроцессорной техники. Казань: Бук, 2019. 252 с.

УДК 536.67:621.32

ОСОБЕННОСТИ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЛАМП

Зубов Александр Владимирович¹, Калабкин Александр Андреевич²,
Кудашкина Марина Валерьевна³
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева», г. Саранск
¹zavaz55897@mail.ru, ²sskalabkin@yandex.ru, ³rysenok888@mail.ru

В статье представлено краткое описание цветопередачи различных ламп.

Ключевые слова: цветопередача, индекс цветопередачи, лампа накаливания, галогенная лампа, натриевая лампа ДРЛ, люминисцентная лампа, светодиодная лампа.

FEATURES OF COLOR REPRODUCTION OF DIFFERENT TYPES OF LAMPS

Zubov Alexander Vladimirovich, Kalabkin Alexander Andreevich,
Marina Valerievna Kudashkina

The article presents a brief description of the color reproduction of various lamps.

Keywords: color rendering, color rendering index, incandescent lamp, halogen lamp, sodium lamp DRL, fluorescent lamp, led lamp.

Индекс цветопередачи – это величина, полученная из отношения реального цвета к видимому или кажущемуся цвету предметов. Он показывает насколько цвета предметов, освещенных искусственным источником света, соответствует истине. Его обозначают как Ra или CRI [1].

CRI – это лишь одна из методик определения цветопередачи. Она обязательна для проверки источников света всеми производителями. При измерении индекса (коэффициента) цветопередачи используют 8 или 14 цветов, они указаны в DIN 6169. При этом обязательная проверка заключается в сравнении первых 8 цветов спектра, сравнение 14 цветов осуществляется в случае необходимости или в специальных целях, но при расчетах индекса они не учитываются [3].

Измеряют индекс цветопередачи при разработке источников света. Для этого исследуемым источником света освещают на шаблон или поверочную таблицу, на которой нанесены стандартизированные цвета R1–R8. Далее, специальными приборами замеряется значение цвета. Так получают информацию о том, как выглядят цвета под конкретным источником. Следующий этап – освещение поверочного шаблона эталонным источником света и снятие показаний с приборов для определения цветов. После полученные данные обрабатываются по методике CIE и получают отклонение полученных цветов от эталонных. Цвета обозначаются как R_i , где i – номер цвета. Их название: R1 – увядшая роза, R2 – горчичный, R3 – салатный, R4 – светло-зеленый, R5 – бирюзовый, R6 – небесно-голубой, R7 – фиолетовая астра, R8 – сиреневый.

Индекс цветопередачи зависит от принципа действия и конструкции, а также используемых компонентов светильника. За эталон принимается солнечный свет [1].

Лампы накаливания. Классические лампы накаливания, хоть и запрещены для использования в большинстве стран по причине их низкого КПД, но они имеют приближенную к солнечному свету цветопередачу, она близка к 100. Имеют выраженный сдвиг в область теплых цветов и ИК-диапазона.

Галогенные лампы дают большой световой поток при том же потреблении мощности, что и лампы накаливания. При этом их цветопередача приблизительно на одинаковом уровне [1].

Натриевые лампы мало используются для освещения помещений, где работают люди. Это объясняется как техническими моментами, например, гудящий дроссель, долгий розжиг, так и низким индексом цветопередачи – 40 Ra. Натриевые лампы высокого давления используют для

освещения больших площадей. Например, в уличном освещении, на фонарных столбах и прожекторах. Такое применение объясняется высоким световым потоком (150 Лм/Вт) и длительным сроком службы, более 25000 ч. Они относятся к газоразрядным источникам света. Имеют рваный спектр, с преобладанием красно-оранжевых тонов. Их используют и для выращивания растений в теплицах и гидропонных системах, благодаря их спектру [3].

Дуговые ртутные лампы или ДРЛ имеют срок службы около 10000 ч и высокий световой поток в 70–95 Лм/Вт, а их индекс цветопередачи до 40 Ra. Также у них рваный спектральный состав со смещением в область синего цвета и ультрафиолета [3].

Люминесцентные лампы трубчатого типа и компактные люминесцентные лампы имели особую популярность до выхода на рынок дешевой светодиодной продукцией. Основным недостатком является необходимости применения пускорегулирующей аппаратуры, а также рваный спектральный состав света, обычно смещенный в область холодных цветов, но в зависимости от люминофора могут и излучать нейтральный и теплый свет. Индекс цветопередачи люминесцентных ламп сильно зависит от состава люминофора, изменяется от 60 до 90 и более Ra [2].

Светодиодные лампы. Индекс цветопередачи светодиодных ламп зависит от состава люминофора, которым покрыты кристаллы светодиодов. Индекс лежит в пределах от 80 Ra, хорошим результатом является 90 Ra. Их используют в помещениях любого типа, насколько это позволяют конструктивные особенности [1].

При выборе источника света нужно особое внимание уделить индексу цветопередачи, поскольку от него зависит точность восприятия цветов. Это особенно важно, если вы работаете с цветами, например, рисуете, или выбираете освещения для фотостудии.

Источники

1. Корякин-Черняк С. Л. Краткий справочник домашнего электрика. СПб.: Наука и техника, 2006. 272 с.
2. Паламаренко С.И. Люминесцентные лампы и их характеристики [Электронный ресурс]. URL: <https://сhem.net/sprav/sprav115.php> (дата обращения: 23.09.2019).
3. DIN 6169-1-1976. Цветопередача. Общие термины и определения: дата опубл. 1976-01-01. 2 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОДИОДНЫХ СОВ-МАТРИЦ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИМЕТРА

Каретников Александр Евгеньевич¹, Журавлёва Юлия Алексеевна²,
Микаева³ Светлана Анатольевна
РТУ МИРЭА, г. Москва
¹aek12@bk.ru, ²ulypil@mail.ru, ³mikaeva_s@mirea.ru

Работа посвящена исследованию характеристик набирающих популярность светодиодных СОВ-матриц. Приведен результат и анализ измерения параметров светодиодов. Построена вольт-амперная характеристика по результатам измерения.

Ключевые слова: полупроводники, светодиод, напряжение, сила тока, мощность, вольт-амперная характеристика.

RESEARCH OF TECHNOLOGY AND PARAMETERS OF LED COB-MATRICES USING A MULTIMETER

Karetnikov Alexander Evgenievich, Zhuravleva Yulia Alekseevna,
Mikaeva Svetlana Anatolyevna

The work is devoted to the study of the characteristics of the growing popularity of LED COB-matrices. The result and analysis of the measurement of the LED parameters are presented. The current-voltage characteristic is constructed according to the measurement results.

Keywords: semiconductors, LED, voltage, current, power, volt-ampere characteristic.

Современный мир трудно представить без светодиодов – отличной замены традиционных искусственных источников света, таких как лампы накаливания. Светодиоды применяются во многих сферах деятельности человека и устройствах, исследование их параметров проводятся рядом методик различными авторами [1]. Ввиду актуальности светодиодных СОВ-матриц целью данной работы является изучение технических характеристик этого семейства на примере двух экземпляров (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Общая характеристика исследуемых светодиодных СОВ-матриц

Наименование	Производитель	Цена, руб.	Цвет	Температура цвета, К
Светодиодная СОВ-матрица № 1	Неизвестно	190	Белый	6000–6500
Светодиодная СОВ-матрица № 2	TDS	360	Белый	3000–4000

Основные, заявленные производителем, технические характеристики
исследуемых светодиодных COB-матриц

Наименование	Рабочее напряжение, В	Потребляемый ток, А	Мощность, Вт
Светодиодная COB-матрица № 1	9–11	1,050	10
Светодиодная COB-матрица № 2	9–12	1,050	10

В ходе работы была собрана схема, с помощью которой были получены параметры светодиодных COB-матриц опытным путем. Необходимые компоненты для нее были закуплены в розничных магазинах chip dip и chipster: зарядное устройство для монитора (AC-DC преобразователь с 220 до 24 В), понижающий регулируемый DC-DC преобразователь напряжения 5–40 В до 1,2–35 В на основе чипа XL4016, два светодиода, радиаторы для них и прочее.

Для измерения параметров светодиодов был использован мультиметр UNI-T серии UT33, обладающий довольно большим диапазоном возможных измерений и высокой точностью, с постоянным напряжением: 400 мВ ~ 500 В, постоянным током: 400 мкА ~ 10 А, сопротивлением: 400 Ом ~ 40 МОм.

Экспериментальная схема в сборе и процесс измерений представлен на рис. 1. Полученные экспериментальным путём ВАХ представлены на рис. 2 и 3.

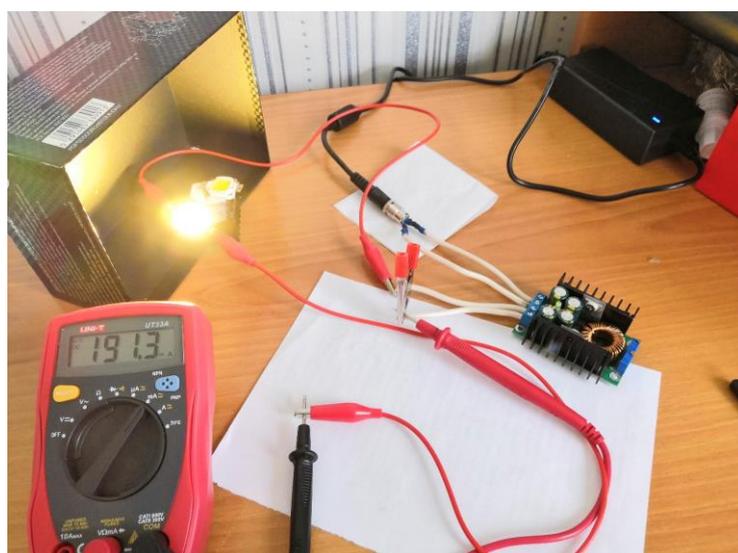


Рис. 1. Экспериментальная схема

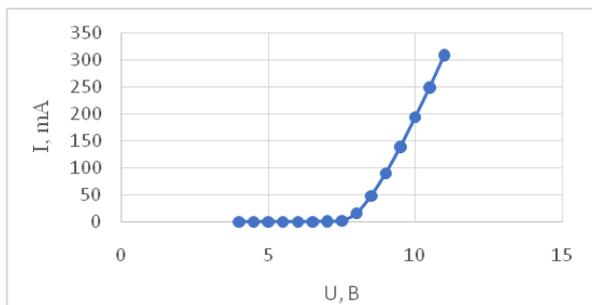


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика светодиодной COB-матрицы № 1

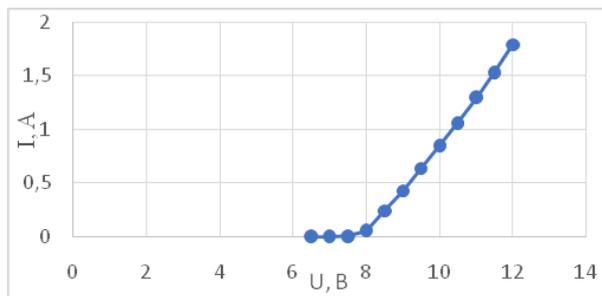


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика светодиодной COB-матрицы № 2

Анализ измерений показал, что на практике более дешевый светодиодная матрица № 1 не соответствует заявленным техническим характеристикам, имеет мощность меньше 10 Вт. Реальные технические характеристики светодиодной матрицы № 2 соответствуют заявленным.

Источники

1. Нестеркина Н.П., Коваленко О.Ю., Журавлева Ю.А. Анализ характеристик светодиодных ламп с колбой Т8 разных производителей // Светотехника. 2019. № 3. С. 59–63.

УДК 632.936.1

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТОЛОВУШЕК ДЛЯ ОТЛОВА ВОСКОВОЙ МОЛИ

Кондратьева Надежда Петровна¹, Бузмаков Даниил Викторович²,

Осокина Анастасия Сергеевна³, Большин Роман Геннадьевич⁴,

Краснолуцкая Мария Геннадьевна¹

^{1,2,4}ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА», г. Ижевск

³Удм ФИЦ УрО РАН, г. Ижевск

^{1,2,4}aep_isha@mail.ru, ³udmnii@mail.ru

В статье показаны результаты экспериментов по воздействию световых ловушек на восковую моль – основного вредителя пчелосемей. Изменение спектра и продолжительности излучения регулируется программируемым логическим микроконтроллером.

Цель работы – разработка светодиодных светоловушек для защиты пчелосемей от восковой моли.

Материалы и методы. Разработана опытная установка со светодиодами различного спектра излучения. Эксперименты проводились на бабочках восковой моли.

Результаты. Проведенные эксперименты показали, что около 50 % бабочек переместились в емкость с излучением длиной волны 400–435 нм. Для регулирования спектра и интенсивности излучения светодиодов целесообразно использовать недорогие программируемые логические микроконтроллеры, например, ATmega с платой Arduino UNO.

Ключевые слова: светодиоды, RGB, насекомые, отлов насекомых, световые ловушки, программируемые логические контроллеры.

INCREASING THE EFFICIENCY OF LED TRAILERS FOR WAX MOTH CAPTURE

Kondrateva Nadezhda Petrovna, Buzmakov Daniil Viktorovich,
Osokina Anastasia Sergeevna, Bolshin Roman Gennadievich,
Krasnolutskaya Maria Gennadievna

The article shows the results of experiments on the effect of light traps on wax moth – the main pest of bee colonies. Changing the spectrum and duration of radiation is regulated by programmable logic microcontrollers.

The aim of the work is to develop LED light traps to protect bee colonies from wax moths.

Materials and methods. A pilot plant with LEDs of various emission spectra has been developed. The experiments were conducted on wax moth butterflies.

Results. The experiments showed that about 50 % of the butterflies moved to a tank with radiation at a wavelength of 400–435 nm. To control the spectrum and intensity of the LEDs, it is advisable to use inexpensive programmable logic microcontrollers, for example, ATmega with the Arduino UNO board.

Keywords: LEDs, RGB, insects, trapping insects, light traps, programmable logic controllers.

Введение. Статистические данные показывают, что ежегодно сельское хозяйство теряет до 30 % урожая от действия вредителей, болезней и сорняков [1, 2].

Одним из существенных преимуществ световых электротехнологий при борьбе с насекомыми-вредителями является их экологическая безопасность [3, 4].

Перспективным направлением защиты сельскохозяйственных угодий, является использование устройств и приспособлений позволяющих осуществлять мониторинг о количестве, видах полезных и вредных насекомых [5]. Эффективность интегрированной защиты во многом определяется качеством мониторинга насекомых-вредителей, проведение которого целесообразно с использованием источников излучения с длиной волны в диапазоне 350–450 нм. [6].

Лёт насекомых на свет – явление парадоксальное и мало изученное. Увидев источник света летящее насекомое, поворачивает к нему и начинает сближаться. Поблизости от источника света у насекомого часто нарушаются положения и траектория движений [5, 6].

Для получения эффективной светооптической ловушки необходимо использовать RGB светодиодов с программным управлением. Аббревиатура RGB светодиодов обозначает первые буквы основных цветов на английском языке (Red, Green, Blue – красный, зелёный, синий) [7]. Используя эти три цвета, можно получить различные цвета путем смешения. Этот принцип объясняется особенностью восприятия органов зрения. Свет при таком цветовом моделировании состоит из трех каналов. Настроив процентное соотношение, между нашими каналами мы можем получить наиболее выгодную длину волны оптического электромагнитного излучения в качестве аттрактанта. Используя определённые режимы, световая ловушка может быть использована для различных видов насекомых [8, 9].

В пчелиных ульях кроме самих пчел может обитать еще одно насекомое – восковая моль, а это один из наиболее опасных вредителей для слабых и не окрепших пчелосемей. Большая и малая восковая моль откладывают в большом количестве яйца, из которых в скором времени появляются личинки, которые питаются воском, пергой и медом. Это приводит к нарушению геометрии сот, что затрудняет вывод потомства пчелосемей и сбор меда [10].

Целью работы является разработка светодиодных светодлвушек для защиты пчелосемей от восковой моли.

Основная часть. Исследования воздействия светодиодного излучения на общий прирост биомассы большой восковой моли проводились с марта по октябрь 2018 года. Экспериментальная установка состояла из пяти одинаковых емкостей диаметром 110 мм и высотой 190 мм, одна из которых была центральная и соединялась трубками диаметром 50 мм с остальными четырьмя емкостями.

Нами было проведено два эксперимента по влиянию спектра излучения на направление перемещения 20 бабочек восковой моли при 15-минутном включении светодиодов и при 7-часовом включении светодиодов.

Опыты показали, что при 15-минутном воздействии бабочки восковой моли в основном перемещались в емкость с излучением 435 нм.

Во втором эксперименте использовалась светодиодная лента SMD 5050, 5 Led, IP33, 12V, Standart, RGB. Результаты этого эксперимента подтвердили первый опыт.

Проведенные исследования по влиянию спектра оптического излучения на поведение бабочек восковой моли показали, что можно корректировать направление перемещения этих насекомых и таким образом, можно создать в улье специальные места для отлова этого вредителя. В перспективе для возможности регулирования спектра и интенсивности излучения светодиодов целесообразно использовать недорогие и удобные в эксплуатации программируемые логические микроконтроллеры, например, ATmega с платой Arduino UNO, которые нами были успешно применены ранее для аналогичных целей [9].

Заключение. Эксперименты показали, что для защиты пчелосемей от восковой моли можно использовать светодиоды с длиной волны 400–435 нм, с помощью которых можно собивать насекомых-вредителей в определенном месте в улье и отлавливать их там и сохранять 15–30 % меда в улье. Для автоматического регулирования спектра и интенсивности излучения светодиодов целесообразно использовать недорогие и удобные в эксплуатации программируемые логические микроконтроллеры.

Экономические затраты на изготовление световых ловушек составляют 10–15 % от стоимости сохраненного меда, что делает их экономически привлекательными.

Источники

1. Савчук И.В., Суринский Д.О. Общие принципы и методы исследования насекомых-вредителей // Агропродовольственная политика России. 2017. № 3 (63). С. 70–73.
2. Самков М.Н. Возможности сбора насекомых на искусственный свет в дневное время // Зоологический журнал. 1989. Т. 68, вып. 4. С. 110–113.
3. Чернышев В.Б. Экология насекомых. М.: Изд-во МГУ, 1996. С. 12–23.
4. Светоловушка для мониторинга насекомых: п. м. 146666 Рос. Федерация № 2014116485/13; заявл. 23.04.2014; опубл. 20.10.2014, Бюл. № 29.
5. Суринский Д.О. Результаты экспериментальных исследований устройства для мониторинга насекомых-вредителей // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 12 (99). С. 208–214.
6. Газалов В.С., Шабаетов Е.А., Желтобрюхов А.Н. Эффективность привлечения комаров электрооптическим преобразователем для подкормки рыбы // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 4 (21). С. 165–172.

7. Эффект от воздействия оптического излучения на восковую моль / Н.П. Кондратьева [и др.] // Перспективы развития аграрных наук: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2019. С. 87–89.

8. Кондратьева Н.П., Бузмаков Д.В. Обоснование использования световых электротехнологий для отлова насекомых // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 3 (20). С. 47–54.

9. Обоснование вида насекомых для разработки энергоэффективных энергосберегающих светодиодных ловушек / Н.П. Кондратьева [и др.] // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 4 (29). С. 38–47.

10. Карнеев Ф.Д. Дары восковой моли // Пчеловодство. 1999. № 4. С. 15–23.

УДК 621.8.035

ПРИМЕНЕНИЕ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ В СИСТЕМАХ ОСВЕЩЕНИЯ

Махмудов Изатулло Шомуродович
Таджикский национальный университет «ТНУ», г. Душанбе
mahmud_1967@mail.ru

В статье рассматривается применение мощных светодиодов для освещения в быту и на рабочем месте. В данной статье также представлены преимущества светодиодов перед другими источниками света, технология изготовления полупроводниковых материалов и характеристики мощных светодиодов.

Ключевые слова: Светоизлучающий диод, светодиодная лампа, освещения, полупроводниковый материал, Мощные светодиоды, характеристики, люминесцентная лампа.

APPLICATION OF HIGH-POWER LEDS IN LIGHTING SYSTEMS

Makhmudov Izatullo Shomurodovich

The report discusses the use of high-power LEDs for lighting in the home and workplace. The report also presents the advantages of LEDs over other light sources, manufacturing technology of semiconductor materials and characteristics of high-power LEDs.

Keywords: light-Emitting diode, led lamp, lighting, semiconductor material, high-Power LEDs, characteristic, fluorescent lamp.

В последние годы, были разработаны яркие светодиоды в широком диапазоне цветов, который теперь включает белый. Это в свою очередь, открыло массу новых применений для светодиодов в качестве источника

света со своей собственной нишей рынка, известной как «светодиоды высокой яркости» (HB LEDs). Для определения таких светодиодов также используют термины «суперяркие светодиоды», «сверхяркие светодиоды», «ультраяркие светодиоды». Существует два типа светодиодов с высокой яркостью с использованием определенных полупроводниковых материалов. На основе (AlInGaP) красные, оранжевые, зеленые и желтые светодиоды высокой яркости. Другой материал (InGaN), позволяет создать синий, сине-зеленый, чистый и совместно с желтым фосфором, белый свет. Исследования в области светоизлучающих полупроводниковых структур на основе нитрида галлия, активно проводимые в США и Япония в течение последних лет, позволили вплотную приблизиться к эре «холодного» энерго-сберегающего света [2].

Мощные светодиоды на практике применяются во множестве сфер, начиная от освещения жилых, производственных, офисных помещений и заканчивая архитектурной и даже уличной подсветкой. Полупроводниковая светотехника в настоящее время является одним из приоритетных направлений развития науки и техники на государственном уровне многих развитых стран [1]. Одним из путей энергосбережения в осветительной технике, особенно в сфере бытового освещения, является использование полупроводниковых светодиодных лампы предназначенных для прямой замены ламп накаливания. Основным элементом полупроводниковой светотехники является светоизлучающий диод (СИД) [5]. Его достоинства: высокая световая отдача (до 250 лм/Вт), тогда как для ламп накаливания (~ 18 лм/Вт), а для компактных люминесцентных световая отдача (~ 80 лм/Вт). Мощный светодиод, который используется для освещения, потребляет от 2 до 4 В постоянного напряжения, при токе от нескольких сотен мА до 1 А. В светодиодном модуле отдельные светодиоды могут быть включены последовательно, и суммарное напряжение оказывается более высоким (обычно 12 или 24 В) [4].

Длительный срок службы (СИД) порядка 80000–100000 ч, что в 20 раз больше срока службы ламп накаливания и в 5 раз больше компактных люминесцентных ламп. СИД экологический безопасен, не требует специальных средств утилизации. Именно благодаря этим качествам светодиода полупроводниковая светотехника является одним из перспективных направлений развития освещения. Такое широкое применение светодиодов объясняется прогрессом в технологиях разработки мощных диодов. Стоит заметить, что с каждым годом они все увереннее вытесняют другие, более привычные, но устаревшие источники домашнего и уличного света (лампы накаливания, галогенные лампы, компактные люминесцентные лампы) [3].

Перечислять все сферы, где их применяют можно очень долго: освещение, рабочих мест, на промышленных и производственных предприятиях, подъездов и коридоров в домах, прилавков и витрин в магазинах и др. Те светодиоды, которые используют в качестве подсветки, являются мощным, то есть по многим параметрам (световой поток, надежность, индекс светопередачи, световая отдача) совершенно не уступают, а в некоторых случаях даже превосходят привычные источники света, применяемые в осветительных приборах.

Применение светодиодов в роли источников света дает возможность значительно уменьшить все расходы электроэнергии. Именно поэтому необходимо рассматривать два главных фактора, где их преимущества применения светодиодных ламп и светильников наиболее существенны: отсутствие обслуживания и экономия электроэнергии. Подытоживая вышесказанное, можно отметить что, хотим мы того или нет, через несколько лет начнется массовое внедрение светодиодов во все сферы жизни [5]. Как транзистор вытеснил радиолампы, так и светодиоды вытеснят традиционные источники освещения.

Таким образом, при использовании нового альтернативного вида освещения вместо старых ламп накаливания, экономика электроэнергии составляет около 70–75 % а вместо компактных люминесцентных около 40–45 % .

Источники

1. Шуберт Ф.Е. Светодиоды. М.: Физматлит, 2008. 496 с.
2. Алфёров Ж.И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур // Физика и техника полупроводников. 1998. Т. 32, № 1. С. 3–18.
3. Полищук А.Г., Туркин А.Н. Концепция применения светильников со светодиодами в целях реализации программы энергосберегающего освещения // Компоненты и технологии. 2007. № 11 (76). С. 92–95.
4. Махмудов И. Использование мощных светоизлучающих диодов в медицинской технике // Матер. Респуб. науч.-теор. конф. ППС и сотр. ТНУ, посвящ. «25-летию государственной независимости Республики Таджикистан». Душанбе, 2016. С. 85
5. Махмудов И. Применение мощных светоизлучающих диодов в электронной технике // 10-я Междунар. конф. по компьютерному анализу проблем науки и технологии. Душанбе, 2015. С. 203.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ ЛАМПА

Микаева Светлана Анатольевна¹, Ларшина Эвелина Леонидовна²,
Петренко Юрий Петрович³

РТУ МИРЭА, г. Москва

¹mikaeva_s@mirea.ru, ²elarshina@yandex.ru, ³jury_05@mail.ru

В данной работе рассматриваются экспериментальные исследования сверхвысокочастотных ультрафиолетовых ламп. Описано устройство лампы, дано распределение ультрафиолетового излучения в спектре электромагнитного излучения.

Ключевые слова: лампа, диапазон излучения, электропитание, серная лампа, ультрафиолетовая лампа, сверхвысокочастотная лампа, состав.

MICROWAVE UV LAMP

Mikaeva Svetlana Anatolyevna, Larshina Evelina Leonidovna,
Petrenko Yuri Petrovich

The problems of experimental studies of ultra-high-frequency ultraviolet lamps are highlighted. The device of the lamp is described, the distribution of ultraviolet radiation in the electromagnetic spectrum is given.

Keywords: lamp, range radiation, a power supply, a sulfur lamp, UV lamp, ultra-high-frequency lamp, composition.

Производители УФ источников излучения постоянно разрабатывают и улучшают УФ лампы, так как в последнее время наблюдается рост резистентности микроорганизмов к дезинфицирующим и моющим средствам.

Одной из таких ламп является серная безэлектродная СВЧ-лампа, питание которой осуществляется частотой 1–2,3 ГГц. Важной характеристикой УФ лампы является спектральный состав излучения – заполнение определенных спектральных интервалов, а также интенсивность излучения в этих интервалах. Приведенная в данном исследовании СВЧ-лампа может эффективно использоваться в видимом диапазоне.

Аналогом лампы, используемым в данном исследовании, является лампа PRIMARC мощностью 600 Вт типа М6013 (М6014), с внешним диаметром 15 мм и ртутным наполнением [1]. Лампа, представленная в настоящей статье, имеет тот же блок питания и конструкцию, но иное наполнение. Устройство УФ лампы представлено на рисунке, а наполнение – в таблице.

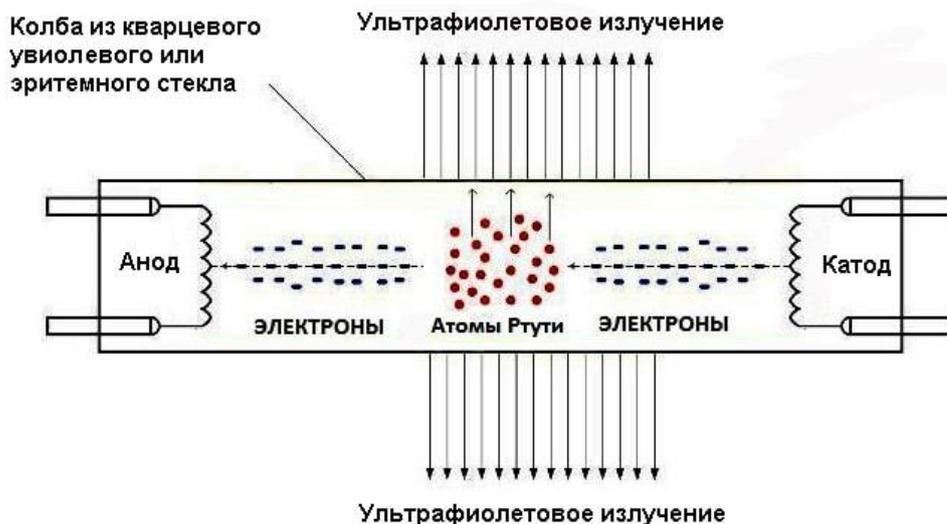


Рис. 1. Устройство ультрафиолетовой лампы

Содержание компонентов, входящих в состав УФ СВЧ-лампы

Вещество	Ртуть	Галлий	Индий	Цинк	Кадмий
Содержание, мас. %	30–70	7–12	6–15	10–28	7–15

Экспериментальное исследование показало, что введение цинка и кадмия расширяет спектральный состав ультрафиолетовой лампы, длины волн такого наполнения покрывают практически весь ультрафиолетовый диапазон [2]: 185, 214, 229, 254, 308, 326, 403, 410, 417, 451 нм. И если у индия и галлия излучение проявляется в основном в длинноволновом УФ-диапазоне, то предлагаемое решение позволяет получить излучение и в более коротковолновом диапазоне, что в целом повышает интенсивность излучения данной лампы.

При сравнительных испытаниях, регулируя процентный состав наполнения УФ СВЧ-ламп, можно менять интенсивность излучения и расширять спектральный состав излучения в УФ-диапазоне.

Необходимо также отметить, что предлагаемый состав наполнения колбы лампы эффективен в технологическом и экологическом отношении: из предлагаемых компонентов несложно изготовить амальгаму и удобную для дозировки ламп, и менее опасную, чем чистая ртуть.

Число вариантов наполнения колбы лампы может быть достаточно велико, однако предлагаемый состав уже используется в установке для удаления запахов на промышленном светотехническом производстве в качестве первого звена, дающего эффективный озоновый ультрафиолет [5–9].

Источники

1. «Колба из кремниевого кварца очищенного» [Электронный ресурс]. URL: http://atd.ru/ATD_press/Flex/Primarc-UV_lamp.pdf (дата обращения: 28.10.2010).
2. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. М.: Энергоатомиздат, 1991. 720 с.
3. Микаева С.А., Микаева А.С., Бойчук М.И. Сборка установки удаления запахов контейнерного типа // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2016. № 3. С. 28–35.
4. Микаева С.А., Микаева А.С. Экспериментальные исследования характеристик перспективных источников света, приборов и систем. М.: РУСАЙНС, 2017. 136 с.
5. Микаева С.А. Повышение качества технологии производства приборов, установок и систем на базе перспективных источников света [Электронный ресурс]: моногр. М.: МИРЭА, 2017. 1 электр. опт. диск (CD-ROM).
6. Микаева С.А. Производство приборов и систем с новейшими источниками света. М., РУСАЙНС, 2018. 135 с.
7. Микаева С.А., Микаева А.С., Бойчук М.И. Сборка установки очистки воздуха // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2017. № 7. С. 302–307.

УДК 628.94:621.327.54

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОГАЛОГЕННЫХ ЛАМП ТИПА ДМГТ 150 Вт/942

Нестеркина Нина Петровна¹, Комаров Никита Сергеевич²
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева», г. Саранск
¹nesterkina.n@mail.ru, ²nkomarov96@mail.ru

Статья посвящена исследованию характеристик металлогалогенной лампы типа ДМГТ 150 Вт/942 производства ООО «Лисма».

Ключевые слова: металлогалогенная лампа, период разгорания, световой поток, индекс цветопередачи, исследование.

STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF METAL HALIDE LAMPS TYPE DMGT 150 W/942

Nesterkina Nina Petrovna, Komarov Nikita Sergeevich

The article is devoted to the study of the characteristics of the metal halide lamp type DMGT 150 W/942 “Lisma” LLC production.

Keywords: metal halide lamp, burn-up period, luminous flux, color rendering index, study.

Постоянное усовершенствование металлогалогенных ламп (МГЛ) позволяет создавать лампы с более высокими световыми параметрами, улучшенной цветопередачей, повышенным сроком службы.

В 2017 г. ООО «Лисма» приступило к выпуску МГЛ типа ДМГТ 150 Вт/942. Лампа имеет повышенную световую отдачу, высокий индекс цветопередачи, увеличенный срок службы [1].

В лаборатории ЦКП «Светотехническая метрология» (институт электроники и светотехники МГУ им. Н.П.Огарева) были проведены исследования характеристик МГЛ типа ДМГТ 150 Вт/942.

Исследования проводились на измерительном комплексе фирмы Gooch&Housego, включающем в себя фотометрический шар OL IS 7600 диаметром 2 м, спектрорадиометр OL 770 VIS/NIR, прецизионный источник постоянного тока для питания вспомогательной лампы.

Сначала были измерены характеристики ламп в период разгорания в фотометрическом шаре. Результаты представлены на рис. 1 и 2.

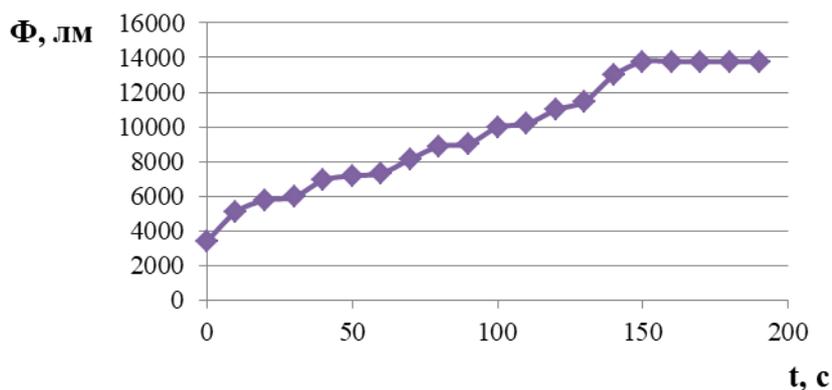


Рис. 1. Изменение светового потока лампы типа ДМГТ 150Вт/942 в период разгорания

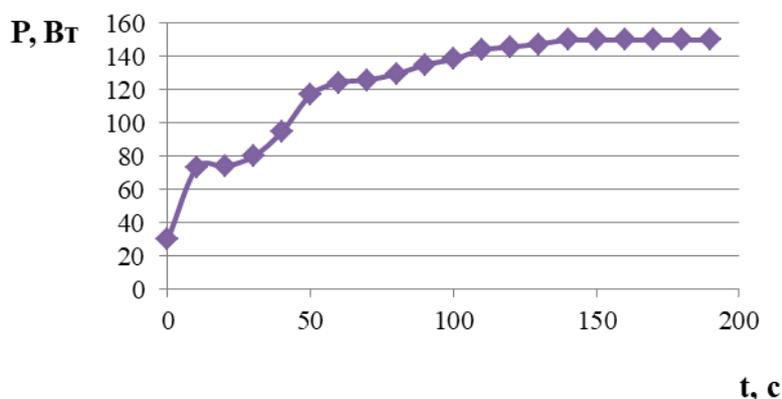


Рис. 2. Изменение мощности лампы типа ДМГТ 150 Вт/942 в период разгорания

Анализ результатов исследований показал, что время разгорания лампы типа ДМГТ 150 Вт/942 составило 150 с.

Исследование электрических, световых и цветовых параметров лампы проводилось после стабилизации характеристик лампы, после непрерывного горения в течение 15 минут согласно [2]. В таблице приведены результаты измерений исследуемой лампы в сравнении с параметрами, заявленными изготовителем и в сравнении с лампами-аналогами зарубежных фирм [3, 4].

Параметры металлогалогенных ламп

Параметры ламп	ДМГТ 150 Вт/942 ООО «Лисма»		НСИ-Т/Р 150/942 NDL РВ Osram	MH-SE-150 Uniel
	заявленные значения	измеренные значения		
Световой поток, лм	13200	13770	14500	11250
Коррелированная цветовая температура, К	4200	4172	4200	4200
Общий индекс цветопередачи, Ra	90	90	90	90
Мощность, Вт	150	150	150	150
Световая отдача, лм/Вт	88	91,8	96	75
Срок службы, ч	15000		12000	10000

Анализ результатов измерений показал:

- экспериментальные значения электрических параметров соответствуют заявленным;
- экспериментальное значение светового потока не только соответствует заявленному, но и превосходит его на 570 лм;
- экспериментальное значение световой отдачи превосходит заявленное значение;
- коррелированная цветовая температура практически соответствует заявленным;
- индекс цветопередачи соответствует заявленному ($R_a = 90$);
- экспериментальные значения характеристик ламп типа ДМГТ 150 Вт/942 находятся практически на уровне аналогов зарубежных фирм производителей МГЛ мощностью 150 Вт: чуть уступают по световому потоку лампам фирмы Osram, но превосходят лампы фирмы Uniel.

Таким образом, в результате исследований характеристик лампы типа ДМГТ 150 Вт/942 выявлено, что основным достоинством этой лампы является индекс цветопередачи 90 при высокой световой отдаче, благодаря

чему эту лампу можно использовать в осветительных приборах для целей освещения там, где нужно хорошо различать объекты по цвету – это музеи, выставки, магазины, текстильные предприятия и др.

Источники

1. Каталог продукции ООО «Лисма» [Электронный ресурс]. URL: <https://lisma.su/katalog-produktsii/index.html> (дата обращения: 23.10.2019).

2. ГОСТ Р 53075-2008 (МЭК 61167-1992). Лампы металлогалогенные. Эксплуатационные требования. М.: Стандинформ, 2009. 15 с.

3. «POWERBALL HSI-T/P Металлогалогенные лампы для открытых и закрытых светильников» [Электронный ресурс]. URL: https://stk-svet.ru/products/osram/powerball_hci_t_p.html (дата обращения: 23.10.2019).

3. «Каталог продукции Uniel № 23» [Электронный ресурс] // Свет высоких технологий: сайт. URL: <https://uniel.ru/presentations/katalogi/> (дата обращения: 23.10.2019).

УДК 628.9.041.8:621.384.4

ОБЗОР УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭРИТЕМНОГО ДЕЙСТВИЯ

Нестеркина Нина Петровна¹, Кузнецов Евгений Александрович²

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева», г. Саранск

¹nesterkina.n@mail.ru, ²kuznecov-e@mail.ru

В данной работе приведен обзор ультрафиолетовых источников излучения эритемного действия, а также приведены различные области применения рассматриваемых ламп.

Ключевые слова: эритемная лампа, облученность, мощность, спектр, люминофор, длина волны.

OVERVIEW OF ULTRAVIOLET SOURCES OF RADIATION OF REDUCTION AND SPECIAL ACTION

Nesterkina Nina Petrovna, Kuznetsov Evgeny Aleksandrovich

This paper provides an overview of ultraviolet sources of erythemal of radiation, as well as the various applications of the lamps in question.

Keywords: erythema lamp, irradiance, power, spectrum, phosphor, wave length.

Эритемное излучение – ультрафиолетовое (УФ) излучение, длины волн которого находятся в спектральной области от 280 до 380–400 нм, и оказывающее в малых дозах полезное действие на организм человека и животных.

Практика применения оптического излучения для лечебных целей основана на опыте тонизирующего и терапевтического действия солнечных лучей. В настоящее время известно действие УФ излучения на обмен веществ, дыхательные процессы, активизацию кровообращения, повышение содержания гемоглобина в составе крови, а также на активизацию деятельности желез внутренней секреции и на другие функции человеческого организма. Активизация многих функций организма в результате поглощения фотонов УФ излучения обеспечивает оздоровительное и тонизирующее влияние на человека [1].

Для создания установок эритемного облучения в настоящее время широко применяются ртутные эритемные лампы, предназначенные для использования УФ излучения; они разработаны и изготавливаются отечественной промышленностью двух видов: низкого и высокого давления с отражающим покрытием в колбах из увиолевого стекла.

Эритемные люминесцентные лампы излучают в диапазоне длин волн 300–310 нм. Используются люминофоры Э1 (фосфат кальция и цинка, активированный таллием – 312 нм), Э2 (фосфат кальция, цинка, магния, активированный таллием) или Э3 (силикат бария, цинка, активированный свинцом – 300–305 нм).

Люминесцентные эритемные лампы низкого давления изготавливаются в колбе Т8 из увиолевого стекла, пропускающего УФ-излучение.

Широкую номенклатуру люминесцентных эритемных ламп выпускает НИИС им А. Н. Лодыгина (табл. 1) [2]: Л – люминесцентная, Э – эритемная, П – внешняя защитная пленка.

Лампы категории Animal (А) используются для профилактического ультрафиолетового облучения животных и птиц в зимний период времени в закрытых помещениях, повышая их продуктивность и воспроизводство.

Лампы категории Human (Н) используются в облучательных установках для профилактического ультрафиолетового облучения людей. В результате воздействия улучшается общее состояние организма, повышается иммунитет, настроение и трудоспособность.

Использование ламп компенсирует недостаток естественной солнечной облученности.

Спектр излучения эритемных ламп, выпускаемых НИИС им. А.Н. Лодыгина, представлен на рис. 1 [2].

Таблица 1

Параметры эритемных ламп, выпускаемых НИИС им. А.Н. Лодыгина

Тип лампы	Мощность, Вт	Ток, А	Напряжение на лампе, В	Эритемная облученность, мВт/м ² *	Продолжительность горения, ч
ЛЭ 10 А / ЛЭ 10 АП	10	0,23	40	15/13	2000
ЛЭ 10 Н / ЛЭ 10 НП	10	0,23	40	8/6	2000
ЛЭ 15 А / ЛЭ 15 АП	15	0,33	54	35/30	5000
ЛЭ 15 Н / ЛЭ 15 НП	15	0,33	54	12/10	5000
ЛЭ 30 А / ЛЭ 30 АП	30	0,36	104	85/72	5000
ЛЭ 30 Н / ЛЭ 30 НП	30	0,36	104	24/21	5000
ЛЭ 40 А / ЛЭ 40 АП	40	0,43	100	120/100	5000
ЛЭ 40 Н / ЛЭ 40 НП	40	0,43	100	35/31	5000

Примечание: * – после 10 ч горения, на расстоянии 1 м

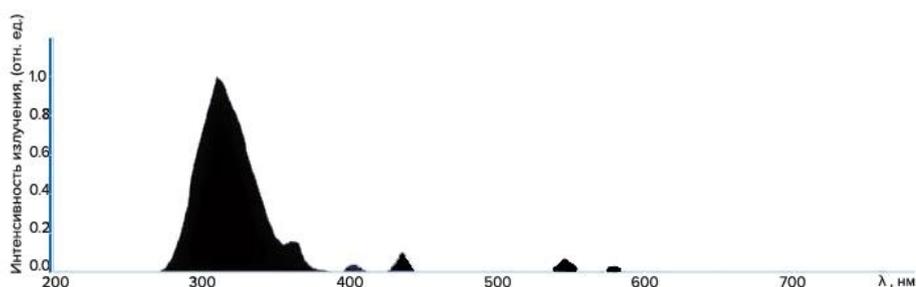


Рис. 1. Спектр излучения эритемных ламп

Номенклатура эритемных ламп высокого давления представлена в табл. 2 [3]: Д – дуговая или диффузная, Р – ртутная, В – с вольфрамовой спиралью, Э – эритемная.

В лампах этого типа внешние колбы выполняются специальной формы с зеркальным или диффузным покрытием (тип ДРВЭД), благодаря чему удается получить желаемое распределение потока излучения без дополнительной арматуры. Области применения ламп типа ДРВЭД – эритемное облучение людей и животных и одновременно общее освещение.

Таблица 2

Параметры эритемных ртутных ламп высокого давления

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Эритемный поток, мэр	Эритемная облученность, на расстоянии 0,5 м, мэр/м ²	Световой поток, лм	Продолжительность горения, ч
ДРВЭД-220-160	160	220	350	45	1200	1500
ДРВЭД-220-250	250	220	600	100	3250	1500

Эритемные лампы применяются в сельском хозяйстве, медицине, технике, а также для облучения людей, работающих в помещениях без естественного света, для содержания животных в зимний период времени с целью устранения ультрафиолетовой недостаточности.

Источники

1. Комарова А. А. Лечебное и профилактическое применение ультрафиолетовых лучей. Л.: Медгиз, 1958. 100 с.
2. Каталог продукции ООО «НИИИС имени А.Н. Лодыгина» [Электронный ресурс]. URL: <https://vniiis.ru/shop/> (дата обращения: 27.10.2019).
3. «Технические данные ламп ртутных сверхвысокого давления» [Электронный ресурс]. URL: <http://electrospb.ru/0202-tehnicheskie-dannye-lamp-rtutnyh-sverhvyssokogo-davlenija-tipa-drsh> (дата обращения: 27.10.2019).

УДК 628.979

STAR LED НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Петрова Вера Александровна¹, Микаева Светлана Анатольевна²
РТУ МИРЭА, г. Москва
¹vera.petrova.1999@mail.ru, ²mikaeva_sa@mgupi.ru

В статье представлены универсальные светильники нового поколения Star Led, предложена структура их семейства и даны их базовые характеристики. Описаны модельные группы со степенью защиты IP43 и IP43.

Ключевые слова: светильник, защита, характеристики, структура, семейства, группы.

STAR LED NEW GENERATION UNIVERSAL LAMPS

Petrova Vera Alexandrovna, Mikaeva Svetlana Anatolyevna

The article presents the universal lamps of the new generation Star Led, the structure of their family is proposed and their basic characteristics are given. Model groups with IP43 and IP43 degree of protection are described.

Keywords: lamp, protection, characteristics, structure, families, groups.

Компания ООО «Ксенон» (г. Москва) представила для светотехнического рынка России и стран СНГ новое семейство светодиодных светильников под торговой маркой Star Led представленные на рисунке. Основные модельные ряды светильников Star Led и их базовые характеристики приведены в таблице и в [1–3].



Рис. 1. Светодиодный светильник марки Star Led

Светильники Star Led имеют сверхвысокий уровень надежности, гарантирующий их безотказную работу в течение долгого времени эксплуатации за счет высокого качества применяемой комплектации, а также конструктивных решений по тепловой независимости светоизлучающего и управляющего блоков. Оптическая система имеет высокие показатели по светопропусканию, что способствует повышению энергоэффективности светильника в целом, и обладает повышенной стойкостью к излучениям ультрафиолетового спектра [1–3].

Основные модельные ряды светильников Star Led и их базовые характеристики

Наименование	Мощность (проектная/ фактическая), Вт	Энергетическая эффективность светодиодных модулей, лм/Вт	Световой поток светодиодных модулей, лм	Размеры Д×Ш×В, мм	Масса, кг (не более)	Гаран- тийный срок
Степень защиты – IP43						
STAR50Led-001	50/47	130	6350	450×190×45	3	3 года
STAR100Led-001	100/94		12700	450×325×45	4,5	
STAR150Led-001	150/141		19050	450×450×45	5,8	
Степень защиты – IP65						
STAR50Led-011	50/38	180	6800	520×190×45	3,3	5 лет
STAR100Led-011	100/76		13600	520×325×45	4,9	
STAR150Led-011	150/114		20400	520×450×45	6,3	
STAR50Led-012	50/38		6800	520×190×45	3,3	
STAR100Led-012	100/76		13600	520×325×45	4,9	
STAR150Led-012	15-/114		20400	520×450×45	6,3	

Структура семейства Star Led состоит из двух основных модельных групп, со степенью защиты IP43 в климатическом исполнении УХЛ4 и со степенью защиты IP43 в климатическом исполнении У1 [4, 5].

В светильниках Star Led со степенью защиты IP65 применяются светодиодные модули, в которых установлены высокоэффективные (до 200 лм/Вт) светодиоды SZ5M (Seoul Semiconductor) в корпусе 3535. Срок службы этих светодиодов по результатам теста LM80 при токе 1200 мА и при $T_s = +105$ °С заявлен производителем 140 000 ч. Учитывая, что режим работы указанных светодиодов в светильниках Star Led конструктивно установлен на 350 мА – на бесперебойную работу светильников всем потребителям предоставлена базовая гарантия в течение 5 лет. По выбору клиента в них может устанавливаться вторичная оптика с различными углами раскрытия светового потока, что позволит потребителю и проектировщику профессионально и просто решать вопросы качества как промышленного, так и уличного освещения с минимальными энергетическими затратами по обеспечению необходимой освещенности нужной площади с определенной высоты. Источники питания имеют несколько уровней защиты, включая защиту во время грозы, защиту от 380 В, а также высокую стойкость к микросекундным импульсам большой энергии. В светильниках реализована функция экспресс-подключения светильников к питающей сети через внешнюю герметичную клеммную колодку со степенью защиты IP67, которая не требует от монтажника привычного, ранее неизбежного вскрытия светильника.

В светильниках Star Led модельной группы со степенью защиты IP43, применяются светодиоды smd2835 от компании Honglitrone или других производителей, с гарантийным сроком эксплуатации светодиодов не менее 60 000 ч и их энергоэффективностью по потребляемой мощности из сети до 150 лм/Вт. Источники питания соответствуют стандартам по ЭМС и гармоникам сетевого тока, имеют хорошие характеристики по коэффициентам мощности ($\geq 0,98$) и пульсации и светового потока (≤ 1).

Все модификации светильников Star Led абсолютно универсальны в плане выбора способа монтажа и могут комплектоваться специальными крепежными элементами для их установки, которые сами по себе конструктивно уникальны и универсальны.

Все многообразие модификационных исполнений по степени защиты, световому потоку, а также опционное обеспечение по способу монтажа позволит прямому потребителю или проектной организации легко и быстро выбрать нужную модель светильника, чтобы решить конкретные задачи по освещению общественных или производственных помещений, дорог и открытых территорий или площадок различного назначения.

Источники

1. Микаева С.А., Микаева А.С. Современные электронные системы и устройства. М.: РУСАЙНС, 2019. 188 с.
2. Микаева С.А., Микаева А.С. Экспериментальные исследования характеристик перспективных источников света, приборов и систем. М.: РУСАЙНС, 2017. 136 с.
3. Микаева С.А. Производство приборов и систем с новейшими источниками света. М.: РУСАЙНС, 2018. 135 с.
4. Брысин А.Н., Микаева С.А. Электротехника. Казань: Бук, 2018. 228 с.
5. Брысин А.Н., Микаева С.А. Промышленная электроника. Импульсные устройства и основы микропроцессорной техники. Казань: Бук, 2019. 252 с.

УДК 621.382.2

ВАРИАНТ УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОДИОДНОЙ МАТРИЦЕЙ С ПОМОЩЬЮ ОДНОПЛАТНОГО МИКРОКОМПЬЮТЕРА

Рудковская Дарья Сергеевна, Журавлева Юлия Алексеевна,
Микаева Светлана Анатольевна
РТУ МИРЭА, г. Москва
ulypil@mail.ru

Работа посвящена выбору и разработке управления светодиодной матрицы на основе проведенных ранее исследований авторов, которая получает в последнее время все большее распространение и актуальность. Приведены технические характеристики оптического прибора – светодиодной матрицы.

Ключевые слова: оптическое излучение, светодиодная матрица, управление, микрокомпьютер, подсветка

LED MATRIX CONTROL OPTION WITH SINGLE-PLATED MICROCOMPUTER

Rudkovskaya Daria Sergeevna, Zhuravleva Julia Alekseevna,
Mikaeva Svetlana Anatolyevna

The work is devoted to the selection and development of LED matrix control based on the earlier studies of the authors, which has recently become more widespread and relevant. The technical characteristics of the optical device – LED matrix.

Keywords: optical radiation, LED matrix, control, microcomputer, backlight.

Светодиодные матрицы находят применение во многих отраслях, которые направлены на снижение затрат на электроэнергию, имеют высокие значения эксплуатационных параметров, таких как оптическая мощность излучения, высокая надежность и сравнительно невысокая стоимость [1–3].

Использование средств отображения информации на данный момент актуально и востребовано. Для отображения полноцветных эффектов была приобретена светодиодная матрица RGB LED HAT на основе светодиодов WS2812B, излучающих в различных областях оптического спектра. Светодиодная матрица RGB LED HAT управляется одним сигнальным выводом и поддерживает все версии микрокомпьютера Raspberry Pi (внешний вид – рис. 1 а, б, характеристики представлены в таблице).

Технические характеристики исследуемой светодиодной матрицы

Рабочее напряжение	5 В
Яркость	Регулируемая 256 уровней
Глубина цвета	24-битный истинный цвет (8 бит – R/G/B, 16777216 цветов)
Размер	65×30,2 мм
Количество светодиодов	4×8 RGB LED (WS2812B)

В качестве управления светодиодной матрицей был приобретен компьютер Raspberry Pi Model B+, с энергопотреблением – 459 мА (2,295 Вт) в среднем (режиме ожидания), 1,13 А (5,661 Вт), который имеет возможность присоединения к нему светодиодной матрицы, имеет наличие выводов общего назначения (General Purpose Input/Outputs – GPIO – группа контактов, к которым можно подключать разнообразные исполнительные устройства (внешний вид на рис. 1, в).

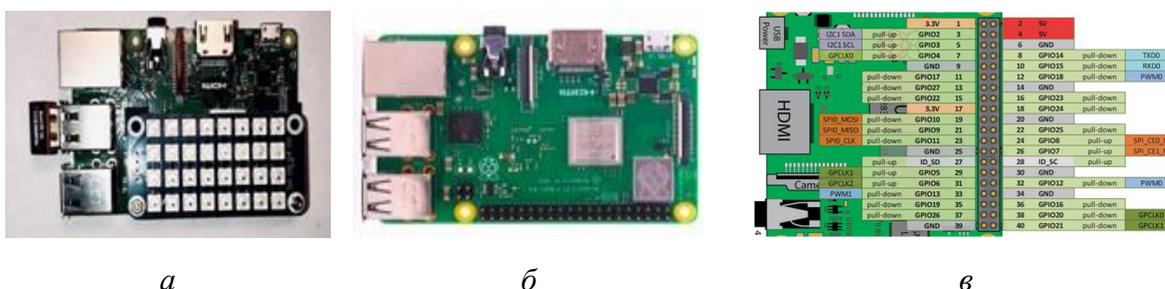


Рис. 1. Внешний вид подключенной через GPIO порты светодиодной матрицы RGB LED HAT (а), Raspberry Pi 3 Model B+ (б) и схема GPIO на Raspberry Pi 3 B+ (в)

Поскольку компьютер был приобретен без операционной системы (ОС), самой первой задачей стояла установка ОС, в качестве которой по техническим характеристикам была выбрана Raspbian. В качестве носителя используется обычная MicroSD карта 16 Gb, подключенная к Raspberry Pi. Для этого она была отформатирована в FAT32, на которую после был установлен образ ОС. Для установки и подключения использовалась стандартная клавиатура. Для работы с GPIO был выбран пакет RPIO, который работает с портами GPIO напрямую, обращаясь к регистрам BCM2708 через специальное устройство/dev/mem. Была использована библиотека gri_ws281x - пользовательская Raspberry Pi PWM библиотека для светодиодов WS281X.

Управление светодиодной матрицей осуществлялось через «безопасную оболочку» Secure Shell, подключенной с другого компьютера через одну и ту же локальную сеть, что и Raspberry Pi. Управление светодиодной матрицей, с помощью которой было достигнуто поочередное мигание различных цветов (рис. 2), которым можно задать конкретную команду, было выполнено на программе на Python.



Рис. 2. Изображений светодиодной матрицы при управлении при управлении одноплатным микрокомпьютером Raspberry Pi

С помощью управления данной светодиодной матрицы можно достичь автоматизации различных операций, например, автоматическое включение и выключение заданного режима освещения и др.

Источники

1. Моделирование спектра солнечного излучения с помощью светодиодов / В. Афонин // Фотоника. 2016. № 2 (56). С. 72–77.
2. Знаменский Д.А., Гринько С.С., Игнатова Т.М. Разработка системы управления матричными светодиодными индикаторами // Биомедицинская инженерия и электроника. 2015. № 2 (9). С. 32–35.
3. Микаева С.А. Производство приборов и систем с новейшими источниками света. М.: РУСАЙНС, 2018. 135 с.

ВЛИЯНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОРГАНА ЗРЕНИЯ

Русайкин Владимир Сергеевич¹, Ашрятов Альберт Аббасович²
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск
¹rusyaikin94@mail.ru, ²ashryatov@rambler.ru

В данной работе рассматриваются результаты экспериментальных исследований показателей функционального состояния органа зрения при светодиодном освещении. Оценены интегральные показатели эффективности освещения светодиодами по зрительной работоспособности и степени зрительного утомления. Показана практическая значимость полученных результатов.

Ключевые слова: светодиоды, освещение, психоэмоциональное состояние, показатели, влияние, исследование.

THE INFLUENCE OF LED RADIATION ON THE FUNCTIONAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE ORGAN OF VISION

Rusyaikin Vladimir Sergeevich, Ashryatov Albert Abbyasovich

This paper discusses the results of experimental studies of indicators of the functional state of the visual organ in led lighting. Estimated integral indicators of the efficiency of led lighting on visual performance and the degree of visual fatigue. The practical significance of the results is shown.

Keywords: LEDs, lighting, psycho-emotional state, indicators, influence, research.

В современном обществе большое внимание уделяется созданию благоприятной световой среды, которая предполагает использование света не только для выполнения зрительной работы, но и для удовлетворения целого комплекса потребностей человека – физиологических, эргономических, психологических, экологических.

В Российской Федерации отсутствует обязательная сертификация важнейших характеристик светотехнической продукции (индекса цветопередачи, светового потока, световой отдачи). Также не разработано должное гигиеническое нормирование светодиодных источников света, что затрудняет их масштабное внедрение в качестве основного освещения. Более того, влияние и отдаленные последствия длительного воздействия светодиодного освещения на организм человека до конца не изучены.

Таким образом, научно-практические изыскания в данном направлении являются в настоящее время актуальными и своевременными.

В связи с этим проводится большое количество исследований направленных на влияние светодиодного излучения на функциональные и физические показатели органа зрения.

В Санкт-Петербургском Государственном Университете совместно с Римским университетом «Sapienza» было проведено исследование перспектив влияния режимов освещения с помощью «интеллектуального освещения» на изменение функционального состояния человека [4].

На базе Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарева в ходе исследований, направленных на исследование влияния светодиодного освещения, была разработана методика исследования гигиенической эффективности освещения светодиодными источниками света [3].

При подобного рода исследованиях важным является принцип комплексного изучения физиологических функций, при котором результаты, полученные с помощью различных методов, дополняя друг друга, разносторонне отражают состояние органа зрения и организма в целом.

Многими авторами показана зависимость состояния зрения от условий освещения. Установлено влияние их на состояние зрительных функций – устойчивость ясного видения, скорость различения детали, разрешающую способность глаза, контрастную чувствительность и др.

Исходя из анализа теоретического и экспериментального материала, был предложен подход к оценке функционального состояния органа зрения в условиях светодиодного освещения, включающий исследования [1].

Исходя из анализа теоретических и экспериментальных материалов, был предложен комплексный подход к оценке психофизиологической эффективности светодиодного освещения, который включает, прежде всего, исследование функциональных показателей органа зрения [2]. Исследования, проведенные по комплексной методике, позволят определить обоснованные области применения светодиодного освещения, безопасного для зрения и здоровья.

На базе НИИ иммунологии, научно-образовательного центра «Проблемы фундаментальной медицины» ГБОУ ВПО ЮУГМУ Минздрава России проведена оценка влияния искусственного освещения с использованием светодиодов и люминесцентных разрядных источников света на психофизиологический статус и функциональное состояние зрительного анализатора у 60 добровольцев в возрасте от 20 до 25 лет с нормальным зрением или с его очковой коррекцией [5].

На основании проведенных исследований сформулированы рекомендации для создания установок искусственного освещения, безопасных для зрительной системы и общего состояния организма человека [2].

Проведенный выше анализ показывает необходимость дальнейших исследований как зрительных, так и биологических, психофизиологических процессов влияния света, генерируемого светодиодными источниками на организм и разработки комплексной системы параметров и критериев для их оценки.

Источники

1. Железникова О.Е., Абрамова Л.В. Психофизиологическая и гигиеническая оценка освещения натриевыми лампами высокого давления: моногр. Саранск: СВМО, 2005. 116 с.

2. Амелькина С.А., Абрамова Л.В. Принципы и методы оценки световой среды, создаваемой высокоэффективными источниками света: моногр. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2008. 118 с.

3. Амелькина С.А., Абрамова Л.В. Исследование интегральных показателей зрительной работы в условиях освещения металлогалогенными лампами малой мощности // Светотехника. 2007. № 3. С. 54–55.

4. Исследование перспектив влияния режимов освещения с помощью «интеллектуального освещения» на изменение функционального состояния человека / Д.Н. Берлов [и др.]. СПб., 2015.

5. Кучма В.Р., Текшева Л.М., Сухарева Л.М. Гигиенические основы использования светодиодов в системах искусственного освещения. М.: Издатель ФГБУ «Научный центр здоровья детей» РАМН, 2013. 246 с.

УДК 621.3.087.9:621.382.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОБИЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ НЕРУСУРСОЁМКИХ ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕТОДИОДОВ

Севостьянов Андрей Александрович¹, Журавлева Юлия Алексеевна²,
Микаева Светлана Анатольевна³

РТУ МИРЭА, г. Москва

¹valsgeorg@mail.ru, ²ulypil@mail.ru, ³mikaeva_s@mirea.ru

Цель работы – показать возможности мобильных вычислительных платформ на примере платформы OrangePi PC Plus для различных нересурсоёмких задач с использованием полупроводниковых источников света.

Ключевые слова: светодиод, мобильная вычислительная платформа, сеть электропитания.

STUDY OF POSSIBILITY OF MOBILE COMPUTER PLATFORMS FOR NON-RESOURCE-TASK PROBLEMS USING LEDS

Sevostyanov Andrey Alexandrovich, Zhuravleva Yulia Alekseevna,
Mikaeva Svetlana Anatolyevna

The aim of the work was to show the capabilities of mobile computing platforms using the OrangePi PC Plus platform as an example for various non-resource-intensive tasks using semiconductor light sources.

Keywords: LED, mobile computing platform, power supply network.

В настоящее время активно используются мобильные платформы в качестве замены персонального компьютера для автоматизации тех или иных операций [1, 2]. Данная работа выполнена с целью показать возможности мобильных вычислительных платформ на примере платформы OrangePi PC Plus для нересурсоёмких задач с использованием полупроводниковых источников света. В данном проекте использованная плата используется в качестве будильника. Технические характеристики OrangePi PC Plus представлены в таблице.

Технические характеристики OrangePi PC Plus

Hardware specification	
Onboard network	10/100 Ethernet RJ45
Audio output	3.5 mm Jack and HDMI
Power source	DC input, USB OTG input don't supply power
LED	Power led & Status led
Key	IR input,POWER

В работе предложен и проверен на практике следующий алгоритм:

1. Программа проверяет наличие в OS на OrangePi (используемая мобильная платформа) необходимой для её работы mpg123 (простой аудиодекодер для воспроизведения различных форматов).

1.1. Если программа отсутствует, то приложение будильника предлагает его установить. В случае непредвиденных ошибок или завершения самим пользователем, аварийно завершает работу программы.

1.2. Если программа есть в наличии, то запускается основное приложение будильника. Вводим “Y” и нажимаем Enter. Программа запустит установку.

2. Выбор дня недели, на который устанавливается будильник.
3. Выбор времени срабатывания будильника.
4. Выбор музыкальной композиции для проигрывания будильником.
5. Запуск.

Также в ходе исполнения могут возникать непредвиденные ошибки, как в ходе работы самой программы и системы, в которой она работает. Программа умеет обрабатывать все внештатные исключения, которые могут возникнуть и реагирует на них.

Подключение и работа с платой осуществляется в следующем порядке:

1. Подключаем оборудование в сеть электропитания, подключаем к сети, в которой мы работаем с ней, посредством включения LAN кабеля в соответствующий разъем и подключаем аудиоустройство.

2. Включаем устройство.

3. Заходим в настройки роутера и смотрим в разделе «DHCP-сервер» подключения и находим нашу плату. Если режим «DHCP-сервера» отключён – включаем и проверяем IP адрес нашей платы.

4. Если на плате ещё нет «будильника» – его можно добавить посредством команды `scp`: .

После самой команды идёт аргумент «-r» указывающий команде, что копировать мы будем папку. Следующий аргумент – путь до папки с приложением будильника, включая саму папку. Вводим пароль и ждём автоматического копирования файлов на плату.

5. Подключаемся к плате посредством `ssh`.

6. Вводим пароль доступа: ВАЖНО! при вводе пароль не будет отображаться.

7. Заходим в папку к сервису.

8. Запускаем приложение будильника (перед названием самого приложения нужно написать `python 3` – это интерпретатор, который будет выполнять приложение будильника).

- 8.1. Для корректной работы программы необходимо создать папку `Music` в папке будильника и добавить туда музыку, которую будет использовать программа в дальнейшем для того, чтобы выполнять команду.

9. Готово.

В заключение необходимо отметить, что код программы для исследуемой платформы со светодиодами можно по аналогии применить для включения/выключения освещения, с целью задания требуемых режимов освещения.

Источники

1. Аверченков О.Е. Схемотехника: аппаратура и программы. М.: ДМК, 2014. 588 с.
2. Микаева С.А. Производство приборов и систем с новейшими источниками света. М.: РУСАЙНС, 2018. 135 с.

УДК 628.9:621.384

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ЛАМП

Чуракова Динара Камилевна¹, Шкарин Вадим Иванович²,
Чижиков Сергей Игоревич³, Кузяков Антон Валерьевич⁴

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва, г. Саранск

¹emerald1992@mail.ru, ²vadimshkarin@yandex.ru, ³ser.chizhikov@yandex.ru,

⁴anton.kuzyakov1997@gmail.com

В статье приводятся результаты исследования распределения энергии излучения в разных областях ультрафиолетового спектра эквивалентных по мощности источников ультрафиолетового излучения.

Ключевые слова: ультрафиолет, ближний ультрафиолет, ультрафиолетовая лампа, увиолевое стекло, лампа чёрного света, бактерицидная лампа, энергетическая освещенность.

ULTRAVIOLET LAMP ENERGY DISTRIBUTION STUDY

Churakova Dinara Kamilevna, Shkarin Vadim Ivanovich,
Chizhikov Sergey Igorevich, Kuzyakov Anton Valerievich

The article provides the results of a study of the distribution of radiation energy in different regions of the ultraviolet spectrum of power-equivalent sources of ultraviolet radiation.

Keywords: ultraviolet, near ultraviolet, ultraviolet lamp, uviol glass, black light lamp, bactericidal lamp, energy illumination.

Цель проведения работы заключается в исследовании распределения энергии излучения ультрафиолетовых ламп.

Для исследования распределения энергии излучения в разных областях ультрафиолетового диапазона оптической области спектра были выбраны ультрафиолетовые лампы мощностью 9 Вт с цоколем G23.

Лампа черного света (рис. 1, *а* – образец № 1) была использована как эталонная по отношению к другим исследуемым источникам из-за ярко выраженного спектра с максимальной энергией в длинноволновом диапазоне УФ-излучения. В качестве эталонной лампы была выбрана лампа производителя Camelion G23 LH 9–U/BLB. [1].

Ультрафиолетовые лампы с покрытием из композиционного светотехнического материала (рис. 1, *б* – образцы № 2–4) представляет собой бактерицидную лампу, с нанесенным на нее покрытием из композиционного светотехнического материала, перераспределяющего излучение линий ртути в излучение в области длинноволнового ультрафиолетового излучения (UV–А). Для сравнения взяты 5 разных ламп одинаковой мощности, отличающиеся толщиной нанесенного покрытия [2].

Бактерицидная лампа в кожухе из черного увиолевого стекла (рис. 1, *в* – образец № 7) Osram PURITEC HNS S 9W G23 [3] сама по себе является источником коротковолнового диапазона ультрафиолетового излучения (UV–С) и имеет длину волны преобладающего излучения 254 нм. Однако, благодаря применению кожуха, выполненного из синефиолетового увиолевого стекла, можно получить спектр в длинноволновом диапазоне ультрафиолетового излучения с преобладающей длиной волны 364 нм.



Рис. 1. Внешний вид исследуемых ультрафиолетовых ламп

Измерения проводились в комплексе, состоящем из комбинации светонепроницаемой тубы и УФ-радиометра (рис. 2).

Исследование заключалось в измерении интенсивности излучения в разных областях ультрафиолетового спектра с помощью УФ-радиометра. С помощью УФ-радиометра с фотометрической головкой посредством

последовательной смены ламп в патроне были измерены значения энергетической освещенности выбранных источников ультрафиолетового излучения в диапазонах УФ–А, УФ–В, УФ–С.

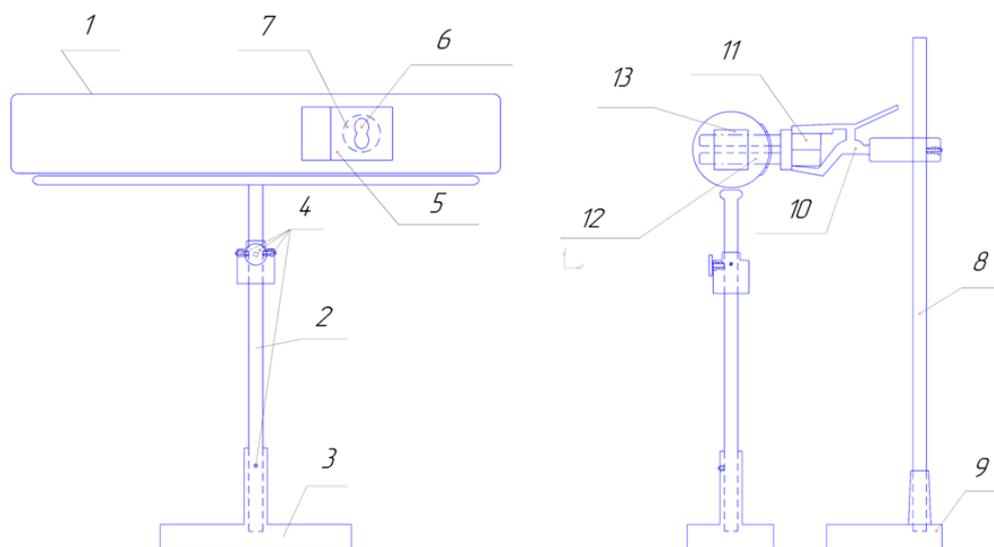


Рис. 2. Конструкция лабораторного стенда для исследования распределения энергии излучения ультрафиолетовых ламп: 1 – цилиндр, оклеенный изнутри черной матовой бумагой; 2 – металлическая скамья; 3 – ножка; 4 – регуляторы высоты; 5 – защитная мембрана; 6 – отверстие под ИС; 7 – отверстие под кожух бактерицидной лампы; 8 – металлический штатив; 9 – ножка; 10 – зажим; 11 – патрон источника света; 12 – ИС; 13 – отверстие под фотометрическую головку УФ-радиометра

Результаты исследования сведены в таблицу.

Значения энергетической освещенности исследуемых УФ ламп

Диапазон УФ-излучения	Энергетическая освещенность, мВт/м						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
УФ–С	113,0	16,5	56,2	8,0	31,3	55,3	2,0
УФ–В	51,4	9,7	28,3	4,1	16,9	31,0	3,1
УФ–А	4950,0	950,0	2980,0	490,0	1730,0	3300,0	92,0

По данным таблицы можно сделать вывод о том, что самым эффективным источником в области УФ-излучения длинноволновой области спектра (УФ–А) из выбранных образцов является лампа черного света Camelion G23 LH 9–U/BLB. Величина энергетической освещенности для остальных образцов эксперимента меньше в 1,5–50 раз.

Источники

1. «Энергосберегающая лампа Cameleon LH 9–U/BLB/G23 ультрафиолетовая» [Электронный ресурс]. URL: https://camelion.ru/katalog/lampy/energoberegayushchie/energoberegayushhaya_lampa_lh9_u_blb_g23_ultrafiol_etoaya (дата обращения: 27.10.2019).
2. Композиционный светотехнический материал: пат. 2079774 Рос. Федерация № 93 93018201; заявл. 08.04.1993; опубл. 20.05.1997.
3. «Данные о продуктовой линейке PURITEC HNS Бактерицидные ультрафиолетовые лампы» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lighting.su/upload/iblock/1d3/1d3b987470bdb622b03d885e8bace080.pdf> (дата обращения: 27.10.2019).

Секция 7. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ ЖКХ

УДК 697.34

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ ТЭЦ

Авинов Владимир Владимирович
ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара
amster146@rambler.ru

Проведено обследование и выполнен анализ работы тепловой сети собственных нужд Тольяттинской ТЭЦ. Разработана компьютерная модель и произведены исследования режимов ее работы. Определены расходы и давления по всем участкам и узловым точкам схемы. Выполнена оценка показателей работы тепловой сети собственных нужд, установлены общие затраты теплоты, гидравлический и температурный режимы работы тепловой сети, определена мощность, затрачиваемая на перекачку сетевой воды.

Ключевые слова: теплоэлектроцентраль, тепловая сеть, компьютерная модель, реконструкция, режимы работы.

APPLICATION OF A COMPUTER MODEL TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF THE HEAT NETWORK CHP

Avinov Vladimir Vladimirovich

The survey and the analysis of the operation of the heat network own needs Togliatti CHP. A computer model developed and produced studies of the modes of its operation. Determined costs and pressure on all stations and key points of the scheme. Estimation of the thermal performance of auxiliary network, the installed total cost of heat, hydraulic and temperature modes of heating network, and determines the power required for transmission of water.

Keywords: thermal power plant, thermal network, computer model, reconstruction, operating modes.

Отопление и горячее водоснабжение жилых районов и предприятий города Тольятти осуществляется за счет отпуска тепловой энергии посредством сетевой воды одним из основных источников города Тольяттинской ТЭЦ [1].

Для повышения энергетической эффективности работы Тольяттинской ТЭЦ были проведены исследования тепловой сети собственных нужд и оценка ее состояния, так как расход сетевой воды на собственные нужды отличается от нормативного расхода в несколько раз. По результатам проведенных обследований проанализированы основные показатели работы теплосети Тольяттинской ТЭЦ – общие затраты тепла и сетевой воды, гидравлический и тепловой режимы работы теплосети, а так же разработаны мероприятия по ее реконструкции.

К тепловым сетям собственных нужд присоединено около 70 потребителей [2]. Система теплоснабжения закрытого типа, тупиковая. Сетевая вода требуется в основном для отопления зданий и в меньшей степени для систем вентиляции и горячего водоснабжения. Особенностью теплосети Тольяттинской ТЭЦ является нерациональное расположение и запутанность обвязки трубопроводов в районе пиковых водогрейных котлов, зауженность диаметров ряда трубопроводов и др., что связано с постепенным вводом мощностей станции.

Система теплоснабжения разделена на несколько самостоятельных контуров, которые работают независимо один от другого. Каждый из контуров присоединен к магистральным (внутристанционным) тепловым сетям ТЭЦ. Из-за этого расход тепла на собственные нужды является составной частью тепла, вырабатываемого станцией в теплофикационном цикле.

На основе теории гидравлических сетей разработана компьютерная модель тепловой сети собственных нужд Тольяттинской ТЭЦ, имитирующая протекающие в ней гидравлические процессы. Компьютерная модель включает графическую схему соединения элементов сети и базу данных, в которой хранится полная информация об элементах сети. Модель позволяет воспроизводить различные варианты работы теплосети, как по составу задействованного оборудования, так и при различных исходных данных режимного характера.

Из-за ограниченности опытных данных компьютерная модель позволяет воспроизводить работу реальной системы лишь с некоторым приближением. Однако имеющийся опыт использования подобных моделей свидетельствует, что получаемые на модели результаты обладают точностью, вполне достаточной для практических целей. Результаты моделирования позволяют провести, по крайней мере, качественный

анализ существующего гидравлического режима тепловой сети собственных нужд Тольяттинской ТЭЦ.

По результатам полученных экспериментальных данных на компьютерной модели был воспроизведен существующий режим работы теплосети. Ввиду обособленности отдельных контуров теплосети собственных нужд ТЭЦ возможно их независимое моделирование. В связи с этим компьютерные модели, по независимым друг от друга врезкам в магистральный трубопровод теплосети, рассматриваются как самостоятельные и гидравлически не связанные.

Погрешность моделирования составляет $2\div 5\%$ и в основном определяется точностью задания исходных данных, которые были получены в реальных условиях работы теплосети.

Источники

1. Кудинов А.А., Авинов В.В., Зиганшина С.К. Исследование режимов работы внутростанционной тепловой сети Тольяттинской ТЭЦ // Электрические станции. 2006. № 4. С. 27–32.

2. Кудинов А.А., Авинов В.В. Оценка эффективности работы внутростанционной магистральной тепловой сети и сети собственных нужд Тольяттинской ТЭЦ // Промышленная энергетика. 2017. № 7. С. 32–37.

УДК 620.9

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ – СОВРЕМЕННАЯ ТЕНДЕНЦИЯ МИРОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ТРУДНОСТИ ЕЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Демиденко Никита Дмитриевич
НИУ МГСУ, г. Москва,
deminik2001@gmail.com

В статье рассматривается современное состояние мирового энергетического хозяйства. Повышение энергоэффективности – одна из тенденций развития мировой экономики. Рассматриваются причины замедления темпов роста энергоэффективности.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергия, топливо, энергосбережение, энергоёмкость, отопление, охлаждение.

ENERGY EFFICIENCY – THE CURRENT TREND OF THE GLOBAL ENERGY ECONOMY AND THE DIFFICULTIES OF ITS IMPLEMENTATION

Demidenko Nikita Dmitrievich

The article examines the current state of the world energy economy. Increasing energy efficiency is one of the trends in the development of the global economy. The reasons for the slowdown in energy efficiency are being considered.

Keywords: energy efficiency, energy, fuel, energy saving, energy intensity, heating, cooling.

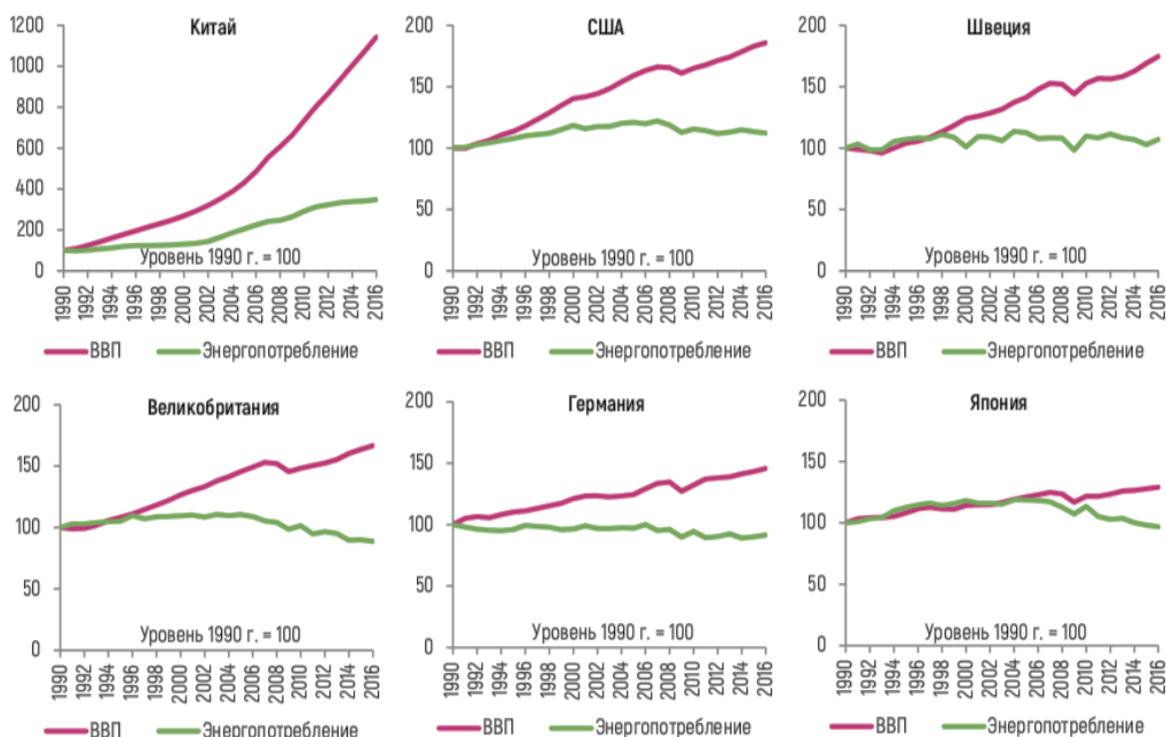
Одной из глобальных проблем современности является обеспеченность человечества энергетическими ресурсами. Материальное процветание человечества построено на изобильном вначале, но невозобновляемом источнике энергии – на залежах ископаемых углеводородов (угля, нефти и природного газа). Время, в течение которого мир сможет экономически процветать, прямо зависит от запасов ископаемого топлива.

В настоящем, ископаемое топливо на 85 % обеспечивает мировое хозяйство энергией. Промышленные потребители используют свыше 60 % всего добываемого топлива. Но коэффициент полезного использования энергии в технологических процессах в целом в мире остается невысоким (менее 50 %), остальную часть составляют потери энергии, в том числе при превращениях и транспортировке. Поэтому основное направление развития мировой энергетики – глобальная трансформация энергосистем, построенная на энергоэффективности. Энергоэффективность часто является наименее затратным способом удовлетворения новых мировых потребностей в энергии, при этом остается в значительной степени недоиспользуемой, несмотря на многочисленные преимущества и ее потенциал стать единственным крупнейшим ресурсом для удовлетворения растущего спроса на энергию в будущем.

В России до последнего времени очень низкая энергоэффективность. По данным рейтинга показателей эффективности 25 ведущих энергопотребляющих стран мира (78 % мирового энергопотребления), Россия занимает только 21-е место [1]. Потенциал энергосбережения в РФ составляет 40 % от общего энергопотребления [2]. Но, по мнению МЭА, энергетика нашей страны будет меняться намного медленнее, чем в ЕС, Китае и США [3]. Согласно [1] Германия занимает 1-е место, а США – 10 место по показателям энергоэффективности.

Динамика потребления первичной энергии на душу населения и динамика энергоёмкости ВВП у стран, находящихся на разных этапах своего развития неоднородна.

По состоянию на 2016 г. [4] во многих наиболее экономически и технологически развитых странах объёмы первичного энергопотребления стабилизировались, а в некоторых (отдельные страны Европы, США, Япония) даже начали постепенно снижаться (см. рисунок).



Динамика роста ВВП и энергопотребления в 1990–2016 гг.

Но мировой спрос на энергию¹ вырос почти на 2 % в 2017 г. и еще на 2,3 % в 2018 г. Это был самый быстрый рост в этом десятилетии, обусловленный экономическим ростом и более высоким спросом энергии на отопление и охлаждение. Спрос увеличился на все виды топлива, причем ископаемые виды топлива удовлетворяли почти 70 % роста.

Вместе на Китай, США и Индию пришлось почти 70 % роста спроса на энергию; в США с учетом политики нового президента наблюдался самый большой рост спроса на нефть и газ.

Мировой спрос на газ, вероятно, увеличился благодаря его предпочтительности при замещении роли угля. Рост спроса был эквивалентен текущему потреблению газа Соединенным Королевством. Потребление газа в Китае выросло почти на 18 %.

¹ По данным Международного энергетического агентства от 26 марта 2019 г.

Спрос на нефть вырос на 1,3 % во всем мире благодаря росту промышленного производства и нефтехимии, а также услуг грузоперевозок.

Замедление темпов роста энергоэффективности является результатом более слабого осуществления политики в мировой экономике и увеличивающегося спроса на энергоносители в развивающихся странах.

Повышение эффективности использования топлива для парка традиционных автомобилей может сэкономить значительный объем потенциального спроса, что в перспективе выполнимо при широком использовании электромобилей на дорогах.

Однако подобный эффект (компенсация 1/4 общего спроса на нефть в сегменте пассажирских транспортных средств) повторить в других отраслях практически невозможно. Нефтехимия является крупнейшим источником роста использования нефти. Даже если удвоить общемировой показатель вторичной переработки пластика, это лишь на 1,5 млн барр./сут. сократит величину прогнозируемого роста, которая составляет более 5 млн барр./сут. Общий рост спроса на нефть до 106 млн барр./сут. К 2040 г. полностью исходит из потребностей производств развивающихся стран [5].

Значительная часть потенциала энергосбережения сосредоточена в энергоемких отраслях промышленности: черной металлургии, целлюлозно-бумажной промышленности и производстве цемента.

Также на пути повышения энергоэффективности мировых экономик встают барьеры не только технического, но и финансового, информационного и рыночного характера.

Глобальные усилия по снижению зависимости от ископаемых видов топлива и уменьшению общего потребления энергии продолжают.

Драйверами в области энергоэффективности выступают развитые страны с наиболее передовыми разработками и технологиями, а также целенаправленные государственные регулятивные меры и внедрение нормативных документов и стандартов по энергосбережению.

Продолжающаяся технологическая трансформация в энергетической области дает миру шансы построить достойное будущее. Повышение энергоэффективности мировой экономики будет способствовать также улучшению экологической обстановки.

Источники

1. The 2018 International Energy Efficiency Scorecard [Электронный ресурс] / Fernando Castro-Alvarez [et al.]. URL: <https://www.aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/i1801.pdf> (дата обращения: 18.09.2019).

2. Романова Т.Н. Защита трубопроводов от коррозии при реконструкции системы газораспределения // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 14 (66). С. 85–92.

3. «Краткий обзор хода климатических переговоров ООН» [Электронный ресурс]. URL: <https://ca-climate.org/news/kratkiy-obzor-khoda-klimaticheskuyu-peregovorov-oon/> (дата обращения: 18.09.2019).

4. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина; ИНЭИ РАН-Московская школа управления СКОЛКОВО. М., 2019. 210 с.

5. Russian Translation of World Energy Outlook [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018> (дата обращения: 27.09.2019).

УДК 620.178.5

ИНТЕГРАЦИЯ ВИБРОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Денисова Алина Ренатовна¹, Важалин Дмитрий Сергеевич²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹denisova_ar@mail.ru, ²vazhalin@bk.ru

Целью данной статьи является анализ периодических колебаний в механических системах, а именно роторных механизмов, а так же их математическое описание. В статье анализируются основные кинематические параметры вибрации: виброперемещение, виброскорость, виброускорение. Описываются характерные качественные характеристики сложных полигармонических колебаний. Представлены графики спектра сложных колебаний. Даны объяснения касаясь выбора типа графиков для анализа вибрации.

Ключевые слова: вибродиагностика, виброметрия, электрические машины, спектральный анализ, колебательный процесс.

INTEGRATION OF VIBROMETRIC DIAGNOSTICS SYSTEM IN PRODUCTION

Denisova Alina Renatovna, Vazhalin Dmitry Sergeevich

The purpose of this article is to analyze periodic vibrations in mechanical systems, namely rotary mechanisms, as well as their mathematical description.

The article analyzes the main kinematic parameters of vibration: vibration transition, vibration velocity, vibration acceleration. Characteristic qualitative characteristics of complex

polyharmonic oscillations are described. Plots of the complex oscillation spectrum are presented. Explanations are given regarding the selection of the type of graphs for vibration analysis.

Keywords: vibrodiagnostics, vibrometry, electrical machines, spectral analysis, oscillatory process.

Своевременное выявление и устранение дефектов оборудования в процессе эксплуатации является важными задачи технического персонала любого промышленного предприятия. Диагностированные и устраненные дефекты любого характера на ранних стадиях значительно повышает эффективность как экономическую, так и финансовую при использовании машин.

На данном этапе развития промышленности, опыт эксплуатации показывает экономическую неэффективность проводить плановые замены механических узлов электрических машин. Предприятиям на много выгоднее перейти на ресурсосберегающую эксплуатацию оборудования по фактическому техническому состоянию, что разрешено соответствующими национальными стандартами Российской Федерации [1, 2].

Осуществление непрерывного мониторинга наиболее важных узлов оборудования на производстве позволит предупреждать аварийные ситуации до их возникновения, а так же снижать время «паразитных» ППР (например: замена подшипников исходя из времени наработки по паспорту подшипника).

Объектом нашего исследования является бумагоделательная машина (БДМ), ее наиболее ответственные (незаменимые в кратчайшие сроки) узлы, такие как электродвигатели, редукторы и их сопутствующие детали, агрегаты и т.п. Данная машина предназначена для выработки бумагоосновы санитарно-гигиенического назначения. Предельная скорость намотки бумаги 1800 м/мин.

Несмотря на высокую надежность двигателей БДМ, подшипников и смазочных материалов при эксплуатации большую роль играет человеческий фактор. За время эксплуатации машины случалась не одна авария по роторным механизмам: электродвигателям, редукторам, карданным валам и т.п. Зачастую ремонтные службы своевременно не могли выявить нарушения в работе в виду различных причин. Поэтому актуальность вибродиагностики на данном производстве нельзя недооценивать. На сегодняшний день диагностика осуществляется посредством переносного виброанализатора фирмы ДИАМЕХ по квартальному план-графику обученным инженером-механиком. Исследование происходит посредством магнитного датчика, измеряющего только общий уровень вибрации по СКЗ виброскорости. Однако, в виду

длительной эксплуатации агрегатов в режиме непрерывного производства, стали проявляться более глубокие проблемы узлов и съем общего уровня вибрации по контрольным точкам не дает информативной картины. Необходим динамический контроль параметров БДМ.

По практическому опыту эксплуатации данного производства можно выделить узлы, наиболее затратные в плане длительном времени обслуживания с определенной спецификой (в плане специфики можно отнести размеры и вес оборудования, так же инструмент и оснастку, необходимый для ремонта: грузоподъемные механизмы, гидравлические съемники для подшипников и т. д.), а также стоимости запасных частей и т.п.

Исходя из поставленных задач, диагностика агрегатов БДМ включает в себя:

1) контроль состояния – соответствие текущих измеряемых параметров техническим требованиям:

– разрушающий контроль – выявление необходимых технических данных после разрушения изделия или его части;

– неразрушающий контроль – выявление необходимых технических данных не связанных с разрушением исследуемого объекта;

2) мониторинг технических данных объекта – контроль требуемых параметров и сравнение их с предыдущими, либо контроль в режиме реального времени [3].

Для анализа сложных гармонических колебаний машин роторного типа используются спектральные графики: виброускорения, виброскорости и виброперемещения. Наиболее информативным из них является спектр виброускорения. Это связано с тем, что возникновение вибрации в механических системах развивается по второму закону Ньютона, то есть, сила, действующая на массу, вызывает ускорение, а не перемещение этих масс. Так же, если необходимо получить для анализа спектры виброскорости или виброперемещения, то всегда имеется возможность интегрирования или дифференцирования измеряемой сложной функции вибрации [4].

В машинах роторного типа причиной вибрации являются динамические силы:

1) механического происхождения:

– центробежная сила (неуравновешенность вращающихся узлов);

– кинематические силы (возникают из-за неровностей поверхностей трения в подшипниках);

– параметрические силы (определяются флуктуацией жесткости вала, вращающихся узлов или опор вращения);

– сила ударного вида (упругая деформация);

2) электромагнитного происхождения:

- магнитные силы (определяются изменением магнитной энергией);
- электродинамические силы (определяются взаимодействием магнитного поля с электрическим током);
- магнитострикционные силы (эффект изменения линейного размера магнитного материала под действием магнитного поля)

3) аэродинамические силы:

- подъемные силы;
- силы трения на границе потока и неподвижных частей машин;
- пульсация энергии в потоке (для гидродинамических сил добавляется пульсация давления из-за кавитации).

Выбор контрольных точек измерения является основополагающим аспектом при диагностике вращающихся машин. Это обусловлено тем, что реакции механической системы вращающейся машины является сложным процессом, и при замерах в разных точках агрегата могут появляться различный характер исследуемого сигнала. В связи с этим, согласно международным стандартам и ГОСТ ИСО 10816-1-1997 было принято выбирать для измерения три взаимно перпендикулярных положения: вертикальном, горизонтально- поперечном и горизонтально-осевом. Измерения производятся на подшипниковых опорах, корпусе и фундаментных болтах агрегата.

Выбранная схема виброзащиты будет состоять из следующих элементов: измерительных преобразователей (датчиков вибрации); датчика температуры; тахометров (датчиков оборотов); блоков защит; аварийной сигнализации; устройств согласования; контроллера анализа вибрации; баз данных; средств обработки информации; АРМ.

Логика работы внедряемой системы вибродиагностики следующая. С установленных на агрегатах измерительных преобразователей, таких как пьезодатчиков, термодатчиков и тахометров информация через блоки защит поступает в блок аварийной сигнализации, блок устройства согласования, а затем в контроллер анализа вибрации. Система на первоначальном этапе анализирует уровень измеряемых величин и выдает команды на включение срабатывания блока защиты для экстренного отключения агрегата при критическом уровне вибрации или включения предупредительной аварийной сигнализации. Параллельно этому данные, поступившие в контроллер обрабатываются и передаются в базу данных и в средства обработки информации. В качестве СОИ выступают персональные компьютеры с установленным на них

определенным программным обеспечением. Также для получения высокой информативности возможно направление электрических параметров электродвигателей измеряемых агрегатов в блок СОИ. По токовые характеристики, значениям напряжения, мощности на валу появляется возможность для более глубокого анализа узла. Далее информация визуализируется и преподносится оператору системы в виде трендов.

Выделим дефекты, которые система должна обнаруживать на БДМ:

1) в подшипниках качения – недостаток смазки, перекос, ослабление, дефект и погрешность формы внешней обоймы, дефект и погрешность формы внутренней обоймы, дефект тел качения, дефект сепаратора, перегрев;

2) механизм соединения – дефекты муфты и зубчатых передач;

3) агрегат в целом – нарушение крепления, дисбаланс ротора, дефекты рабочего колеса, срез вала, недопустимое биение ротора, недопустимый осевой сдвиг, нарушение центровки валов, дисбаланс вращающихся масс, нарушение крепления к фундаменту и присоединенным конструкциям;

4) электрические – перегрузка по току, перекос фаз, дефекты статора, нарушение взаимного расположения осей ротора и статора, дефекты «беличьей клетки», эксцентриситет воздушного зазора.

Из рассмотренных стационарных систем вибромониторинга наиболее перспективными для использования являются ТАНДЕМ (собственное производство и отличная сертификация с апробацией), СВКА 1-02.03 (собственное производство и апробация на роторном оборудовании космической техники), «Каскад» ВК-300, ООО «Диамех 2000», г. Москва «Алмаз» (собственная лаборатория и учебный центр).

Исходя из экономического расчета была принята к установке система «Алмаз» компании «Диамекс».

Благодаря широким возможностям данной системы техническим службам значительно упроститься задача при обслуживании и ремонту узлов БДМ. Система, обладая функцией сигнализации и защите обеспечит максимальное сохранение оборудования. Благодаря ПО оператор получит возможность более детально исследовать узла, которые начинают достигать неудовлетворительного состояния, вести непрерывный мониторинг и выработать максимальный остаточный ресурс. С помощью диагностических возможностях системы появиться возможность максимального определения неисправного механизма или отклонения от нормального режима его работы. Расчетный срок окупаемости менее года.

Источники

1. ГОСТ Р 53565-2009. Мониторинг состояния оборудования опасных производственных объектов. Вибрация центробежных насосных и компрессорных агрегатов. М.: Стандартинформ, 2010. 6 с.
2. ГОСТ Р 53564-2009. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. М.: Стандартинформ, 2019. 16 с.
3. Сушко А.Е., Демин М.А. Вибродиагностика в системах технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования металлургических производств // Вибрация машин: измерение снижение защита. 2005. № 1. С. 6–9.
4. Применение стационарной системы вибродиагностики главного редуктора привода бесконусного загрузочного устройства доменной печи / А.Н. Панов [и др.] // Электротехнические системы и комплексы. 2015. № 2 (27). С. 37–38.
5. Сравнительный анализ современных стационарных систем вибромониторинга и вибродиагностики роторного энергооборудования / В.И. Луковников [и др.] // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2006. № 3 (26). С. 51–59.
6. Шиндор О.В., Евдокимов Ю.К. Автоматизированная система обработки вибродиагностических данных // Инженерные и научные приложения на базе технологий National Instruments: сб. тр. XII Междунар. науч.-практ. конф. М., 2013. С. 189–191.

УДК 621.311.23:332.8

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОПОРШНЕВЫХ УСТАНОВОК ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Костюков Владислав Дмитриевич¹, Кретов Дмитрий Алексеевич²
ФГБОУ ВО «ТГУ», г. Тольятти

¹kostyukovvlad@yandex.ru, ²dmitry.kretov@gmail.com

В статье производился анализ энергоэффективности отечественных и зарубежных мини-ТЭЦ по расходу газообразного топлива на выработку электрической энергии и тепла. По каталожным данным когенерационных установок была составлена сводная ведомость потребления природного газа и определён годовой расход. Итоговый результат работы: сравнительная диаграмма эффективности ГПУ отечественного и зарубежного производителя.

Ключевые слова: газопоршневые установки, мини-ТЭЦ, когенерация, энергоэффективность, расход топлива, сравнительный анализ.

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF GAS-PISTON INSTALLATIONS OF DOMESTIC AND FOREIGN PRODUCTION

Kostyukov Vladislav Dmitrievich, Kretov Dmitry Alekseevich

The article analyzes the energy efficiency of domestic and foreign mini-CHPs on the consumption of gaseous fuel for the generation of electric energy and heat. According to catalog data, data were obtained on the consumption of natural gas and the annual consumption was determined. The final result of the work: a comparative diagram of the GPU efficiency of domestic and foreign manufacturers.

Keywords: gas reciprocating plants, mini-CHP, cogeneration, energy efficiency, fuel consumption, comparative analysis.

Развитие сфер жизнедеятельности человека и общества в целом тесно связано со стабильным функционированием топливно-энергетического комплекса страны, надёжность которого обусловлена рациональным использованием энергетических ресурсов [1]. Именно поэтому энергосбережение пользуется спросом во всех отраслях народного хозяйства [2].

Энергетика не является исключением. Основным потребителем вырабатываемой электрической энергии является промышленный сектор [3]. Ввиду одновременного использования электрической и тепловой энергии в производственном процессе, актуальным направлением является собственная генерация электроэнергии и тепла. Когенерационные установки на базе газопоршневых двигателей внутреннего сгорания являются на сегодняшний день наиболее эффективным средством преобразования энергии топлива в электрическую энергию [4].

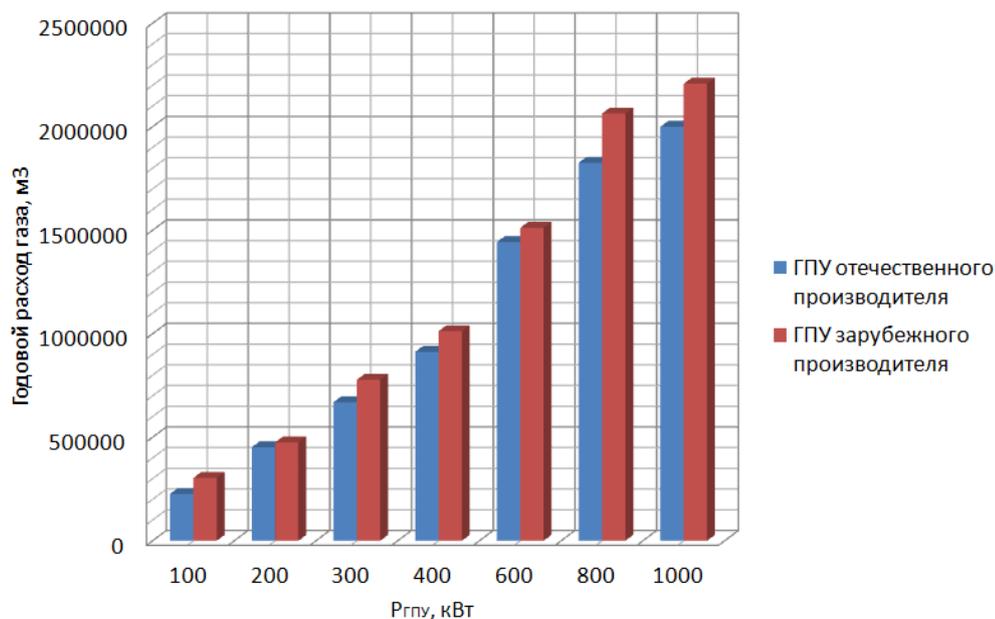
Анализ эффективности ГПУ будет производиться по расходу топлива (природный газ). Объектом исследования являются установки отечественного [5] (завод ООО «Федвиг», г. Люберцы) и зарубежного [6] (FG Wilson, Великобритания) производства. Информация по расходу газа представлена в таблице.

Сводная ведомость расхода топлива

Отечественные ГПУ							
$P_{\text{ГПУ}}, \text{кВт}$	100	200	300	400	600	800	1000
$R_{\text{газа}}, \text{м}^3/\text{ч}$	28,3	56,5	83,7	114,1	180,4	228,3	250
$R_{\text{за год}} \cdot 10^3, \text{м}^3$	226,4	452	669,6	912,8	1443,2	1826,4	2000
Зарубежные ГПУ							
$P_{\text{ГПУ}}, \text{кВт}$	100	200	300	400	600	800	1000
$R_{\text{газа}}, \text{м}^3/\text{ч}$	38	59,4	97,2	126,6	189	258	276
$R_{\text{за год}} \cdot 10^3, \text{м}^3$	304	475,2	777,6	1012,8	1512	2064	2208
Примечание – Продолжительность работы установки в год принята 8000 м. ч. (введено допущение: 1 м. ч. = 1 ч).							

Сравнительная диаграмма годового потребления газа отечественных и зарубежных ГПУ представлена на рисунке.

Исходя из полученной графической зависимости видно, что когенерационные установки отечественного производства наиболее экономичны аналогичного модельного ряда зарубежного производителя. Однако делать вывод о энергоэффективности оборудования только по исследованию одного параметра не совсем рационально.



Гистограмма годового расхода топлива ГПУ

Для производства полного сравнительного анализа необходим учёт множества факторов, что не всегда возможно и реализуемо в рамках аналитических вычислений. Одной из ключевых проблем в этом является отсутствие некоторых официальных данных по модельному ряду ГПУ как отечественного, так и зарубежного производителя. Замена неизвестных характеристик параметрами, полученными путём математических преобразований и вычислений, вносит некоторую погрешность, значительно увеличивающуюся с ростом номинальной мощности установки (например, ГПУ мощностью 1 МВт и выше).

Результат, полученный в рамках данной работы, является оценочным и ориентированным на проведение технико-экономического анализа возможности энергосбережения в сфере ЖКХ и промышленном секторе при использовании когенерационных установок.

Источники

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ. Доступ из СПС «КонсультантПлюс» (дата обращения: 10.10.2019).

2. Сивков А.А. Основы электроснабжения: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. 180 с.

3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. Доступ из ЭБС «Лань».

4. «Собственная генерация электроэнергии и пара на промышленных предприятиях» [Электронный ресурс]. URL: <http://zavodagt.ru/stati/sobstvennaya-generatsiya-elektroenergii-i-para-na-promyshlennykh-predpriyatiyakh> (дата обращения: 10.10.2019).

5. «Газопоршневые электростанции (генераторы)» [Электронный ресурс]: каталог продукции. URL: <https://fedvig.ru/catalog/gazoporshnevye-elektrostantsii/> (дата обращения 08.10.2019).

6. «Газопоршневые электростанции» [Электронный ресурс]: каталог оборудования. URL: <http://www.cogeneration.ru/equipment/> (дата обращения: 09.10.2019).

ПРИНЦИП ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ И ПЬЕЗОГЕНЕРАТОРАХ

Немцева Маргарита Алексеевна¹, Иванова Вилия Равильевна²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹nemceva99@gmail.com, ²vr-10@mail.ru

В статье проанализирован принцип работы пьезогенератора, а именно принцип выработки электроэнергии за счет пьезоэлектрических материалов. Рассмотрены физические основы возникновения пьезоэффекта.

Ключевые слова: пьезоэлектрический элемент, пьезоэффект, генерация электроэнергии, деформация пьезоэлемента.

POWER GENERATION PRINCIPLE IN PIEZOELECTRIC ELEMENTS AND PIEZOGENERATORS

Nemtseva Margarita Alekseevna, Ivanova Vilia Ravilievna

The article analyzes the principle of operation of the piezogenerator, namely the principle of generating electricity from piezoelectric materials. Physical bases of piezoeffect occurrence are considered.

Keywords: piezoelectric element, piezoelectric effect, generation of electric power, deformation of piezoelectric element.

Некоторые материалы обладают удивительным свойством вырабатывать электроэнергию под действием внешних сил. Такой эффект, происходящий в материале, называется пьезоэффектом, а сам материал – пьезоматериалом (ПМ). Из нескольких слоев пьезоматериала могут собираться пьезоэлементы, а из последних – пьезогенераторы и пьезодатчики.

В качестве материалов, обладающих пьезоэффектом, могут выступать как искусственные, так и природные материалы. Например: кварц, турмалин, сегнетовая соль, цирконат-титанат свинца, титанат бария и др. ПМ можно разделить на кристаллические и керамические [1].

Кристаллические ПМ имеют низкую степень симметрии кристаллической решетки, за счет чего под действием механического воздействия решетка становится нестабильной и вследствие этого возникает разность потенциалов на электродах, прикрепляемых к ПМ.

Керамические пьезоматериалы (ПКМ) изготавливаются на основе твердых растворов оксидов металла и являются искусственными. Непосредственно после окончания изготовления такие материалы не обладают пьезоактивностью. Для того, чтобы ПКМ вырабатывали электрическую энергию необходимо приложить к материалу сильное электрическое поле, т.е. поляризовать материал. Кристаллическая структура ПКМ после производства состоит из доменов (отдельных кристаллитов). Такая структура имеет нулевую суммарную пьезоактивность в силу хаотичного расположения доменов.

Пьезоэффект в пьезоэлементах может быть продольным или поперечным (в зависимости от направления прикладываемого внешнего воздействия). Пьезоэлементы с продольным пьезоэффектом выполняются в форме диска или кольца, с поперечным пьезоэффектом в форме пустотелого цилиндра [2].

В пьезогенераторах используют продольную деформацию пьезоматериала (рис. 1).

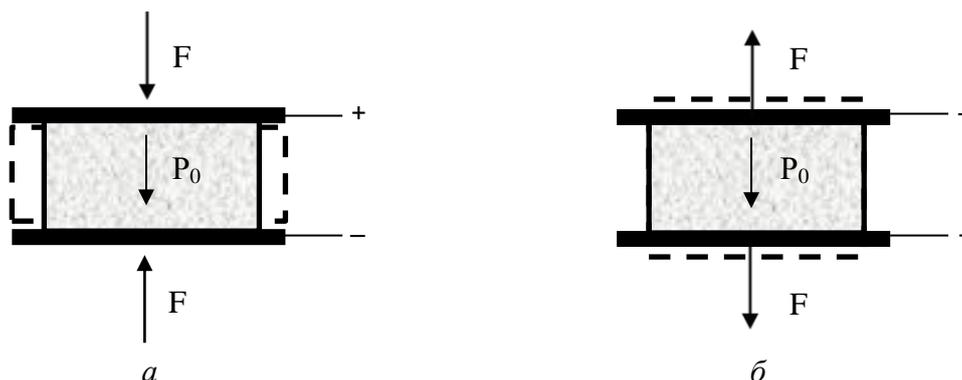


Рис. 1. Продольная деформация растяжения-сжатия пьезоэлемента

Полярность на электродах, присоединенных к пьезоматериалу для снятия электрического заряда, зависит от направления прикладываемого воздействия F относительно вектора остаточной поляризованности материала P_0 .

Размеры элемента не влияют на уровень вырабатываемого электрического заряда. Величина заряда зависит от значения пьезомодуля d_{33} . Данное значение является отношением деформации к приложенному электрическому полю и для каждого пьезоматериала различно [4].

Часто пьезоэлементы собирают в пьезомодули, для возможности регулирования выходного заряда. Модуль собирается слоями из пьезоэлементов и электродов между ними. Для вариации выходного заряда цепь замыкают через разные электроды.

Схематичное изображение пьезогенератора представлено на рис. 2 [3].

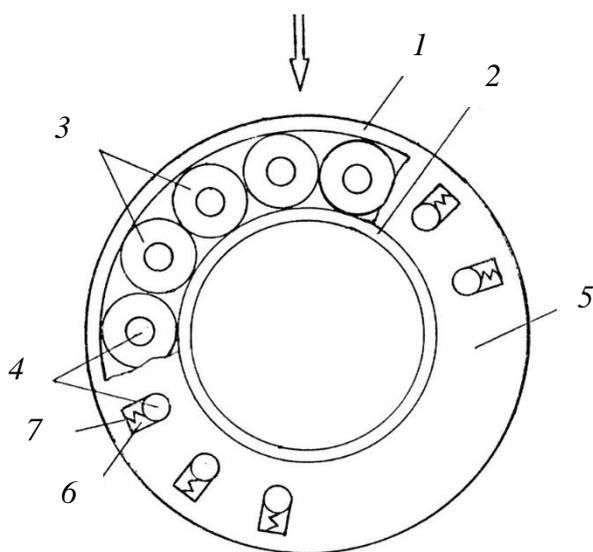


Рис. 2. Схема пьезогенератора: 1 и 2 – биморфные пьезоэлектрические кольца, обладающие продольным пьезоэффектом; 3 – ролики качения; 4 – электропроводящие стержни; 5 – сепаратор; 6 – вырезы в сепараторе; 7 – пружины

При вращении под нагрузкой наружного 1 или внутреннего 2 кольца точки роликов 3 и колец будут испытывать циклические нагрузки пульсирующего типа. В результате этого будет происходить деформация пьезоэлектрического материала колец и роликов с появлением на их электродах электрических зарядов, которые в дальнейшем пойдут потребителю тока.

Так как радиальная нагрузка воспринимается роликами только в зоне, ограниченной углами не более 180° , то с целью увеличения мощности пьезогенератора в сепараторах 5 для каждого ролика 3 предусмотрены вырезы 6, в которых размещены пружины 7, с помощью которых ролики (через стержни 4) прижимаются к одному из колец 1 или 2 или, например, в шахматном порядке, к обоим кольцам с заданным усилием. В этом случае ролики будут деформировать пьезоматериал постоянно в течение полного оборота колец.

Источники

1. Орехов В.С. Конструирование пьезоэлектрических датчиков ускорения: учеб.-метод. пособие. Ростов н/Д, 2008. С. 4–11.

2. Пористые пьезокомпозиционные материалы на основе пьезокерамики ПКП-12 / Е.В. Карюков [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4 (47). С. 7.

3. Пьезогенератор: пат. 2264687 Рос. Федерация № 2003133056/28; заявл. 11.11.2003; опубл. 20.11.2005, Бюл. № 32.

4. Иванова В.Р., Фетисов Л.В. Разработка учебного стенда для эффективной и безопасной эксплуатации резервного электроснабжения на промышленных предприятиях // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. № 9-10. С. 165–169.

УДК 621.3.052

ОДНОПРОВОДНАЯ РЕЗОНАНСНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Рудаков Александр Иванович¹, Киселев Игорь Николаевич²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹rud-38@mail.ru, ²igorkiselev17@gmail.com

Приведены структура и принцип действия однопроводной резонансной электрической системы, объяснены физические процессы при данном способе передачи электроэнергии, а также приведен анализ потерь энергии и обозначены основные достоинства данного способа передачи энергии.

Ключевые слова: линия электропередачи (ЛЭП), трансформатор, резонанс, электромагнитная волна, колебательный контур, джоулево тепло.

SINGLE-WIRE RESONANCE ELECTRICITY TRANSMISSION

Rudakov Alexander Ivanovich, Kiselev Igor Nikolaevich

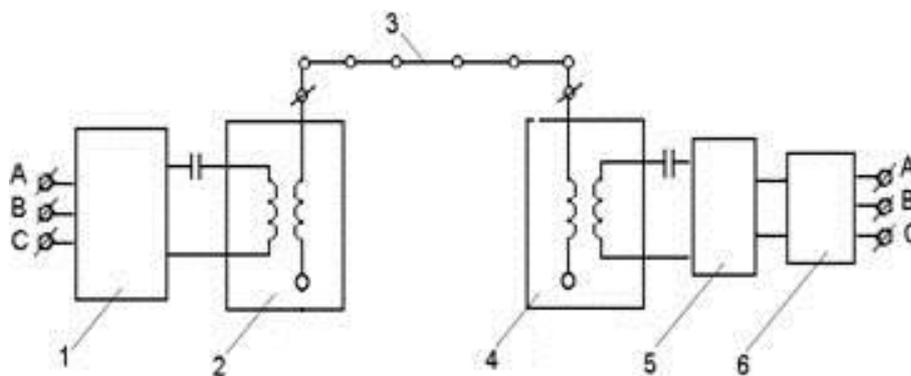
The structure and principle of operation of a single-wire resonant electric system are presented, the physical processes in this method of electric power transmission are explained, and the analysis of energy losses is given and the main advantages of this method of energy transfer are indicated.

Keywords: power line, transformer, resonance, electromagnetic wave, oscillatory circuit, Joule heat.

Применение однопроводных ЛЭП, вероятно, позволит нивелировать некоторые недостатки трехфазных ЛЭП. В 1897 г. Никола Тесла предложил использовать одиночный проводник в качестве волновода для передачи электромагнитной энергии на высокой частоте [1].

Дальнейшее развитие данного метода передачи энергии связано с именем российского и советского инженера С.В. Авраменко. В лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) в 1999 году была создана однопроводная электрическая система мощностью 20 кВт (ОЭС-20) [1].

Резонансная система передачи электроэнергии состоит из генератора 1 повышенной частоты 1–100 кГц, резонансного контура повышающего трансформатора Тесла 2, однопроводной линии 3, резонансного контура понижающего трансформатора Тесла 4, выпрямителя 5, инвертора 6 (см. рисунок).



Резонансная система передачи электроэнергии

Резонансные контуры работают в режиме резонанса напряжений [2]. Это значит, что напряжение на низковольтной обмотке повышающего (понижающего) трансформатора больше входного (выходного) напряжения резонансного контура в величину добротности контура. Затем это напряжение повышается (понижается) в величину коэффициента трансформации трансформатором Тесла. Конденсаторные батареи также выполняют роль компенсирующего устройства. Резонансные контуры имеют одинаковую резонансную частоту [1].

Однопроводная линия 3 является волноводом, т. е. является каналом, в котором распространяется электромагнитная волна. В разомкнутой линии 3 возникает стоячая волна. Она описывается произведением двух тригонометрических функций – функцией координаты точки на линии и функцией времени. Сдвиг во времени между стоячими волнами напряжения и тока равен 90° , а сдвиг в пространстве – четверть длины волны [2]. Длина l , включающая в себя длину линии без потерь и длины проводов высоковольтных обмоток трансформаторов, подбирается так,

что имеет u зажимов генератора пучность тока и узел напряжения при $l = n \frac{\lambda}{2}$, где n – неотрицательное целое число, λ – длина волны [1].

Однопроводная линия без потерь и трансформаторы Тесла эквивалентны идеальному колебательному контуру [1], в котором энергия электрического поля конденсатора превращается энергию магнитного поля катушки и наоборот. Поэтому однопроводная линия без потерь и трансформаторы Тесла также имеют резонансную частоту, на которую настраивается генератор I (см. рисунок) для передачи энергии с наибольшим КПД.

Так как линия разомкнута, активный ток проводимости равен нулю и отсутствует передача энергии от источника энергии к приемнику бегущими волнами. В линии присутствует только реактивный ток перезарядки собственной емкости линии. Однако нагрузка в большей степени потребляет активную мощность. В ВИЭСХе экспериментально доказана способность однопроводной системы передавать в нагрузку активную мощность с помощью реактивных токов в линии, причем потери энергии в линии несущественны и включают в себя потери на корону и потери на излучение. Никола Тесла низкие потери энергии объяснял электростатической природой передачи электроэнергии [1].

Преимуществами резонансной ОЭС являются снижение использования меди и алюминия в проводах и кабелях в 5–10 раз, снижение стоимости воздушных и кабельных линий в два раза, создание дальних межконтинентальных ЛЭП с низкими потерями. Кроме того, в качестве волновода можно использовать изолированные участки земли, воды; трубопроводы, углеродные нити, пленки окислов металлов на оптоволоконных линиях связи, а также лазерный и электронные лучи, ионосферу Земли, что позволяет передавать энергию без использования проводов и кабелей [1, 3].

Источники

1. Стребков Д.С., Некрасов А.И. Резонансные методы передачи электрической энергии. М.: ВИЭСХ, 2006. 304 с.

2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М.: Гардарики, 2006. 559 с.

3. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатова О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. № 11–12. С. 99–106.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Иванова Вилия Равильевна¹, Садриева Лейсан Нагимовна²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹vr-10@mail.ru, ²sadrievaley100598@mail.ru

В данной статье рассматриваются преимущества тепловизионной диагностики электрооборудования, а также особенности основных компонентов тепловизора.

Ключевые слова: тепловизор, диагностика, инфракрасное излучение, дефект.

METHOD OF RESEARCH QUALITY OF FUNCTIONING OF ELECTROTECHNICAL COMPLEXES

Ivanova Viliya Ravilievna, Sadrieva Leysan Nagimovna

This article discusses the advantages of thermal imaging diagnostics of electrical equipment, as well as the features of the main components of the thermal imager.

Keywords: thermal imager, diagnostics, infrared radiation, defect.

При появлении во время эксплуатации в электрооборудовании дефекта, место дефекта, как правило, начинает выделять тепло. А как мы знаем, любое выделение тепла сопровождается испусканием инфракрасного излучения. Эти излучения невозможно обнаружить невооруженным глазом и тем самым определить место дефекта. Мы лишь воспринимаем видимый свет, инфракрасное излучение находится за пределами возможностей наших глаз. Выявить места и потоки инфракрасного излучения возможно при проведении тепловизионной диагностики сутью которой является дистанционная регистрация с помощью тепловизора температурного поля на поверхности контролируемого оборудования, построение и анализ термограмм с использованием электронной вычислительной машины для обнаружения дефектов и принятия решения по дальнейшей эксплуатации оборудования.

При проведении традиционной диагностики часто оборудование приходится отключать. Если исследуемый объект крупный, то для проведения диагностики требуется несколько человек. Кроме этого

нередко специалистам не сразу удается диагностировать наличие дефектов. Как следствие, даже после проведения комплекса диагностических мер оборудование выходит из строя. Следовательно, традиционная диагностика отнимает много сил, времени и не всегда результативна [1].

Основным преимуществом тепловизионной диагностики является то, что для ее проведения не нужно отключать электрооборудование и такую диагностику может провести всего лишь один человек. К тому же специалист с тепловизором экономит время, ему не нужно частично разбирать объект, чтобы понять, какой конкретно узел находится на грани выхода из строя. Тепловизионная диагностика более точна и достоверна и позволяет диагностировать дефекты на ранних стадиях возникновения, прогнозировать их возникновение и развитие. Особенно популярна такая диагностика на промышленных предприятиях со сложными и непрерывными технологическими процессами. Например, в металлургическом производстве, где выход из строя даже незначительного оборудования может привести к остановке всего производства, после чего все заготовки могут быть отправлены или на переплавку, или в брак. Любая поломка может привести к временному расстройству, тем более нежелательны остановки на проведение диагностики. Аналогичный характер процессов свойственен предприятиям нефтеперерабатывающей, химической промышленности. Да и для более мелких предприятий тепловизионная диагностика электрооборудования не будет лишней [1].

Самыми важными элементами тепловизора являются объектив и матрица. Объектив собирает инфракрасное излучение и фокусирует его на матрице, а матрица выдает сигнал и создает термограмму, то есть изображение исследуемого объекта, которое обработано электроникой таким образом, что различные градации цвета соответствуют распределению инфракрасного излучения по поверхности объекта.

Поскольку традиционное стекло не пропускает инфракрасные лучи, линзу тепловизионного объектива изготавливают из специальных материалов. Чаще всего это германий, однако он дорогой и его месторождение в нашей стране находится лишь под Красноярском [2].

Ещё одним важным элементом прибора является матрица. Она может быть охлаждаемой и неохлаждаемой. Принцип работы охлаждаемой матрицы заключается в следующем: фотоны, попадая на поверхность полупроводника (HgCdTe, InSb), переводят носители

заряда на нем из связанного состояния в свободное. Количество переходов пропорционально интенсивности теплового излучения электрооборудования. В этом случае матрица должна обязательно охлаждаться, иначе собственные тепловые колебания решетки полупроводника также вызовут интенсивное высвобождение носителей заряда, на фоне которого генерация от светового воздействия станет незаметной. Охлаждают матрицу, к примеру, при помощи холодильника Стирлинга либо жидким азотом [3].

Работа неохлаждаемых матриц устроена на тепловом преобразовании, в основе которого лежат различные эффекты, например, зависимость электрического сопротивления от температуры. Такая матрица представляет собой набор микроболометров, иначе говоря, приборов для измерения энергии инфракрасного излучения с помощью термочувствительного элемента, который поглощает это излучение [3].

Охлаждаемые матрицы чувствительные, но дорогие и массивные. Неохлаждаемые дешевле, надежнее, компактнее, но менее чувствительные. Простота и относительная дешевизна неохлаждаемых тепловизоров делают их массовыми. Однако заменить ими охлаждаемые приборы, при сохранении их характеристик, пока не удастся.

Несмотря на то, что тепловизоры обычно считаются дорогими, расходы, которые связаны с обслуживанием и незапланированным простоем производства, могут быть значительно снижены за счет их использования для выполнения предупредительного и профилактического обслуживания.

Источники

1. Иванова В.Р., Иванов В.Ю. Метод тепловизионного контроля для увеличения сроков службы электротехнического оборудования и эксплуатации после выработки им положенного ресурса // Вестник современных исследований. 2018. № 8–3 (23). С. 253–255.

2. «Основы термографии и тепловидения» [Электронный ресурс]: учеб. URL: <http://www.baltech.kz/catalog.php?catalog=164> (дата обращения: 27.09.2019).

3. Бирюк В.В. Применение тепловизора в энергетическом машиностроении: учеб. Самара, 2007. 96 с.

ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ С СИСТЕМАМИ МОНИТОРИНГА АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Чиндин Владислав Владимирович¹, Москалев Лев Борисович²,

Кретов Дмитрий Алесеевич³

ФБГОУ ВО «ТГУ», г. Тольятти

¹vladislav.chindin@gmail.com, ²levamos@yahoo.com, ³dmitry.kretov@gmail.com

В статье выполнено сравнение цифровых микропроцессорных устройств релейной защиты имеющих внутренние функции мониторинга аварийных ситуаций и состояния оборудования электроэнергетических систем. Применение рассмотренных устройств характерно в цифровых-интеллектуальных системах электроснабжения.

Ключевые слова: системы мониторинга, микропроцессорная релейная защита, электроэнергетические системы электроснабжения, цифровая трансформация.

DIGITAL RELAY PROTECTION DEVICES FOR INTEGRATION WITH EMERGENCY MONITORING SYSTEMS IN POWER GRIDS

Chindin Vladislav Vladimirovich, Moskaev Lev Borisovich,

Kretov Dmitry Aleseevich

Authors compare the digital microprocessor protective relays, which has a function of emergency regimes monitoring and the status of power grid equipment. This devices mostly use in digital-smart power grids.

Keywords: monitoring systems, microprocessor relay protection, power grids, digital transformation.

На данный момент во всем мире можно заметить тенденцию перехода и внедрения в электроэнергетическую систему (ЭЭС) цифровых (микропроцессорных) устройств релейной защиты (ЦМУРЗ). Преобладающее большинство европейских и западных стран переходят от электромеханических устройств релейной защиты (ЭМУРЗ) к ЦМУРЗ и оснащают ими электростанции, подстанции, распределительные линии. С развитием технологий ЦМУРЗ стали во многом превосходить по своим характеристикам и возможностям ЭМУРЗ. Такая тенденция обуславливается необходимостью детального контроля за ЭЭС и высокочувствительным оборудованием, установленным в ней. Но в России данный процесс идет

крайне медленно. На это есть несколько причин. Первая, неготовность к переходу из-за технической особенности ЭЭС. Вторая, предпочтение ЭМУРЗ из-за надежности и опыта в работе с ним. Третья, отсутствие достойных отечественных аналогов, которые бы имели возможности и функционал западных ЦМУРЗ. Четвертая, отсутствие должного финансирования на закупку западных приборов.

Нельзя не отметить попытки перехода в российской ЭЭС от ЭМУРЗ к ЦМУРЗ. Помимо внедрения в систему западных приборов, в России начали массово производить цифровые устройства мониторинга (ЦУМ) системы. Рассмотрим образцы западных микропроцессорных реле, далее, на основе приведённых и рассмотренных характеристик, проведём сравнение с российским аналогом. В качестве западного варианта цифрового устройства релейной защиты и автоматики было выбрано фидерные микропроцессорное реле марки F-PRO [1].

Реле F-PRO 235, обеспечивает защиту по току, напряжению и частоте линий, шин, генераторов и т.д. Помимо этих функций, реле так же обеспечивает мониторинг подключенных к фидеру автоматических выключателей, которые могут иметь разные параметры исходя из потребностей. Все подключенные автоматические выключатели отображаются в интерфейсе SCADA или UI, упрощая их мониторинг. Реле F-PRO 235 позволяет так же регистрировать аварийные и предаварийные события, с частотой в 32 измерения за цикл (sample/cycle). Регистрация может начинаться автоматически, при выявлении аварийной ситуации, либо при получении команды ручного запуска регистрации. Реле обеспечивает хранение 400 секунд записи в энергонезависимой памяти, однако, пользователь может сохранить весь объём полученной информации в форматах .fpr и .fre на ПК, к которому подключено реле. Как уже упоминалось, реле можно подключить к ПК, делается это через USB-порт, помимо него существует так же Ethernet-порт для информационного обмена между устройствами. F-PRO 235 так же поддерживает протокол Modbus, позволяющий соединить несколько подобных реле и прочее промышленное оборудование поддерживающее подобный протокол.

Теперь перейдём к российским аналогам, сравним F-PRO 235 с РЭС-3-61850 [2]. Существенным недостатком РЭС-3-61850, в сравнении с западным аналогом, является то, что у него полностью отсутствует функция защиты по току, напряжению, частоте. Это существенно усложняет его эксплуатацию, так как приходится комбинировать его с устройствами, которые могут исполнять эти функции. Так же недостатком являются габариты РЭС-3-61850, 338×446×87 мм, для сравнения, габариты F-PRO 235 равны 177×155,5×242,5 мм, соответственно, выше и суммарный объём устройства. Вес РЭС-3-61850 практически в 2 раза больше чем у

F-PRO 235 (10 кг против 4,5 кг). РЭС-3-61850 обладает меньшим набором мониторинговых функций, нежели F-PRO 235, регистратор не измеряет интеграл Джоуля для шин и соединений, не измеряет коэффициент нелинейных искажений (КНИ), а так же не обеспечивает мониторинг подключённых к фидеру автоматических выключателей. Так же, РЭС-3-61850 не имеет матрицы вход/выход для мониторинга всех входов, используемых в данный момент, что усложняет процесс мониторинга.

Можно заметить, что на данный момент западные ЦМУРЗ во многом превосходят российские аналоги систем мониторинга ЭЭС. Одним из ключевых факторов, который позволит ускорить переход к цифровой защите – создание и производство отечественных многофункциональных ЦМУРЗ. Почему необходимо создание российских аналогов МЦУРЗ:

1) производство ЦМУРЗ в России позволит существенно уменьшить стоимость данного оборудования;

2) прибор будет изначально адаптирован под российские стандарты качества и безопасности ЭЭС;

3) создание интерфейса на русском языке;

4) сокращение обслуживающего и эксплуатационного персонала.

5) повышение надежности оперативных переключений;

6) сокращение затрат на внедрение и обслуживание отдельных приборов по контролю состояния ЭС и оборудования;

7) повышение качества электрической энергии;

8) повышение эффективности работы объектов электроэнергетического комплекса (электрические станции, подстанции, распределительные и магистральные сети) электростанций, подстанций.

Возможности устройства позволят вести качественный контроль эффективности работы электрических станций и подстанций, что приведет к снижению потерь в ЭЭС в целом и позволит повысить цифровизацию электроэнергетической отрасли России и обеспечить качественный переход к интеллектуальным ЭЭС.

Источники

1. «Фидерные микропроцессорные реле F-PRO» [Электронный ресурс]: руководство пользователя URL: http://www.erlphase.com/downloads/manuals/F_PRO_235_manual.pdf (дата обращения: 18.09.2019).

2. «Регистратор событий цифровой подстанции РЭС-3-61850» [Электронный ресурс]: URL: <https://www.prosoftsystems.ru/catalog/show/rjes361850-registrator-sobytij-cifrovoj-podstancii?tab=description> (дата обращения: 05.10.2019).

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ЗА СЧЕТ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДЕАЭРАЦИИ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Шамшурина Галина Ивановна
ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара
tes@samgtu.ru

В данной статье предлагается использовать деаэратор перегретой воды с кавитационно-разгонными устройствами, приводятся тепловые характеристики деаэратора, размеры кавитационно-разгонных устройств и принципиальная схема деаэрационной установки.

Ключевые слова: деаэратор, кавитационно-разгонное устройство, водяной экономайзер, паропроизводительность, энергоэффективность.

ENERGY SAVING IN BOILER PLANTS DUE TO IMPROVEMENT OF FEED WATER DEAERATION TECHNOLOGY

Shamshurina Galina Ivanovna

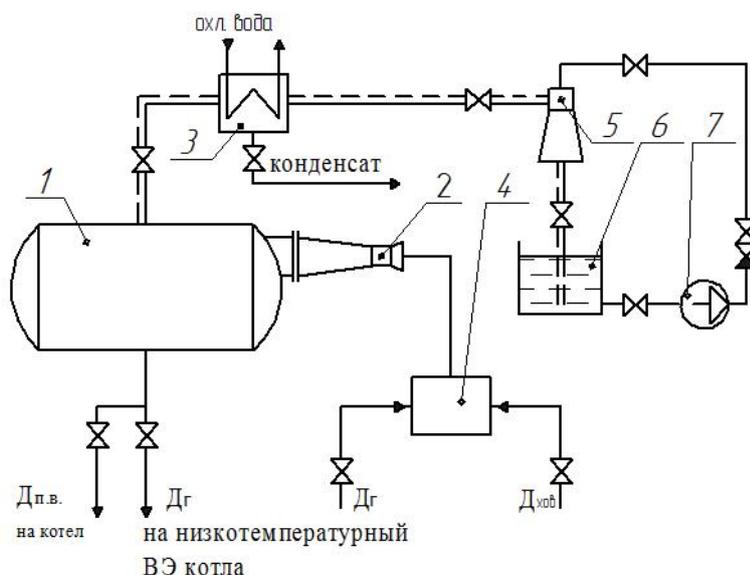
This article proposes the use of a superheated water deaerator with cavitation-accelerating devices, provides the thermal characteristics of the deaerator, the dimensions of cavitation-accelerating devices, and a schematic diagram of a deaeration installation.

Keywords: deaerator, cavitation booster, water economizer, steam performance, energy efficiency.

Проблема повышения эффективности работы деаэраторов питательной воды промышленно-отопительных котельных, является весьма актуальной. В настоящей работе предлагается использовать для деаэрации питательной воды в промышленно-отопительных котельных деаэраторы перегретой воды с кавитационными-разгонными устройствами (струйно-кавитационные деаэраторы), разработанные на кафедре ТЭС Самарского государственного технического университета [1]. Струйно-кавитационный деаэратор состоит из горизонтального бака-аккумулятора цилиндрической формы и кавитационно-разгонных устройств (КРУ), прикрепленных к торцевым днищам бака-аккумулятора. В КРУ подается вода, температура которой на 4–6 °С превышает температуру насыщения в баке-аккумуляторе. КРУ состоит из сужающейся, цилиндрической и расширяющейся части.

В сужающейся части КРУ и в начальном участке цилиндрической, вследствие снижения статического напора возникают мельчайшие пузырьки кавитационной природы, которые служат центрами парообразования. В потоке появляется устойчивая паровая фаза. В конце цилиндрической части поток разгоняется до скорости звука. В расширяющейся части поток разгоняется до сверхзвуковой скорости. Десорбция газов из воды начинается в КРУ и интенсифицируется по мере возрастания степени сухости пароводяной смеси и скорости потока. Интенсивная десорбция продолжается в активной части потока после КРУ.

На центральной отопительной котельной (ЦОК) Самарской ГРЭС была создана экспериментальная установка, включенная в технологическую схему деаэратора ст. № 2, а затем и опытно-промышленная установка на баке-аккумуляторе деаэратора ст. № 4. Данные экспериментов и анализ результатов промышленной эксплуатации деаэраторов перегретой воды с кавитационно-разгонными устройствами (КРУ) в течение нескольких лет доказали надежность и эффективность их работы [2, 3]. Результаты исследований послужили основой для расчета тепловых характеристик таких деаэраторов и конструктивных размеров кавитационно-разгонных устройств следующего параметрического ряда: $D_b = 20; 35; 100; 175$ т/ч при давлении в деаэраторе $p_d = 0,147; 0,0294; 0,049$ МПа. Принципиальная схема установки струйно-кавитационного деаэратора представлена ниже на рисунке: 1 – корпус деаэратора; 2 – кавитационно-разгонное устройство (КРУ); 3 – охладитель выпара; 4 – смешивающий подогреватель; 5 – водоструйный эжектор; 6 – бак рабочей воды; 7 – насос для подачи рабочей воды.



Принципиальная схема установки струйно-кавитационного деаэратора при $p_d = 0,0147; 0,0294; 0,049$ МПа

Струйно-кавитационный деаэратор выгодно отличается от других деаэраторов крайней простотой конструкции, отсутствием каких-либо устройств внутри деаэратора (дырчатых листов, перегородок, насадки), долговечностью конструктивных элементов и глубиной дегазации (остаточная концентрация кислорода 10 мкг/дм³). Технологическим преимуществом струйно-кавитационного деаэратора является то, что теплоносителем в нем может служить предварительно продеаэрированная в том же деаэраторе горячая вода, нагрев которой осуществляется в низкотемпературном водяном экономайзере. Предварительная деаэрация теплоносителя исключает коррозию оборудования, наличие низкотемпературного водяного экономайзера способствует повышению КПД котла. Кроме того, применение струйно-кавитационного деаэратора исключает расход пара на собственные нужды, что увеличивает полезную паропроизводительность котельной.

Источники

1. Деаэратор перегретой воды: а. с. 635045 СССР № 2325963/29-06; заявл. 17.02.76; опубл. 30.11.78, Бюл. № 44.
2. Кудинов А.А., Шамшурина Г.И., Борисова Н.Б. Разработка и исследование опытного вакуумного деаэратора // Энергетик. 2009. № 10. С. 29–31.
3. Исследование режимов работы вакуумно-кавитационных деаэраторов Самарской ГРЭС / А.А. Кудинов [и др.] // Электрические станции. 2011. № 2. С. 38–42.

Секция 8. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 622.323:681.5

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Алешин Сергей Алексеевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
aleshin97@inbox.ru

В статье предложено решение проблемы образования водонефтяной эмульсии с помощью интеллектуальных станций управления на добывающих скважинах с установкой штангового глубинного насоса.

Ключевые слова: интеллектуальная станция управления, энергоэффективность, электроэнергия, асинхронный двигатель.

OPTIMIZATION OF OPERATION MODES USING INTELLIGENT MANAGEMENT STATIONS IN OIL AND GAS PRODUCTION

Aleshin Sergey Alekseevich

The article proposes a solution to the problem of the formation of a water-oil emulsion using intelligent control stations in production wells with the installation of a sucker rod pump.

Keywords: intelligent control station, energy efficiency, electricity, induction motor.

Проблема борьбы с обводнённостью является актуальной задачей, обусловленная снижением нефтеотдачи пластов и разработки нефтяных месторождений в целом [1].

Каждый год в мире увеличиваются затраты на ремонт скважин. Основной причиной убытия добывающих скважин осложнена образованием водонефтяной эмульсии с обводненностью от 40 до 80 %. Последствия образования водонефтяной эмульсии приводят к отказам в работе клапанов установка штангового глубинного насоса (УШГН), зависанию и обрыва насосных штанг. При этом нефтегазовое производство

несет дополнительные потери нефти и затраты на добычу нефти из-за непредвиденных простоев УШГН – рассухаривание, падение и обрыв канатной подвески. Большинство скважин располагаются на месторождениях поздней стадии разработки и имеют высокую степень обводненности. При этом увеличивается число малодебитных скважин и скважин с нестабильно снижающим притоком.

Такие скважины характеризуются:

- высоким энергопотреблением оборудования;
- меньшим ресурсом работы;
- частыми простоями;
- пониженным КПД.

Для решения данной проблемы применяется частотно-регулируемый привод (ЧРП), который в настоящее время находит применение практически во всех отраслях промышленности [2]. В нефтяной промышленности также происходит широкое внедрение ЧРП в технологических процессах на всех этапах производства углеводородного сырья: в добыче, первичной подготовке, при транспорте нефти и газа по магистральным трубопроводам, а также при их переработке.

Основные преимущества использования ЧРП заключаются в возможности плавного регулирования скорости вращения приводных электродвигателей, что позволяет обеспечить оптимальный режим работы технологической установки, добиться нужной производительности и избежать перерасхода электроэнергии [2].

Внедрение интеллектуальных станций управления ИРЗ-410 производства ООО «НИИ ТС «Пилот» для УШГН с асинхронным двигателем на добывающих скважинах позволит¹:

- автоматизировать работу и повысить дебит скважин;
- снизить удельные затраты электроэнергии на механизированный подъем жидкости в среднем;
- увеличить межремонтный период оборудования за счет плавных запусков и контроля энергетических параметров;
- отказаться от применения стандартных СУ ШГН и СУ ЧРЭП.

Принцип работы ИСУ серии ИРЗ-410 и его функции [3]:

- основан на интеллектуальном режиме работы, позволяющем автоматизировать процесс добычи, увеличивать количество добываемой жидкости за счет уменьшения простоев, увеличения коэффициента

¹ См. отчёт по результатам проведения ОПР интеллектуальной станции управления (ИСУ) для УШГН с асинхронным электродвигателем ИРЗ-410 в НГДУ «Ямашнефть».

заполнения насоса, увеличения межремонтного периода ШГН и снижения влияния человеческого фактора;

– считывание фактических параметров работы УШГН осуществляется с помощью межтраверсного динамографа, датчика нижней мертвой точки НМТ на контргрузе, датчиков тока с асинхронного электродвигателя;

– передача информации от межтраверсного динамографа на ИСУ выполняется по каналу Bluetooth на антенну-приемник ИСУ;

– задание базовых коэффициентов по типу станка-качалки УШГН и анализ текущего режима работы осуществляется на контроллере ИСУ;

– на дисплее контроллера ИСУ отображаются действительная (от межтраверсного динамографа) и расчетная (от датчика НМТ) динамограммы;

– передача информации по скважине осуществляется по каналу GSM (посредством установленной sim-карты в комплектный GSM модем ИСУ);

– мониторинг данных, настройка и управление работой ИСУ текущих параметров эксплуатации осуществляется через интернет портал «Система мониторинга М500».

Основные возможности интеллектуальной станции управления «ИРЗ-410» [1]:

1) интеллектуальные режимы:

– режим поддержания нагрузки на штанги;

– режим поддержания коэффициента заполнения насоса;

2) виды защит:

– от срыва подачи по газу;

– от генераторного режима;

– от образования эмульсии.

Интеллектуальные станции управления обеспечивают эффективную работу скважин со слабыми коллекторскими свойствами, эксплуатируется с применением штанговых глубинных установок. Подобные станции позволяют в автоматическом режиме измерять все необходимые параметры работы скважины, диагностировать возможные осложнения, подстраивать работу насоса под условия эксплуатации скважины и выводит работу установок на оптимальный режим.

Источники

1. Снижение затрат при нефтедобыче [Электронный ресурс]. URL: <https://neftegaz.ru/science/booty/331578-snizhenie-zatrat-pri-neftedobyche/> (дата обращения: 12.08.2016).

2. «Результаты испытаний интеллектуальной станции управления штанговыми глубинно-насосными установками с частотно-регулируемым приводом» [Электронный ресурс]. URL: <https://neftegaz.ru/science/engineer/331833-rezultaty-ispytaniy-intellektualnoy-stantsii-upravleniya-shtangovymi-glubinno-nasosnymi-ustanovkami-s/> (дата обращения: 26.03.2015).

3. «Интеллектуальная станция управления штанговыми насосами с частотным регулированием ИРЗ-410»: руководство по эксплуатации. 2017. 43 с.

УДК 621-3

ЗАЩИТА ОТ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СИНХРОНИЗАЦИИ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

Андреев Дмитрий Вячеславович¹, Зацепина Виолетта Иосифовна²

ФГБОУ ВО «ЛГТУ», г. Липецк

¹dmitriy-andreev-1996@ya.ru, ²vizats@gmail.com

В статье рассмотрен метод защиты от коммутационных перенапряжений, возникающих в электрических сетях. Рассмотрен принцип работы синхронного вакуумного выключателя. Определены основные преимущества его использования.

Ключевые слова: электрическая сеть, перенапряжение, коммутация, силовой выключатель.

PROTECTION AGAINST SWITCHING OVERVOLTAGES USING METHODS OF SYNCHRONIZATION OF SWITCHING APPLIANCES

Andreev Dmitry Vyacheslavovich, Zatsepina Violetta Iosifovna

The article describes the method of protection against switching overvoltages arising in electrical networks. The principle of operation of a synchronous vacuum circuit breaker is considered. The main advantages of its use are determined.

Keywords: electric network, overvoltage, switching, power switch.

Перенапряжения в электрических сетях являются одной из главных проблем в электроэнергетике. Это явление может нарушить нормальную работу электрооборудования, разрушить его изоляцию или вовсе вывести

из строя, нанеся тем самым серьезный экономический ущерб. Кроме того, появляется угроза для человеческой жизни. В настоящее время ведется разработка различных технических решений, которые направлены на снижение отрицательных последствий от перенапряжений.

Под перенапряжением следует понимать резкое превышение величины напряжения его установленных значений. Согласно ГОСТ 32144, в котором регламентируются основные показатели качества электрической энергии, допустимое и предельно допустимое отклонение напряжения от номинального значения не должно превышать 5 и 10 %, соответственно [1].

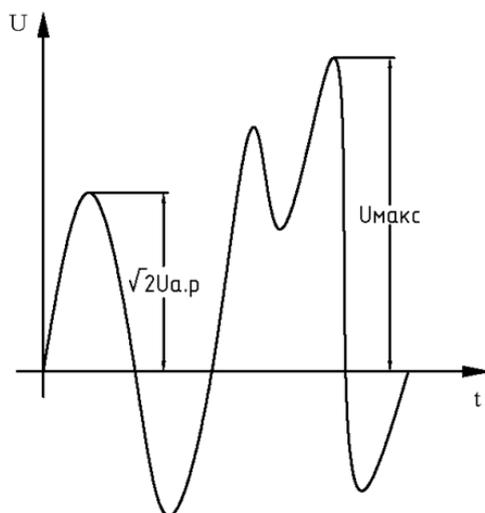
Перенапряжения делятся на два основных типа:

- внешние, основными источниками которых являются атмосферные явления, например, удар молнии;
- внутренние, которые непосредственно связаны с процессами, происходящими в энергосистеме, например, при коммутации элементов электрической сети.

Главной характеристикой перенапряжения является его кратность – отношение максимальной величины напряжения к амплитудному значению рабочего напряжения (см. рисунок):

$$K = U_{\text{макс}} / U_{\text{а.р}},$$

где $U_{\text{макс}}$ – максимальная величина напряжения, В; $U_{\text{а.р}}$ – амплитудное значение рабочего напряжения, В.



Характеристика перенапряжения

Коммутации в электрических сетях являются источником появления переходных процессов. При этом осуществляется перераспределение энергии между ёмкостными и индуктивными элементами. Следует отметить, что уровень перенапряжения зависит непосредственно от момента коммутации контактов и не зависит от типа коммутационного аппарата. В силовых выключателях, при их отключении, периодически возникают повторные пробой. Причиной пробоя является недостаток электрической прочности промежутка между контактами в начальный момент времени после гашения дуги. Если данные явления происходят в момент коммутации, то это может вызвать резкий скачок напряжения [2].

Основным средством ограничения коммутационных перенапряжений является применение вентильных разрядников или встроенных в выключатели шунтирующих сопротивлений. Однако данные методы позволяют лишь снизить амплитуду перенапряжения, не оказывая влияние на его частоту.

Наиболее современным решением данной проблемы является применение устройств синхронной коммутации, которые позволяют включать и отключать электрическую цепь в определённый момент времени.

Такой вид коммутации позволяет предотвратить бросок тока при включении, снизить величину перенапряжения. Показатели надёжности электрооборудования возрастут, так как снизится количество отказов.

Синхронная коммутация может обеспечиваться только оборудованием, время срабатывания которых не зависит от вида нагрузки или температуры окружающей среды. Интервал времени несовпадения коммутации не должен превышать нескольких миллисекунд [3].

Замыкание контактов должно происходить с опережением момента, когда напряжение переходит через нулевое значение. Таким образом, силовой выключатель включается на реактивную нагрузку, следовательно, бросок тока снизится. Как известно, в сети трехфазного переменного тока моменты времени прохождения каждой фазы через ноль не совпадают, поэтому коммутацию каждой фазы необходимо проводить последовательно.

Синхронный вакуумный выключатель является тем устройством, который соответствует критериям, представленным выше. Он может использоваться для коммутации любого вида нагрузки.

Система автоматического управления выключателя обеспечивает необходимый интервал времени от начала движения контактов до их коммутации, при котором произойдет восстановление электрической прочности межконтактного пространства.

Нормальная работа системы автоматического управления не может осуществляться без стабилизированного источника оперативного питания.

Применение синхронной коммутации в электрических сетях позволяет снизить коммутационные перенапряжения. Экономические показатели возрастут из-за отказа от дорогого защитного оборудования и снижения расходов на проведение ремонтных работ. Также возрастет качество электрической энергии.

Источники

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

2. Применение синхронной коммутации для ограничения коммутационных перенапряжений в электрических сетях / А.А. Ачитаев [и др.] // Главный энергетик. 2014. № 3. С. 42–49.

3. Буткевич Г.В., Клепарская Л.Г., Набатов В.Ф. Наибольшее допустимое время расхождения контактов воздушных выключателей для синхронизированного отключения // Электричество. 1969. № 8. С. 6–13.

УДК 621.314

ВИДЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА И ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Анисимов Владислав Александрович¹, Валиуллина Диля Мансуровна²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹va_anisimov77@mail.ru, ²valiullinadiliya@mail.ru

В работе изложено общее представление о наиболее широко используемых и инновационных методах диагностики и контроля технического состояния силовых трансформаторов и трансформаторного масла, их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: силовой трансформатор, трансформаторное масло, вибрационная диагностика, хроматографический анализ, тепловизионный контроль.

TYPES OF CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE TRANSFORMER AND TRANSFORMER OIL

Anisimov Vladislav Alexandrovich, Valiullina Dilia Mansurovna

The paper gives a general idea of the most widely used and innovative methods of diagnostics and monitoring the technical condition of power transformers and transformer oil, their advantages and disadvantages.

Keywords: power transformer, transformer oil, vibration diagnostics, chromatographic analysis, thermal imaging control.

В число основных методов диагностики силовых трансформаторов под рабочим напряжением входят:

- хроматографический анализ масла;
- тепловизионное обследование;
- измерение частичных разрядов;
- контроль влажности и температуры в трансформаторе;
- измерение вибропараметров;
- метод флуоресцентной спектроскопии;
- спектрофотометрия и флуометрия;
- фото-акустическая спектроскопия.

Порядок выполнения работ следующий:

- отбор масла из бака трансформатора;
- тепловизионное обследование узлов трансформатора;
- измерение частичных разрядов в нулевом проводе трансформатора;
- измерение частичных разрядов акустическим методом;
- измерение вибрационных характеристик;
- анализ результатов измерений и экспертиза технического состояния;
- оформление технического отчета.

Хроматографический анализ – один из методов оценки технического состояния силового трансформатора на основании анализа его масла. Современные средства позволяют вести мониторинг без привлечения специального оборудования. Приборы выполняют отбор проб непрерывно, что дает возможность проследить за развитием дефектов и вовремя принять соответствующие меры [1].

Для характеризования определенных дефектов в силовых трансформаторах анализируют масло на содержание следующих газов: водород H_2 , кислород O_2 , азот N_2 , ацетилен C_2H_2 , этан C_2H_6 , метан CH_4 , этилен C_2H_4 , окись CO и двуокись углерода CO_2 .

При использовании хроматографического анализа, испытаниям подлежат следующие показатели масла:

- 1) цвет, прозрачность, запах;
- 2) наличие газовых фракций, вкраплений воды;
- 3) диэлектрическая проницаемость;
- 4) тангенс угла диэлектрических потерь;
- 5) степень кислотности, вязкости;
- 6) способность к окислительным реакциям;
- 7) электрическая прочность;
- 8) глубина полимеризации;
- 9) износ металла;
- 10) выявление мелкодисперсных абразивных загрязнителей,

полихлорированных бифенилов.

Цель тепловизионного контроля – выявления локальных дефектов с помощью тепловизора, что позволит сократить объем, сроки и стоимость ремонтных работ, увеличить межремонтные сроки, повысить безопасность и надежность работы электрооборудования. Контроль проводится высокоточным профессиональным тепловизором со специализированным программным обеспечением для обработки полученной информации [2].

В первую очередь, на неравномерность тепловых свойств объекта оказывают влияние такие факторы, как:

- теплопроводность материала объекта контроля;
- неоднородность плотности материала, наличие механических повреждений (сколов, трещин, щелей) в материале;
- недостаточное количество или низкое качество теплоизоляционного материала;
- электрическое сопротивление материала в случае токопроводящих объектов;
- наличие (отсутствие) источников тепла внутри (около) анализируемого объекта;
- повышенная влажность материала.

Вибрационная диагностика – метод диагностирования технического оборудования, основанный на анализе параметров вибрации, либо создаваемой работающим оборудованием, либо являющейся вторичной вибрацией.

Важным достоинством применения вибрационных диагностических методов является возможность проведения технической оценки качества прессовки обмоток и магнитопровода трансформатора. Вибрационный метод является одним из немногих, позволяющим проводить диагностическое обследование в процессе работы трансформатора [3].

При проведении вибрационной диагностики состояния трансформаторов следует учитывать, что из-за различных конструктивных особенностей вибрационные процессы, происходящие на поверхности бака, в различной степени связаны с дефектами состояния, особенно, если они имеют место во внутренних элементах трансформатора, таких как обмотка, магнитопровод, или в устройстве РПН.

Использование методов контроля технического состояния силовых трансформаторов и дальнейшее их совершенствование позволяет достичь следующих результатов:

- предотвратить сотни аварий;
- сэкономить средства;
- обеспечить энергетическую безопасность;
- повысить надёжность работы сетей.

Источники

1. Чупак Т.М., Южанников А.Ю. Оценка состояния трансформатора на основе золотого сечения // Фундаментальные исследования. 2016. № 9. С. 81–82.

2. Альмухаметов И.И., Давиденко И.В. Исследование взаимного влияния параметров трансформаторного масла // Тр. 1-й науч.-техн. конф. молодых ученых Уральского энергетического института. Екатеринбург, 2016. С. 167–170.

3. Львов М.Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше // Электричество. 2010. № 2. С. 27–31.

4. Высокогорец С.П. Разработка новых методов и алгоритма оценки качества эксплуатационных масел силовых трансформаторов напряжением 35–110 кВ: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2012. 18 с.

УДК 621.314.2

РЕЛЕЙНЫЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Беянина Раиса Кирилловна¹, Валиуллина Диля Мансуровна²,

Валеяхметов Руслан Фатихович³

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹belyaninar@mail.ru, ²valiullinadiliya@mail.ru, ³ruscadr117@mail.ru

В статье рассмотрено два вида стабилизаторов напряжения. Рассмотрен принцип работы устройств. Выделены преимущества и недостатки.

Ключевые слова: напряжение, релейный стабилизатор, электронный стабилизатор, регулирование.

RELAY AND ELECTRONIC VOLTAGE STABILIZERS

Belyanina Raisa Kirillovna, Valiullina Diliya Mansurovna,
Valeyakhmetov Ruslan Fatikhovich

The article considers two types of voltage stabilizers. The principle of operation of devices is considered. Advantages and disadvantages are highlighted.

Keywords: voltage, relay stabilizer, electronic stabilizer, regulation.

Стабилизаторы напряжения в зависимости от внутреннего устройства и способу стабилизации можно разделить на три группы:

- электромеханические;
- электронные или релейные;
- электромагнитные.

Релейные стабилизаторы регулируют напряжение ступенчато. Перемены напряжение на выходе и входе идут параллельно. Независимо от повышения или понижения напряжения на входе на выходе в постоянном режиме никогда не будет 220 В. Так как точность работы релейного стабилизатора связана с количеством обмоток, то прибор будет работать точнее, если обмоток больше.

Преимуществом является скорость стабилизации. Она составляет от 0,1 до 0,15 с, и скорость стабильна не зависимо от величины скачка. Также к преимуществам релейного стабилизатора можно отнести:

- небольшие габариты;
- широкий диапазон стабилизации;
- может выдерживать длительные перегрузки;
- практически не реагирует на искажения входного напряжения и не искажает сам напряжение на выходе;
- возможность эксплуатации при температурах от -20 до $+40$ °С;
- бесшумная эксплуатация;
- срок службы достигает 10 лет.

К недостаткам можно отнести ступенчатое переключение. Если напряжение будет выдаваться с точностью 2 % и больше, то переключение обмоток будет влиять на изменения освещенности некоторых видов ламп.

Скорость стабилизации напрямую влияет на точность. Так как прежде, чем стабилизировать падение или повышение напряжения, необходимо пройти все ступени, количество которых зависит

от количества обмоток в трансформаторе, соответственно, чем медленнее стабилизируется напряжение, тем точнее прибор.

Электронные стабилизаторы работают по той же схеме, что и релейные, с разницей в переключении, которое выполняется тиристорами. В них нет механических деталей, а значит нет износа.

Основные преимущества и недостатки у электронных и релейных стабилизаторов одинаковые.

Существующая в электронных приборах двойная обработка напряжения позволяет выводить уровень напряжения на необходимую величину в два этапа. Первый этап является более грубым, а второй уже выводит уровень на необходимую величину. Так как в конструкции электронных стабилизаторов используют полупроводниковые элементы у них повышается цена. Также у электронных стабилизаторов перегрузочная способность ниже. На работу электронных стабилизаторов могут влиять помехи в сети.

Источники

1. «Сравнение типов стабилизаторов напряжения» [Электронный ресурс]. URL: http://electromirbel.ru/sravnienie_tipov_stabilizatorov (дата обращения: 27.10.2019).

2. «Сравнение типов стабилизаторов напряжения» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.stabilizator.spb.ru/pozvolte-pomoch/stati/stabilizatory1/sravnienie-tipov-stabilizatorov-napryazheniya.html> (дата обращения: 27.10.2019).

УДК 681.518.5

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Бизикин Кирилл Андреевич¹, Туранов Александр Николаевич²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹kirilloz3534945@gmail.com, ²sasha_turanov@rambler.ru

В данной статье рассмотрены наиболее эффективные методы контроля состояния кабельных линий методом частичных разрядов, который предназначен для диагностического контроля технического состояния кабельных линий среднего и высокого напряжений.

Ключевые слова: кабельная линия, диагностика, метод контроля, изоляция кабельных линий, изоляция, метод частичных разрядов, напряжение, монтаж кабельной линии.

APPLICATION OF THE PARTIAL DISCHARGE METHOD FOR DIAGNOSTIC OF CABLE LINES

Bizikin Kirill Andreyevich, Turanov Alexander Nikolaevich

This article describes the most effective methods for monitoring the state of cable lines by the method of partial discharges, which is intended for diagnostic monitoring of the technical condition of cable lines of medium and high voltage.

Keywords: cable line, diagnostics, control method, insulation of cable lines, insulation, partial discharge method, voltage, installation of a cable line.

Фундаментальность бесперебойного электроснабжения потребителей во многом определяется качеством кабельных линий. На данный момент все кабельные линии до и после монтажа подвергаются испытаниям для соответствия нормативных технических требований. Также во время эксплуатации кабельных линий производятся разнообразные методы диагностики и испытаний для выявления ослабленных участков и мест, повреждения изоляции и защитных оболочек. В последние года в России и за рубежом приходят к мнению о необходимости исключения испытаний силовых кабельных линий повышенным напряжением постоянного тока и замены его на диагностику, использующую неразрушающие методы. Дело в том, что проведение испытаний кабеля, находящегося в эксплуатации продолжительное время, повышенным напряжением отрицательно влияет на изоляцию и снижает срок эксплуатации [1].

Одним из прогрессивных методов диагностики является метод измерения частичных разрядов, позволяющий не только определить уровень частичных разрядов, но и определить их местонахождение. Сущность данного метода заключается в выявлении коротких импульсных сигналов, длительность которых десятки-сотни нано секунд, возникающих во время появления частичных разрядов. Эти импульсы распространяются к разным концам кабельной линии. Измеряя импульсы, достигшие начала кабеля, можно определить расстояние до места их возникновения и уровень.

Использование данного метода контроля технического состояния кабельных линий и дальнейшее его совершенствование позволит достичь следующих результатов:

- предотвратить сотни аварий;
- сэкономить средства;
- обеспечить энергетическую безопасность;
- повысить надёжность работы сетей;

Однако есть и другие методы оценки кабельных линий, входящие в категорию «неразрушающих методы».

Данные методы не оказывают разрушительного влияния на изоляцию кабельных линий, так как подаваемые при испытаниях напряжения не превышают значения $1,73U_{ном}$. Недостатки также имеются: для получения многих характеристик придется временно выводить линию из работы, но даже в этом случае вывод из работы заранее запланирован и не является аварийным [2].

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальным методом диагностики кабельных линий является метод измерения частичных разрядов. Наличие ЧР является первым сигналом, способным предупредить о надвигающейся угрозе выхода кабельной линии из строя. Важнейшими преимуществами данного метода являются возможность локализации развивающегося дефекта и мониторинга состояния изоляции КЛ в динамике, выбор сигналов ЧР позволяет произвести отстройку от внешних помех и производить диагностику под рабочим напряжением. Данный метод, используемый совместно с испытанием оболочки кабеля, является на сегодняшний день наилучшим методом контроля качества работ по прокладке и монтажу кабельной линии [3].

Источники

1. «Электроснабжение и электрические сети» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ruscable.ru/info/pue/1-2.html> (дата обращения: 27.09.2019).
2. «Измерение частичных разрядов (ЧР)» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eurostell.com/methods/izmerenie-chastichnyh-razryadov/> (дата обращения: 27.09.2019).
3. «Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eurostell.com/methods/izmerenie-chastichnyh-razryadov/> (дата обращения: 27.09.2019).

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Галиева Гульназ Зуфаровна¹, Максимов Виктор Владимирович²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹gulnazufarovna@mail.ru, ²viktor.maksimov.1968@mail.ru

В статье описаны критерии эффективности релейной защиты в системах электроснабжения. Представлены составляющие эффективности РЗА.

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, эффективность, надежность, критерии, параметры.

RELAY PROTECTION EFFICIENCY CRITERIA IN ELECTRICITY SYSTEMS

Galieva Gulnaz Zufarovna, Maksimov Viktor Vladimirovich

The article describes the criteria for the effectiveness of relay protection with power supply systems. The components of the effectiveness of REE are presented.

Keywords: relay protection and automation, efficiency, reliability, criteria, parameters.

Главные особенности работы релейной защиты и автоматики (РЗА) систем электроснабжения – это эффективность и надежность. В наше время с целью оценивания надежности работы релейной защиты применяются неодинаковые критерии, часть из которых приведена в данной работе.

Критерии защиты РЗА взаимосвязаны с типами и параметрами защищаемых объектов. Релейные защиты в электроэнергетических системах осуществляют обслуживающую работу и эффективность их в том, что они оказывают влияние на эффективность функционирования силового оборудования (см. рисунок) [2].



Система связи РЗА и соответствующих силовых объектов

Силовые объекты энергосистемы вырабатывают электроэнергию, либо передают ее на расстояние и перераспределяют. Такое качество, как снижение негативного эффекта, в виду различных дефектов в процессе эксплуатации будем считать эффективностью [3].

Так или иначе, система релейной защиты не имеет никакой эффективности ввиду того, что сама не вырабатывает никакого продукта. Эффективность ее относится к тому объекту, который она защищает.

Составляющие эффективности РЗА следующие:

- 1) технологическое совершенство;
- 2) надежное строение системы РЗА;
- 3) помехозащищенность;
- 4) точность и достоверность измерительных приборов.

Источники

1. Воскобоев В.Ф. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие. М.: ИД «Альянс», «Путь», 2008. 200 с.

2. Кривенков В.В., Новелла В.Н. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учеб. пособие для вузов. М.: Энергоиздат, 1981. 328 с.

3. Жарков Ю.И., Лысенко В.Г., Стороженко Е.А. Автоматизация диагностирования систем релейной защиты и автоматики электроустановок: моногр. М.: Изд-во «Маршрут», 2005. 178 с.

УДК 621.315.6

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ БУМАЖНО-МАСЛЯНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОТ СТЕПЕНИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Гарипова Аделия Маратовна¹, Козлов Владимир Константинович²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹garipova1996Adeli@bk.ru, ²kozlov_vk@bk.ru

В работе представлены результаты исследования сопротивления от степени полимеризации. Также был найден коэффициент абсорбции и построен график. Произведен обзор методики по определению сопротивления при постоянном напряжении.

Ключевые слова: степень полимеризации, изоляция, сопротивление, бумага, коэффициент абсорбции.

THE DEPENDENCE OF THE RESISTANCE OF PAPER-OIL INSULATION THE DEGREE OF POLYMERIZATION

Garipova Adelia Maratovna, Kozlov Vladimir Konstantinovich

The paper presents the results of the study of resistance to the degree of polymerization. The absorption coefficient was also found and a graph was constructed. A review of the methodology for determining the resistance at constant voltage.

Keywords: degree of polymerization, the isolation, the resistance of the paper, the coefficient of absorption.

Изоляция современного маслонеполненного электрооборудования лежит в основе организации надежного бесперебойного энергоснабжения. Разработка надежных методов и средств, позволяющих правильно оценить работоспособность изоляции трансформатора на данный момент и спрогнозировать ее работоспособность на будущее время, является актуальной задачей

Нами были отобраны из трансформаторов 110 кВ и выше десять образцов трансформаторной бумажно-масляной изоляции с различным сроком эксплуатации. С помощью химического независимого метода определили степень полимеризации (СП) для каждого образца. Согласно ГОСТ 6433.2 сделали электроды круглой формы. Провели измерения сопротивления при постоянном напряжении с помощью Megger BM25. На электродах померили сопротивление каждого образца по 5 раз для точности результата (табл. 1).

Таблица 1

Степень полимеризации и сопротивления 10 образцов бумаги

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СП	2000	1136	882	816	780	474	374	358	320	258
R60	30,2	37,95	37	12,24	25,6	18,75	23,3	31,08	31,96	26,28

По полученным значениям построили график зависимости сопротивления от степени полимеризации бумажной изоляции (рис. 1).

Полученная зависимость подтверждает, что при уменьшении степени полимеризации сопротивление слабо меняется.

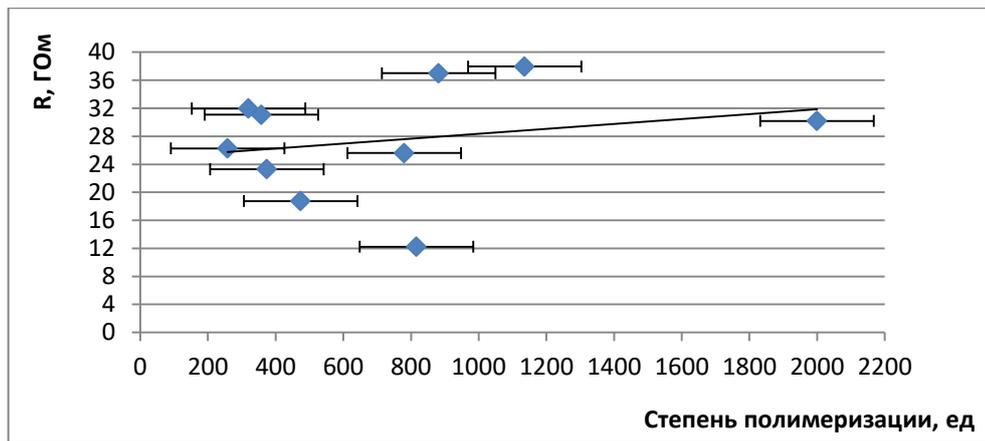


Рис. 1. Изменение сопротивления от степени полимеризации бумажной изоляции

Также для каждого образца нашли коэффициент абсорбции ($K_{абс}$) – это отношение R_{60} к R_{15} , где R_{60} представляет собой значение сопротивления изоляции, отсчитанное через 60 с после приложения напряжения, R_{15} – то же, только отсчитанное через 15 с (табл. 2).

Таблица 2

Степень полимеризации и коэффициент абсорбции

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
СП	1250	1136	882	780	474	374	358	320	258
$K_{абс}$	1,126	1,084	0,994	1,044	1,076	1,006	1,064	1,034	1,062

Далее построили график зависимости коэффициента абсорбции от степени полимеризации (рис. 2).

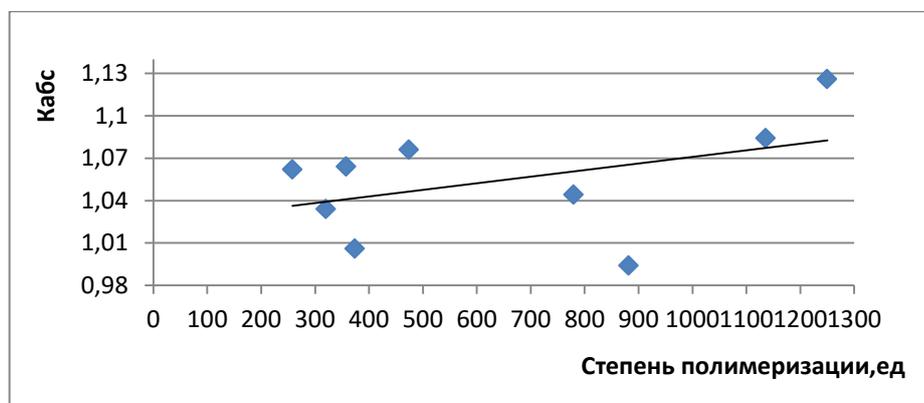


Рис. 2. Изменение коэффициента абсорбции от степени полимеризации бумажной изоляции

Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что степень полимеризации характеризует только механические свойства. При уменьшении степени полимеризации проводимость не меняется, а бумага становится на разрыв менее прочной.

Источники

1. ГОСТ 6433.2-71. Материалы электроизоляционные твердые. Методы определения электрических сопротивлений при постоянном напряжении [Электронный ресурс]: введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 24 мая 1971 г. № 1001. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200011887> (дата обращения: 27.10.2019).

УДК 621.314.2

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУМАЖНО-МАСЛЯНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Гарипова Аделия Маратовна¹, Козлов Владимир Константинович²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹garipova1996Adeli@bk.ru, ²kozlov_vk@bk.ru

В статье рассмотрен вопрос определения степени полимеризации бумажно-масляной изоляции трансформаторов с помощью оптического метода исследования в видимой области спектра. Произведен обзор методики по определению степени полимеризации бумажно-масляной изоляции с помощью спектрального прибора.

Ключевые слова: степень полимеризации, изоляция, разрушение, диапазон, трансформатор, спектр отражения.

OPTICAL METHOD FOR DETERMINING THE DEGREE OF POLYMERIZATION OF PAPER-OIL INSULATION

Garipova Adelia Maratovna, Kozlov Vladimir Konstantinovich

The article deals with the problem of determining the degree of polymerization of paper-oil insulation of transformers using the optical method of investigation in the visible spectrum. A review of the method for determining the degree of polymerization of paper-oil insulation using a spectral device.

Keywords: degree of polymerization, isolation, destruction, range, transformer, reflection spectrum.

Изоляционная система современного маслонеполненного оборудования, в том числе и высоковольтных трансформаторов, лежит в основе организации надежного бесперебойного энергоснабжения и является ключевым элементом, гарантирующим безаварийную эксплуатацию подобного рода оборудования. Разработка надежных методов и средств, позволяющих правильно оценить работоспособность изоляции конкретного трансформатора на данный момент и спрогнозировать ее работоспособность на будущее время, является актуальной задачей.

Как показывают отечественные и зарубежные исследования, объективным показателем для оценки степени износа бумажной изоляции является степень полимеризации, характеризующая физико-химическое разрушение изоляции в процессе эксплуатации.

Бумага – многокомпонентный материал, состоящий в основном из специально обработанных мелких растительных волокон, тесно переплетенных между собой, связанных силами сцепления различного вида и образующих тонкий лист.

Бумажную изоляцию, пропитанную трансформаторным маслом, принято называть бумажно-масляной изоляцией. В витковой и маслобарьерной изоляции используются целлюлозные бумаги и картон, которые, согласно существующей классификации, относятся к электроизоляционным.

Изготавливают их преимущественно из сульфатной небеленой целлюлозы с малой зольностью и высокой чистотой без наполнителей и проклеивающих веществ. Отличаются эти виды бумаги высокой механической прочностью, хорошими диэлектрическими свойствами и чистотой. Все они, кроме конденсаторной, обычно вырабатываются на двух сеточных столовых бумагоделательных машинах

Степень полимеризации (СП) – основной параметр определения остаточного ресурса твердой изоляции и определяется:

- в РФ ГОСТ 25438-82 (Государственный общественный стандарт);
- в мире МЭК 450 (Международная электротехническая комиссия).

При снижении степени полимеризации изоляции согласно РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» до 250 единиц резко возрастает риск повреждения трансформатора из-за возможности возникновения витковых замыканий под рабочим напряжением,

при коротких замыканиях, а также при воздействии грозových и коммутационных перенапряжений вследствие снижения механической прочности бумаги и местного увеличения концентрации влаги из-за развития процесса дегидратации бумажной изоляции.

В работе характеристики изоляционных конструкций не остаются неизменными. В изоляционных материалах протекают физико-химические процессы, изменяющие их структуру или состав. Поэтому качество изоляции с течением времени ухудшается: электрическая и механическая прочности снижаются, диэлектрические потери и проводимость растут.

Ухудшение во времени характеристик изоляции в условиях нормальной эксплуатации называется естественным старением.

Процессы, определяющие старение изоляции, разделяются на две группы:

- процессы изменений состава или структуры самих изоляционных материалов;

- процессы проникновения в изоляцию из окружающей среды различных примесей, ухудшающих ее электрические характеристики.

Кроме того, ухудшение изоляции может происходить вследствие ошибок персонала, а также из-за непредвиденных стихийных или аварийных обстоятельств.

Практическое значение процессов старения состоит в том, что они ограничивают сроки службы изоляционных конструкций. В связи с этим, при разработке и изготовлении оборудования высокого напряжения, а также при организации его эксплуатации должны предусматриваться меры, которые будут снижать темпы старения изоляции до такого уровня, при котором обеспечивается требуемый срок службы изоляционных конструкций более 20–30 лет.

Отбор образца витковой изоляции может выполняться на отключенном трансформаторе при проведении ремонта. Представительность заложенного в трансформатор образца целлюлозной изоляции, а также образцов барьерной изоляции в отношении достигнутого уровня деструкции изоляции обмоток не обеспечивается в полной мере, потому что такие образцы расположены в баке трансформатора в условиях, не отвечающих наиболее нагретой зоне.

Методы по определению степени полимеризации бумаги предусматривают отбор образца изоляции с последующим его исследованием в химической лаборатории. Недостатком этих методов является необходимость отбора пробы изоляции, что приводит к определенному разрушению витковой или барьерной изоляции. Проведение оценки степени полимеризации

бумажной изоляции с отбором образца изоляции на трансформаторах, которые отработали свой номинальный срок службы, не желателен, поскольку при этом вносится дефект в изоляцию. Поэтому возникает необходимость разработки новых устройств и методов неразрушающего контроля для оценки степени полимеризации бумажной изоляции без отбора проб, а также без использования химических реагентов.

В настоящее время разработан способ определения степени полимеризации бумажно-масляной изоляции трансформаторов на длинах волн в видимой области спектра, равным 650÷655 нм. Данный способ включает определение степени полимеризации бумажно-масляной изоляции трансформаторов путем определения спектров отражения.

Разработанная методика измерений распространяется на бумажную изоляцию и устанавливает требования к содержанию и выполнению работ при измерении степени полимеризации бумажной изоляции в диапазонах от 250 до 1200 единиц для трансформаторной бумаги и от 250 до 2000 единиц для электрокартона оптическим методом. Оценка производится для трансформаторов 110 кВ и выше.

Проведенные исследования спектров отражения образцов бумаги с различной степенью полимеризации позволяют повысить чувствительность метода и точность определения степени полимеризации бумажной изоляции.

Источники

1. РД 34.43.206-94. Методика количественного химического анализа определения содержания производных фуранов в электроизоляционных маслах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [Электронный ресурс]: утв. Департаментом науки и техники РАО «ЕЭС России» 25 марта 1994 г. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/245/4294844647.pdf> (дата обращения: 11.10.2019).

2. ГОСТ 13525.2-80. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения прочности на излом при многократных перегибах. М.: Стандартиформ, 2007. 3 с.

3. Аракелян В.Г. Химия, механизмы и кинетика старения целлюлозных материалов. Часть I. Химия, механизмы и кинетика разложения целлюлозы // Электротехника. 2006. № 6. С. 29–38.

4. Козлов В.К., Сабитов А.Х., Низамутдинов Б.Р. Исследование процесса старения бумажно-масляной изоляции в видимом диапазоне // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. № 3–4. С. 81–85.

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЁЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Гервасьева Юлия Романовна¹, Гиззатова Ирина Дмитриевна²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹yuliya-gervaseva@yandex.ru, ²irina-zag@bk.ru

В статье описана разработка мероприятий по повышению надёжности энергетических систем. Представлены две задачи, которые позволяют проанализировать и создать необходимые условия для повышения надёжности системы.

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, эффективность, надёжность, критерии, параметры.

DEVELOPMENT OF MEASURES TO ENHANCE THE RELIABILITY OF POWER SYSTEMS

Gervas'yeva Yuliya Romanovna, Gizzatova Irina Dmitrievna

The article describes the development of measures to improve the reliability of energy systems. Two tasks are presented that allow you to analyze and create the necessary conditions to increase the reliability of the system.

Keywords: relay protection and automation, efficiency, reliability, criteria, parameters.

Надёжность – одно из основных свойств при функционировании энергетической системы. Оно тесно связано с такими свойствами, как экономичность, качество продукции, безопасность и др.

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.

Задачи анализа надёжности сводятся к определению показателей надёжности:

1) функционирования энергетической системы и надёжности оборудования;

2) питания (электро-, тепло- и энергоснабжения) потребителей.

К задачам повышения надёжности системы относят:

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.

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

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

Источники

1. Манов Н.А. Методы и модели исследования надёжности электроэнергетических систем. Сыктывкар, 2010. С. 9–37.

2. Калинин В.Ф., Кобелев А.В., Кочергин С.В. Надёжность систем электроснабжения: учеб. пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. 80 с.

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НА ПОДСТАНЦИЯХ С УЧЕТОМ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ

Гизатуллин Эмиль Салаватович¹, Олег Владимирович Воркунов²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹dr.polemika@yandex.ru, ²vorcunov_oleg@mail.ru

Данная статья посвящена анализу недостатков вакуумных выключателей. При коммутации ими индуктивных токов возникают перенапряжения, вызванные срезом тока до его перехода через нуль, вследствие чего это может привести к пробое изоляции электрооборудования. Реализовывается методика расчета возможной величины перенапряжения на основе возможностей современных универсальных программных комплексов.

Ключевые слова: вакуумный выключатель, коммутационные перенапряжения, срез тока, электрическая прочность, пробой, программное обеспечение, ОПН (ограничители перенапряжения).

ALGORITHM FOR THE SELECTION OF HIGH-VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS IN SUBSTATIONS TAKING INTO ACCOUNT THE BASIC PHYSICAL CHARACTERISTICS OF COMMUTATION SWITCHES

Gizatullin Emil Salavatovich, Vorkunov Oleg Vladimirovich

This article is devoted to the analysis of the disadvantages of vacuum circuit breakers. When they switch inductive currents, overvoltages occur, caused by a cut of the current before it passes through zero, as a result of which this can lead to a breakdown in the insulation of electrical equipment. The technique of calculating the possible magnitude of the overvoltage based on the capabilities of modern universal software systems is being implemented.

Keywords: vacuum circuit breaker, switching overvoltage, current cutoff, electric strength, breakdown, software, surge arresters (surge arresters).

На сегодняшний день вакуумные выключатели (ВВ) выступают в роли достаточно востребованного оборудования в сетях средних классов напряжения. Они ввиду своей относительной новизны в качестве коммутационного оборудования требуют достаточно повышенного внимания со стороны производителей, а также эксплуатации, поскольку для них характерны специфические переходные процессы, которые

не регистрируются в других типах выключателей [1]. Дуга в вакууме способна к быстрому распаду благодаря свойствам данной среды, но из этого вытекает и то, что в некоторых случаях это чревато возникновением опасных коммутационных перенапряжений [2]. Повреждение коммутируемого оборудования является довольно частым явлением с самого начала использования данных типов выключателей.

Рассмотрим влияние главных характеристик [3]: тока среза, скорости восстановления электрической прочности, критической скорости подхода тока к нулю.

1. Ток среза – это величина тока, которую выключатель в силах самопроизвольно оборвать и погасить дугу до момента перехода переменного тока через нулевое значение. Перенапряжения возникают при отключении индуктивных элементов, например, таких как реакторы, трансформаторы. Происходит же это в результате мгновенного обрыва тока, потому как индуктивность препятствует скачкообразному изменению.

2. Скорость восстановления электрической прочности определяет количество пробоев межконтактного промежутка, которые могут возникнуть при коммутации. Промежуток должен выдержать возникающее напряжение после гашения дуги в момент отключения присоединения, в противном случае произойдет пробой вследствие недостаточной скорости восстановления прочности промежутка, что способно привести к повторному зажиганию дуги.

3. Критическая скорость подхода тока к нулю также является параметром, определяющим количество пробоев промежутка между контактами. Описывает способность выключателя гасить токи разных частот.

Для наглядности рассмотрим частный случай отключения трехфазного присоединения, тем самым покажем, почему способность вакуумного выключателя гасить токи практически любой частоты довольно чревата.

Была получена команда на отключение фазы *A*, где ток промышленной частоты был близок к нулевому значению синусоиды. В результате переходных процессов, связанных с гашением дуги в фазе *A*, в фазах *B* и *C* возникли токи более высокой частоты, которые наложились на ток промышленной частоты, следствием чего явилось образование неполнофазного режима питания присоединений. Вакуумный выключатель, среагировав на данные токи, погасит дугу в этих фазах незамедлительно, то есть практически сразу. Связано это с тем, что он может среагировать на составляющие более высоких частот и погасить ток в один из нулей суммарного тока, который будет иметь частоту 50 Гц и выше [3], и следует отметить, что таких нулей может быть много. При этом гашение дуги произошло при малом ходе расходящихся контактов, то есть предельно быстро. Плохо это тем, что между контактами еще нет достаточной прочности, и что может повлечь за собой повторный пробой.

В энергетической отрасли, где промышленная частота тока составляет 50 Гц, способность вакуумного выключателя гасить токи практически любой частоты является излишней, так как порождает, как и говорилось ранее, коммутационные перенапряжения.

Для анализа и оценки вероятной величины перенапряжения разберём процесс отключения выключателем на примере фидера, питание которого производится через кабель (см. рисунок) [4].

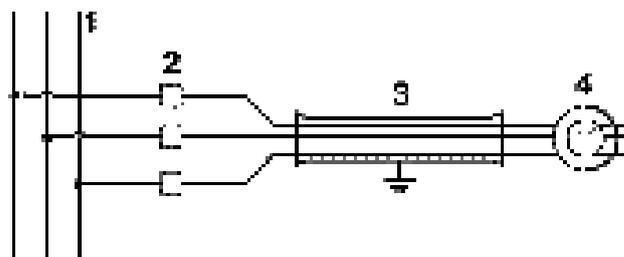


Схема фидера, питающего асинхронный двигатель:

1 – шины н/ст; 2 – вакуумный выключатель; 3 – кабель; 4 – двигатель

Расчет требует учета множества параметров, которые затруднительно рассчитать без применения специализированных программ, в качестве которых наиболее оптимальным является использование таких программных средств как MatLab и LabView, а также возможностей программирования с использованием MS Office.

Сама же методика предполагает расчет величины энергии, запасенной в элементах присоединения (кабеле и двигателе), непосредственно в моменты времени до и после перехода тока через нуль. Конечная форма для анализа величины перенапряжения выглядит данным образом:

$$\frac{U_{\max}}{U_m} = \sqrt{\left[\cos^2 \omega t + \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \sin^2 \omega t \right]}.$$

При коммутации данным типом выключателей пусковых токов возможны перенапряжения ещё больших значений. Объясняется это тем, что значение индуктивности двигателя при этом оказывается меньше в 5–7 раз. Величины же собственных частот могут оказаться в 2,2–2,6 раз больше. Следовательно, от такого рода перенапряжений изоляцию необходимо защитить. Другими словами, их надлежит ограничить. Совершенным и весьма распространенным способом, который обеспечивает надежную защиту изоляции как двигателей, так и кабелей, является установка нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН) [4].

Их подключение производится между фазой и землей со стороны коммутируемого оборудования или же в начале кабеля в ячейке КРУ. Значения уровня ограничения коммутационных перенапряжений равны $(1,8-2)U_{ном}$.

Источники

1. Базавлук А.А., Бакиров А.Р., Шкитов Д.А. Исследование перенапряжений при коммутациях вакуумных выключателей // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал). 2011. № S4. С. 265–279.

2. Дмитриев М. Применение ОПН для защиты кабелей 6–500 кВ [Электронный ресурс] // Кабель NEWS. 2014. № 4. URL: <https://eepir.ru/release/kabel-news-4-avgust-2014/> (дата обращения: 27.10.2019).

3. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт [Электронный ресурс]: электрон. журн. 2016. № 1. URL: <https://panor.ru/magazines/elektrooborudovanie-ekspluataciya-i-remont.html> (дата обращения: 23.10.2019).

4. Александров Г. Теория применения ОПН для ограничения перенапряжений [Электронный ресурс] // Новости электротехники. 2001. № 6 (12). URL: <http://news.elteh.ru/arh/2001/12/04.php> (дата обращения: 27.10.2019).

УДК 621.315.615

ЗАВИСИМОСТЬ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ

Козлов Владимир Константинович¹, Гиззатова Ирина Дмитриевна²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹kozlov_vk@bk.ru, ²irina-zag@bk.ru

В работе определены зависимости кислотного числа, пробивного напряжения и тангенса угла диэлектрических потерь от примесей, образовавшихся в процессе эксплуатации в трансформаторном масле. Проведенные исследования позволяют определить природу загрязнителей отработанного масла, получить дополнительную информацию о составе присутствующих в масле примесей.

Ключевые слова: трансформаторное масло, кислотное число, пробивное напряжение, изоляция, тангенс угла диэлектрических потерь.

DEPENDENCE OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF TRANSFORMING OIL ON THE CONCENTRATION OF IMPURITIES

Kozlov Vladimir Konstantinovich, Gizzatova Irina Dmitrievna

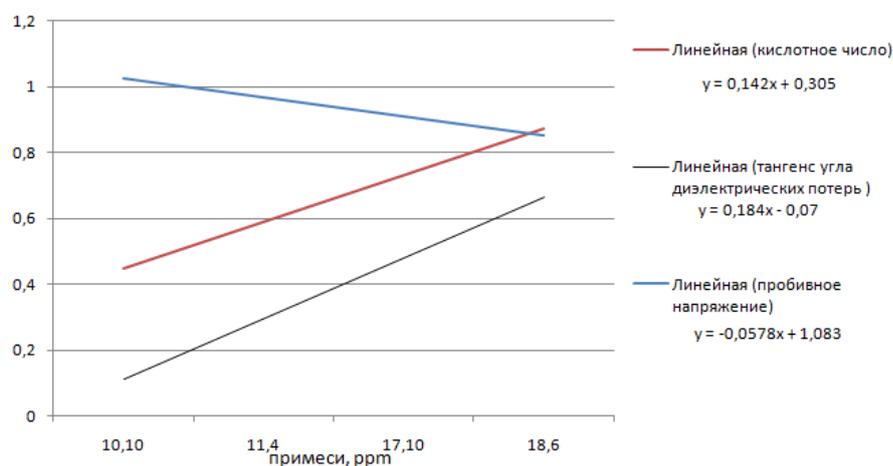
In the work, the dependences of the acid number, breakdown voltage, and dielectric loss tangent on impurities formed during operation in transformer oil are determined. The studies carried out make it possible to determine the nature of the pollutants of the used oil, to obtain additional information on the composition of the impurities present in the oil.

Keywords: transformer oil, acid number, breakdown voltage, insulation, dielectric loss tangent.

В процессе эксплуатации в трансформаторном масле накапливаются продукты окисления, загрязнения и прочие примеси. Как только в трансформаторном масле образуются вода и кислород, масло начинает окисляться даже при оптимальных условиях. Кроме того, на масло оказывает влияние загрязняющее действие окислов металлов, альдегидов, спирта, образующиеся в результате окисления твердых поверхностей трансформатора. Данные загрязнения оседают на изоляции, сгущают масло, тем самым повышая его вязкость, что негативно сказывается на способности масла охлаждать трансформатор [1].

В ходе исследований нами выявлена зависимость кислотного числа от количества примесей, образующихся в отработанном трансформаторном масле. Концентрация примесей определена модифицированным методом Фишера [2]. Как видно из рисунка, чем больше кислотное число, тем больше содержится примесей в масле.

Среди продуктов окисления трансформаторных масел всегда находятся органические соли меди и железа, которые образуются в результате коррозии этих металлов. В зависимости от особенностей химического состава масла и продолжительности его эксплуатации в трансформаторах в масле может содержаться до 0,002 % меди и до 0,001 % железа в виде соответствующих солей. По графику можно видеть, что зависимость линейная и в масле присутствует допустимая концентрация примесей, содержащих кислоты и соли, так как не превышено предельное максимальное значение кислотного числа.



Зависимости нормированных на максимальное значение кислотного числа, пробивного напряжения и $\text{tg}\delta$ от концентрации примесей

Наибольшее влияние на $\text{tg}\delta$ масла оказывает наличие смолистых нейтральных и кислых веществ, мыл, а также соединения с одновалентной медью и продукты конденсации, возникающие в результате реакций, сопутствующих электрическому разряду и проходящих с участием кислорода, азота, сернистых соединений и углеводородов [3]. Смолистые продукты плохо растворяются в масле, образуют коллоиды и являются одной из основных причин возникновения электрофоретической проводимости.

Как видно из графика, у исследуемых образцов нормированная проводимость обусловлена присутствием незначительных концентраций примесей и не зависит от температуры. Образцы масла содержат в допустимых пределах кислоты, смолы, асфальто-смолистые вещества, следы мыл, альдегиды, фенолы, которые и влияют на значение $\text{tg}\delta$, но в указанных пределах температур их электрофоретическая проводимость, а значит, и их структура не изменяются.

Полученные нами зависимости позволяют определить природу загрязнителей отработанного масла, получить дополнительную информацию о происхождении примесей, образовавшихся в процессе эксплуатации.

Источники

1. Липштейн Р.А., Шахович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. Козлов В.К., Загустина И.Д. Модифицированный метод определения влагосодержания трансформаторного масла // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 7-8. С. 87–90.
3. Черножуков Н.И., Крейн С.Э. Окисляемость минеральных масел. М.: Гостоптехиздат, 1959. 370 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОФАЗНЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СПЭ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ LABVIEW

Гималетдинов Айрат Фанисович¹, Воркунов Олег Владимирович²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹gimaletdinov2010@yandex.ru, ²vorcunov_oleg@mail.ru

Создан алгоритм для расчета параметров кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена, предназначенного для передачи электрической энергии в трехфазных системах при номинальном напряжении переменного тока 64/110, 127/220, 190/330 и 290/500 кВ, частотой 50–60 Гц, сечением медных жил и алюминиевых жил 185–2500 мм². Реализован механизм выбора условий прокладки КЛ и исходных параметров КЛ в LabVIEW. Применение универсальных программных комплексов, таких как LabVIEW, позволяет создать программу для расчета сечения токопроводящей жилы и сечения экрана силового кабеля.

Ключевые слова: кабельная линия, проектирование, LabVIEW, сечение, экран, токовая нагрузка, коэффициент.

DESIGNING CABLE LINES USING SINGLE-PHASE CABLES WITH XLPE INSULATION IN THE LABVIEW SOFTWARE COMPLEX

Gimaletdinov Airat Fanisovich, Vorkunov Oleg Vladimirovich

An algorithm has been created for calculating the parameters of a cable with cross-linked polyethylene insulation intended for the transmission of electrical energy in three-phase systems at a rated AC voltage of 64/110 kV, 127/220 kV, 190/330 kV and 290/500 kV, frequency 50-60 Hz, section of copper conductors and aluminum conductors 185–2500 mm². A mechanism for choosing the conditions for laying cable lines and the initial parameters for cable lines in LabVIEW has been implemented. The use of universal software systems, such as LabVIEW, allows you to create a program for calculating the cross section of a conductive core and the screen cross section of a power cable.

Keywords: cable line, design, LabVIEW, cross-section, screen, current load, coefficient.

На сегодняшний день задача расчета сечения токопроводящей жилы и сечения экрана кабеля в проектируемой кабельной линии является актуальной в области проектирования высоковольтных линий электропередач. Высоковольтный кабель является самым дорогим компонентом в протяженных кабельных линиях, и выбор его оптимального сечения – это одна из важнейших задач проектирования ЛЭП [1]. Точный расчет сечения токопроводящей жилы и сечения экрана кабеля необходим для решения как экономических вопросов при закладке кабеля в проект, так и для надежности и эффективности электропередачи будущей ЛЭП. На данный момент расчеты по выбору сечения кабеля производятся на специализированных программных обеспечениях, например канадская программа «СУМСАР». К сожалению, подобные программы носят коммерциализированный характер, что осложняет их использование в учебном процессе.

Для проектирования кабельных ЛЭП и расчета сечения кабеля основными параметрами являются условия прокладки кабелей, токи короткого замыкания, параметры передаваемой электроэнергии, материал токопроводящей жилы и др. Исходя из данных показателей, рассчитываются характеристики силового кабеля. Подобный расчет легче всего осуществлять с помощью персонального компьютера.

Авторами ведется разработка программного обеспечения на основе современной среды графического программирования LabVIEW. Преимущества LabVIEW перед другими языками программирования следующие:

- LabVIEW реализует концепцию графического программирования G, поэтому исходный код представляет собой блок-диаграмму, которая затем компилируется в машинный код, что значительно облегчает разработку приложений [2];

- фирма NI (National Instruments) – разработчик программного комплекса LabVIEW – выпускает аппаратные модули, построенные на различных платформах, таких как USB или PXI, позволяющей подключать различные измерительные преобразователи, обеспечивая согласование сигналов, получаемых с датчиков с нужными программными интерфейсами [2].

Созданная в программном комплексе LabVIEW программа позволяет проводить расчеты сечения токопроводящей жилы и сечения экрана согласно исходным данным. Исходными данными для выбора кабеля являются расчетный ток, номинальное напряжение, поправочные

коэффициенты для расчета длительно допустимого тока от условий прокладки кабеля как на всем протяжении ЛЭП, так и на конкретном участке [3]. Расчет номинального сечения токопроводящей жилы кабеля с использованием поправочных коэффициентов рассматривается как первый шаг выбора конструкции кабеля [4]. После ориентировочного выбора конструкции кабеля проводится уточняющий тепловой расчет эксплуатации КЛ с учетом всех факторов (которые могут не учитывать поправочные коэффициенты), определяющих температурный режим кабеля [5]. В общем случае длительно допустимый ток (А) кабеля рассчитывается по формуле:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\Theta - W_d(0,5T_1 + T_2 + T_3 + T_4)}{RT_1 + R(1 + \lambda_1)T_2 + R(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)}}$$

где $\Delta\Theta$ – разница температур между токоведущей жилой и окружающей средой, °С; W_d – диэлектрические потери на единицу длины, Вт/м; T_1 – тепловое сопротивление между жилой и металлическим экраном, °С·м/Вт; T_2 – тепловое сопротивление между металлическим экраном (оболочкой) и броней, °С·м/Вт; T_3 – тепловое сопротивление наружного покрова, °С·м/Вт; T_4 – тепловое сопротивление окружающей кабель среды, °С·м/Вт (для земли эта величина обусловлена процессом теплопроводности, а для воздуха – процессом конвекции и излучения); R – электрическое сопротивление токопроводящей жилы переменному току при максимально допустимой температуре жилы, Ом/м; λ_1, λ_2 – отношение общих потерь в металлических экранах и броне к сумме потерь в токопроводящих жилах [4].

Программой также предусмотрен выбор сечения кабеля по экономической плотности тока, по термической стойкости, по потере напряжения. Аналогичные расчеты подразумеваются и для расчета сечения экрана кабеля. Данная программа позволяет в реальном времени осуществлять расчет оптимального сечения жилы и экрана для участков одной ЛЭП с разными условиями прокладки, выводить графически характеристику (диаграмму) проектируемой ЛЭП в виде проблемных участков на трассе с ухудшающими условиями прокладки кабеля, а также выводить данные в цифровом представлении с возможностью сохранения в файл [2].

Основу модели прибора составляют математические формулы, позволяющие рассчитать основные параметры кабеля, оценить возникающие потери мощности в зависимости от внешних факторов.

Данный программный комплекс включает в себя выбор схемы соединения экранов, количество циклов возможной транспозиции экранов кабелей, от которых зависят электрические потери и наводимое напряжение на экране при коротких замыканиях [6].

Таким образом, применение универсальных программных комплексов позволяет сформировать новый подход к разработке проектных документаций, оптимизировать временные затраты, производить прогнозирование при проектировании линий электропередач. Вычислительный комплекс на базе LabVIEW позволяет визуализировать выходные данные в удобной для пользователя форме.

Источники

1. Евдокунин Г.А. Электрические системы и сети. СПб.: Изд-во Сизова М.П., 2004. 304 с.

2. «LabVIEW. Вводный курс» [Электронный ресурс]. URL: http://ftp.ni.com/pub/branches/russia/software/labview_8.5.pdf (дата обращения: 05.06.2019).

3. МЭК 60287-1-1. Кабели электрические. Расчет номинального тока. Часть 1-1. Уравнения номинальных токовых нагрузок (100%-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения [Электронный ресурс]: утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 июня 2009 г. № 217-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200072879> (дата обращения: 05.06.2019).

4. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6–500 кВ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 154 с.

5. Тодирка С.Н., Попов Л.В., Пельцер В.Б. Расчет термической стойкости экранов одножильных кабелей 10 кВ с полиэтиленовой изоляцией // Энергетик. 2002. № 4. С. 30–31.

6. СТО 56947007-29.060.20.071-2011. Силовые кабельные линии напряжением 110–500 кВ. Условия создания. Нормы и требования. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2011. 125 с.

ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ИЗБИРАТЕЛЯ ПОВРЕЖДЕННЫХ ФАЗ

Глазырин Анатолий Вячеславович¹, Воробьев Евгений Сергеевич²

^{1,2}ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары,

^{1,2}ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары

¹glazyrin_av@ekra.ru, ²vorobev_es@ekra.ru

В статье описываются принципы реализации избирателя поврежденных фаз компаний – производителей РЗА.

Ключевые слова: релейная защита, избиратель поврежденных фаз.

FAULT-PHASE SELECTION DETECTOR IMPLEMENTATION PRINCIPLES

Glazyrin Anatoly Viacheslavovich, Vorobyev Evgeny Sergeevich

The article describes fault-phase selection detector implementation principles of RPA manufacturers.

Keywords: relay protection, fault-phase selection detector.

С развитием современной релейной защиты некоторые принципы её реализации претерпели изменения, ввиду появления возможности использования преимуществ микропроцессорных устройств. Одним из условий обеспечения функций релейной защиты является правильный выбор поврежденных фаз, принципы реализации которого у разных производителей РЗА разные.

В сетях высокого и сверхвысокого напряжения однофазные замыкания на землю могут стать причиной нежелательного трехфазного отключения. Поэтому для селективного отключения поврежденных фаз необходима реализация функции избирателя поврежденных фаз (ИПФ). Существует множество методов реализации работы ИПФ.

1. Метод аварийных составляющих.

Аварийные составляющие фазных токов, которые получены как разность между величинами текущего и предшествующего режимов, позволяют определить вид повреждения при помощи алгоритма, приведенного на рис. 1 [1]. Данный алгоритм позволяет выделить особую

фазу, которая в случае однофазного КЗ является повреждённой, а при междуфазном и двухфазном КЗ – неповреждённой.

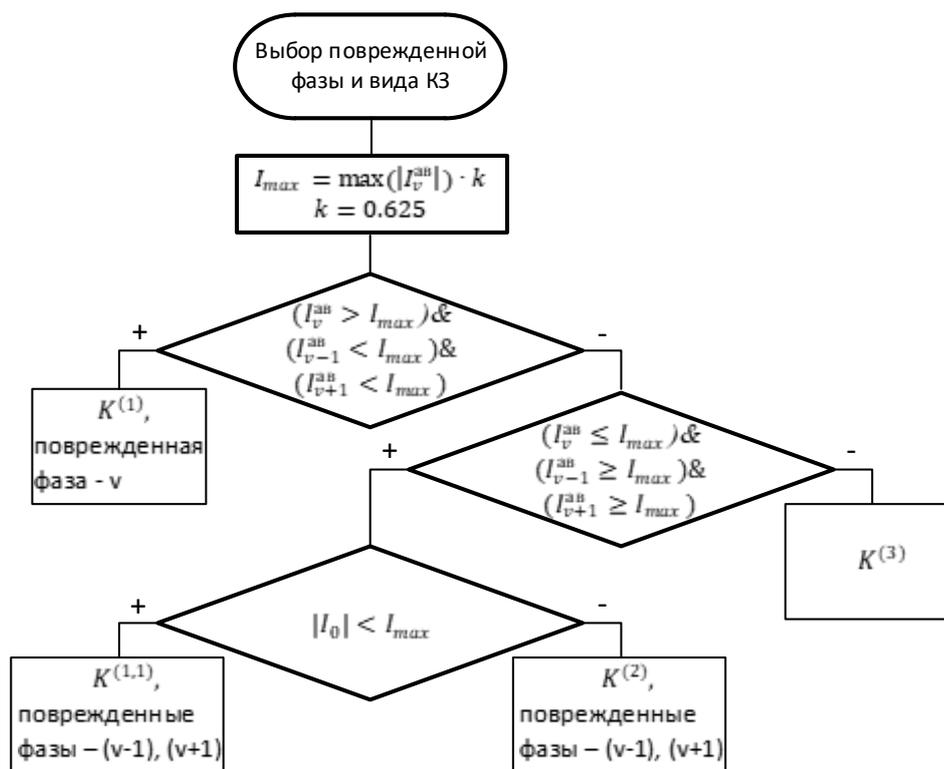


Рис. 1. Алгоритм ИПФ на аварийных составляющих:
 $v = A, B, C$; I_v^{an} – фазный аварийный ток; I_0 – ток нулевой последовательности

2. Метод расчётных сопротивлений.

Выбор повреждённой фазы производится по расчётам сопротивлений контуров фаза-фаза и фаза-земля [2]. При замыкании фазы на землю сопротивления рассчитываются по трём контурам фаза-земля. При превышении допустимых значений фазных токов двух фаз рассчитываются три контура фаза-фаза.

В случае возникновения короткого замыкания (КЗ) токи и напряжения повреждённых фаз влияют на расчётные сопротивления неповреждённых контуров. Сопротивление поврежденного контура будет значительно меньше неповрежденного, так как по неповрежденным контурам протекает только часть токов КЗ, а напряжение неповрежденных фаз выше, чем поврежденных.

3. Метод наложения токов.

Повреждённая фаза определяется путём сравнения величин трех линейных токов [3].

Ток при однофазном коротком замыкании накладывается на два сигнала линейных токов, связанных с повреждённой фазой, линейный ток неповреждённых фаз остаётся прежним. Например, при замыкании фазы A на землю, сигналы токов AB и CA возрастают, а тока BC остается без изменений (рис. 2).

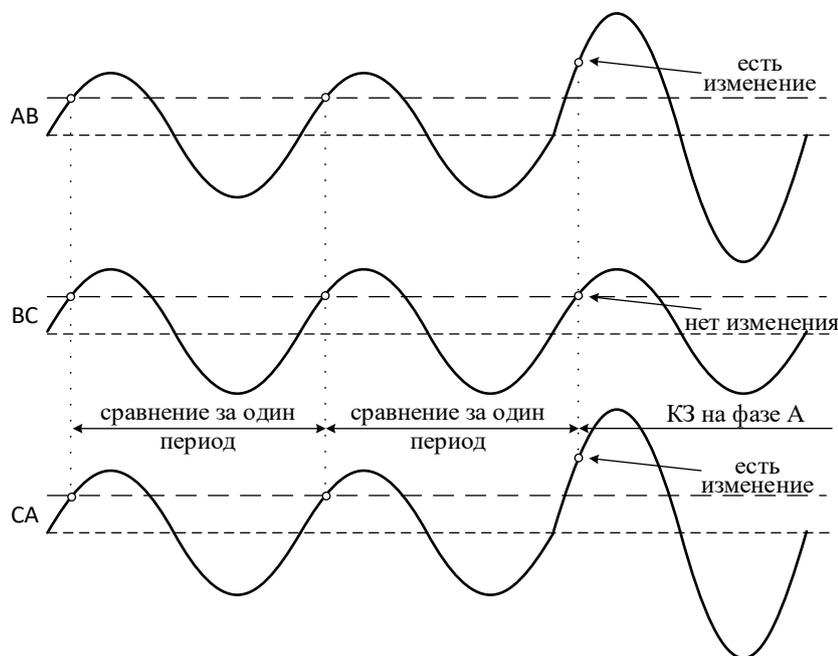


Рис. 2. Короткое замыкание фазы A

При междуфазном или двухфазном замыкании линейный ток повреждённых фаз становится больше двух других. Трёхфазное короткое замыкание не меняет отношения амплитуд линейных токов.

Ввиду разнообразия принципов реализации избирателя поврежденных фаз, производители защит могут разрабатывать и реализовывать разные методы определения поврежденной фазы, исходя из технических возможностей устройств. Основные принципы реализации избирателя поврежденных фаз отличаются сложностью их исполнения и используемыми входными данными. Совершенствование методов определения поврежденных фаз актуально.

Источники

1. Ефремов В.А. ОАПВ: опыт разработки и применения // Релейная защита и автоматизация. 2014. № 3. С. 18–21.

2. “SIPROTEC 4. Distance Protection” [Электронный ресурс]: руководство по эксплуатации. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/402/109743402/att_903694/v1/7SA522x_Manual_A9_V047100_en.pdf (дата обращения: 27.10.2019).

3. «Дистанционная защита линии MiCOM P433. Принцип работы» [Электронный ресурс]. URL: <https://docplayer.com/36860409-Distancionnaya-zashchita-linii-micom-p443-princip-raboty.html> (дата обращения: 27.10.2019).

УДК 621.316.925.1

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ

Данилов Владимир Андреевич¹, Валиуллин Камиль Рафкатович²

ФГБОУ ВО «ОГУ», г. Оренбург

¹vladimir.danilov.spb@mail.ru, ²ValiullinKamil91@gmail.com

В статье рассматривается анализ возможности организации релейной защиты на альтернативных каналах передачи команд и сигналов. Представлены статистические данные производственного отделения электросетевой компании.

Ключевые слова: ВЧ-защита, волоконно-оптические линии связи, релейная защита и противоаварийная автоматика, защита ЛЭП.

ANALYSIS OF METHODS FOR IMPROVING RELIABILITY OF RELAY PROTECTION USING VARIOUS COMMUNICATION CHANNELS

Danilov Vladimir Andreevich, Valiullin Camille Rafkatovich

The article considers the analysis of the possibility of organizing relay protection on alternative channels for transmitting commands and signals. The statistics of the production department of the electric grid company are presented.

Keywords: RF protection, fiber-optic communication lines, relay protection and emergency control, protection of power lines.

Повышение надежности комплексов релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗ и ПА) являются одной из ведущих проблем в электроэнергетике. Основными способами повышения надежности являются:

- 1) дальнейшее и ближнее резервирование защит;
- 2) повышение программной и аппаратной части устройств РЗА;
- 3) развитие персонала, в части недопущения ошибок при обслуживании устройств РЗ и ПА.

Однако вышеприведенные методы не в полной мере решают задачу повышения надежности. Если рассматривать релейную защиту как комплекс устройств, то к повышению надежности необходимо подходить системно, так как на надежность НР И ПА влияет не только выбор аппаратной и программной части устройств РЗ и ПА, но и способы обмена информацией между устройствами РЗ и ПА.

Задачей исследования является анализ существующих вариантов реализации систем ВЧ защит ЛЭП 110 кВ и выше, и рассмотрение альтернативных способов связи между устройствами РЗ и ПА, позволяющих повысить их надежность.

Слабым местом защит такого типа, является канал передачи данных между устройствами защиты, расположенными на разных концах защищаемой линии. Так же на надежность защит оказывает влияние приемопередающее оборудование, при выходе из строя которого, необходимо выводить из работы всю защиту на обоих концах защищаемой ЛЭП.

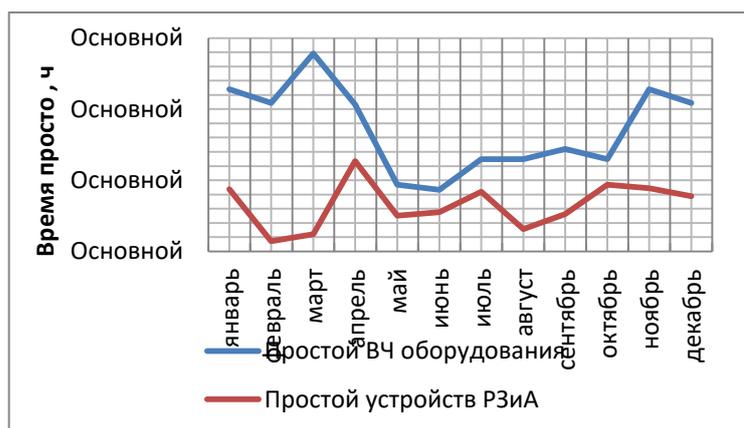
Причинами, по которым стоит предусмотреть резервирование ВЧ защит с использованием ВОЛС или полностью отказаться от высокочастотных каналов являются:

- плохая помехозащищённость ВЧ каналов и неустойчивость к электромагнитным воздействиям различного характера;
- метеозависимость работы защиты, то есть при обледенении проводов ЛЭП затухание сигнала по каналу передачи-приема превышает критические отметки, что делает защиту неэффективной и приводит к ложным срабатываниям;
- обслуживание данного вида защиты требует значительных знаний и опыта.

В [1] отмечено, что ВЧ-тракт защит очень чувствительно к режимам работы и условиям эксплуатации.

Исходя из перечисленных недостатков, можно сделать вывод о том, что наибольшее влияние на надежность защиты оказывает ВЧ-тракт, низкая надежность которого приводит к низкой надежности защиты в целом.

Статистические данные одного из производственных объединений показывают, что за 2018 г. в ВЧ-трактах защиты произошло 144 отказа, которые привели к суммарному простоя оборудования в течение 20.712 часов. На рисунке приведены графики зависимости числа отказов оборудования ВЧ-защит и числа часов простоя оборудования в течение года.



Время простоя в течение года

Исходя из приведенных данных можно сделать вывод, что время простоя устройств РЗиА в большей степени зависит от надежности каналов связи, чем от остального оборудования.

Исходя из перечисленных недостатков, стоит рассмотреть альтернативные методы связи для организации защит линий. Под альтернативным методом организации каналов связи, понимается использование волоконно-оптических линий связи, использование радиорелейной аппаратуры, а также GSM устройств.

Рассмотрим достоинства и недостатки каждого из каналов связи между устройствами РЗиА.

В трудах Дубровина В.С. (МГУ им. Н.П. Огарева) [2] отмечены следующие недостатки радиорелейных каналов связи:

- нестабильность параметров среды передачи, оказывающая влияние на надежность и быстродействие;
- необходимость лицензирования диапазона радиочастот;
- удорожание системы из-за необходимости установки ретрансляторов;
- низкая защищенность от стороннего вмешательства.

Помимо указанных недостатков, по сравнению с высокочастотными каналами радиорелейная передача сигналов обладает следующими преимуществами:

- широкая полоса пропускания, масштабируемость и быстрое развертывание;
- гальваническая развязка между приемником и передатчиком сигнала.

Однако указанные недостатки не позволяют использовать радиорелейные каналы связи для организации релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Передача сигнала с использованием GSM устройств имеет ряд недостатков, ограничивающих использование GSM устройств в построении защит. Наиболее критичным является низкая стабильность GSM-канала,

не позволяющая организовать постоянный обмен информацией между устройствами РЗиА.

Так, в статье [3] отмечается, что время передачи сообщения между терминалами защиты или терминалом и оператором может достигать до нескольких десятков секунд, следовательно защита с использованием данного принципа передачи данных не будет удовлетворять требованию быстродействия.

В настоящее время GSM канал связи находит применение только для передачи сигналов о срабатывании защит на необслуживаемых подстанциях, напряжением до 35 кВ.

Волоконно-оптические линии связи в настоящее время широко распространены на территории России. Как правило, они пролегают по тем же маршрутам, что и линии электропередач. Достоинством ВОЛС является высокая защищенность канала связи от внешних воздействий. Канал связи ВОЛС, по которому передаются сообщения РЗиА, защищен от вмешательства и внести изменения в сигнал без пропадания связи не представляется возможным, что является несомненным преимуществом при построении надежных систем РЗиА. Также стоит отметить, что волоконно-оптические линии связи абсолютно невосприимчивы к электромагнитным и импульсным помехам. Передача сообщений в оптической среде не требует установки дополнительного оборудования, сложного в эксплуатации (см. таблицу).

Обработка накопленных данных и анализ научных работ и трудов ученых России и СНГ показали, что несмотря на то, что ВЧ - каналы для релейной защиты остаются самыми массовыми системами передачи команд и сигналов, они морально и физически устарели. А с развитием технологий по передаче данных необходимо разрабатывать новые комплексы РЗ и ПА с новыми решениями по организации передачи данных. Проработка вопроса по организации релейной защиты по средствам различных каналов передачи данных показал, что наиболее надежными и быстродейственными вариантами являются волоконно-оптические линии связи.

Источники

1. Понамарев Е.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Электронный ресурс]: презентация. URL: [https:// portal.tpu.ru/SHARED/p/PONAMAREV/uchebnaya/releyprotect/Tab1/Lecture_01.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/p/PONAMAREV/uchebnaya/releyprotect/Tab1/Lecture_01.pdf) (дата обращения: 22.10.2019).

2. Дубровин В.С., Мариниченко А.А. Модернизация системы передачи данных по ЛЭП на участке «Рузаевка-Арзамас» // Электроника и информационные технологии. 2009. № 2 (7). 20 с.

3. Козлов В.Н., Павлов А.О., Бычков Ю.В. Аппаратный комплекс двустороннего ОМП ВЛ // Релейная защита и автоматика энергосистем: сб. докл. XX конф. М., 2010. С. 291–295.

Сводная таблица сравнительного анализа видов связи РЗ и ПА

Способ обмена сигналами и командами	Недостатки	Преимущества
Высокочастотный обмен	<ul style="list-style-type: none"> – метеозависимость; – не устойчивость к помехам; – дороговизна и сложность обслуживания 	<ul style="list-style-type: none"> – не требует дополнительных ретрансляторов сигналов; – минимальный риск ошибки адресации; – надежность ВЛ как среды передачи
Радиорелейный обмен	<ul style="list-style-type: none"> – нестабильность параметров среды передачи; – необходимость лицензирования; – удорожание системы из-за необходимости установки ретрансляторов; – зависимость качества передаваемой информации от параметров среды передачи 	<ul style="list-style-type: none"> – широкая полоса пропускания, масштабируемость и быстрое развертывание; – гальваническая развязка между приемником и передатчиком
GSM обмен	<ul style="list-style-type: none"> – пакет посылаемой защиты проходит через сервера компании провайдера и только потом посылается в принимаемую сторону, что увеличивает время обмена сообщениями, и снижает быстродействие; – ограниченная зона покрытия сетью оператора не позволяет использовать данный вид связи в удаленных и труднодоступных местах 	<ul style="list-style-type: none"> – стоимость оборудования
ВОЛС обмен	<ul style="list-style-type: none"> – сложность финального монтажа; – требует специальные навыки для проведения ремонтов 	<ul style="list-style-type: none"> – высокая скорость передачи сигналов и команд; – надежность передачи данных; – помехозащищенная среда передачи сигнала; – долговечность среды передачи

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ОТ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Зиннатуллина Дарья Раильевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
dashazin1995@mail.ru

Процесс эксплуатации трансформаторов средней и высокой мощности связан с производством шума в окружающее пространство. Соблюдение экологических норм, связанных с допустимым уровнем звукового давления, ставит проблему ограничения шума, производимого в окружающую среду. Как правило, причиной шума является вибрация трансформатора. Это явление ухудшает его механическую прочность, снижая срок службы и повышая возможность возникновения внутренних повреждений оборудования. В этих условиях необходимо выработать меры по снижению вибрации и шума в источнике и ограничению их распространению в окружающей среде.

Ключевые слова: шум, уровень звукового давления, вибрация, силовой трансформатор.

METHODS OF REDUCING SOUND PRESSURE FROM POWER TRANSFORMER

Zinnatullina Daria Railevna

The operation process of transformers of medium and high power is associated with the production of noise in the surrounding space. Compliance with environmental standards associated with permissible sound pressure levels poses the problem of limiting the noise produced into the environment. The noise is usually caused by vibration from the transformer. This phenomenon worsens its mechanical strength, reducing the service life and increasing the likelihood of internal damage to the equipment. Under these conditions, it is necessary to develop measures to reduce vibration and noise in the source and to limit their distribution in the environment.

Keywords: noise, sound pressure level, vibration, power transformer.

Трансформаторный шум является следствием вибраций его активной части, а также вентиляторов охлаждающей системы. На шум установки

оказывает существенное влияние резонанс, возникающий в отдельных его частях – расширительных клапанах, стенках бака, охладителях, трубках и т. д.

Вибрация активной части трансформатора обусловлена магнито-стрикционными и электромагнитными силами в сердечнике и динамическими силами в обмотках [1].

Вследствие магнито-стрикции кристаллическая решетка магнитного материала деформируется при его намагничивании, вызывая изменение линейных размеров стальных листов сердечника. Магнито-стрикционное удлинение листа может достигать лишь нескольких десятков микрон на один метр длины. Однако это явление оказывает колоссальное воздействие на сердечник трансформатора, вызывая его вибрацию.

Наряду магнито-стрикцией на магнитную систему действуют силы магнитного притяжения. Магнитный поток вынужден течь от листа к листу в воздушных или масляных зазорах, возникающих в результате неплотной сборки стальных листов. В этом случае возникают поперечные силы, вызывающие изгибные колебания листов.

Одним из источников шума трансформаторного оборудования является обмотка, проводники которой вибрируют под воздействием сил взаимного притяжения при циркуляции по ним нагрузочного тока. Однако до сих пор им придается мало значения, поскольку по сравнению с шумом магнитной системы он незначителен.

Преобладающими источниками шума считаются вентиляторы. В большей степени звук имеет аэродинамическое происхождение, а в меньшей степени – механическое [2].

Электрическая мощность трансформатора, режим его работы габариты тоже являются факторами, влияющими на генерацию шума. Причем уровни звуковой мощности пропорциональны его массогабаритным параметрам и электрической мощности.

Снижение шума трансформаторов связано с решением задач из области акустики, вибрации, динамики, механики, материаловедения, электротехники. Выделим следующие этапы снижения уровня звукового давления от трансформаторного оборудования:

– обеспечение малозвучности внутренних источников, т.е. магнитной системы, обмоток и вентиляторов (запрессовка магнитной системы, обмоток согласно заводским рекомендациям, установка вентиляторов на амортизаторы, балансировка их вращающихся частей, замена лопаток на стеклопластиковые, устранение элементов, находящихся в потоке воздуха);

- виброизоляция источников шума от металлоконструкций бака (увеличение жесткости бака с помощью дополнительных ребер жесткости);
- устранение резонансов стенок бака и элементов, расположенных на нем (установка на вибрирующие элементы демпферов);
- ограждение внутренних источников звука звукопоглощающими устройствами;
- установка на вибрирующие элементы вибропоглощающих устройств (установка на резиновые или пружинные амортизаторы);
- принятие внешних мер по предотвращению распространения звука трансформаторов в местах их эксплуатации (установка экранов, звукоизолирующих кожухов, установка трансформаторов в отдельных помещениях).

Поскольку уровень звука нескольких источников складывается логарифмически, перед разработкой мероприятий по снижению звукового давления от трансформаторного оборудования необходимо провести виброакустическое обследование помещения, в котором эксплуатируется установка, с целью определения общего уровня звукового давления.

Уровень звукового давления, испускаемого в окружающее пространство, не является постоянной величиной, а изменяется в течение многолетней эксплуатации оборудования. Это вызвано постепенным износом отдельных составляющих трансформаторного оборудования. Повышение уровня шума выше допустимых значений может привести к несоблюдению экологических норм.

Зная причины возникновения шума и комплексный подход к решению виброакустических проблем, можно достичь приемлемых значений уровня звука, а также устранить дефекты, вызываемые вибрацией, и предотвратить преждевременный износ трансформатора.

Источники

1. Строганов Ю. Снижение шума и вибрации трансформаторов и реакторов в эксплуатации: информационная система [Электронный ресурс]. URL: <https://pandia.ru/text/77/313/34479.php> (дата обращения: 28.10.2019).

2. Reiplinger E. Study of noise emitted by power transformers, based on today's view point // CIGRE International conference on large high voltage electric systems. 1988. Rapport № 12-08.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ И НЕОБХОДИМОСТЬ ЕЕ РАСЧЕТОВ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Касьянова Надежда Евгеньевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
yahope31@yandex.ru

В данной статье рассматривается важность расчета механической прочности объектов электроэнергетики.

Ключевые слова: механическая прочность, опоры, изоляторы, нагрузка, изоляция.

MECHANICAL STRENGTH AND NEED ITS CALCULATIONS FOR POWER OBJECTS

Kasyanova Nadezhda Evgenievna

This article discusses the importance of calculating the mechanical strength of electric power facilities.

Keywords: mechanical strength, supports, insulators, load, insulation.

Под механической прочностью понимают свойство объекта сопротивляться разрушению под действием механических сил (механической нагрузки).

При проектировании электрических станций и подстанций, линий электропередач, элементов конструкций электрооборудования важной составляющей является расчет механической прочности.

Проектирование механической части воздушных ЛЭП ставит своей главной задачей обеспечение высокой надежности работы ВЛ в естественных природных условиях.

Так, например, провода и кабели должны обладать высокой механической прочностью, чтобы противостоять повреждениям, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации. Механическая прочность жил кабеля определяется механической нагрузкой на жилы и оболочку кабеля от полной собственной массы кабеля при его прокладке, протяжке и подвеске. Нагрузку учитывают при проектировании прокладки кабеля. Она определяет минимально допустимое сечение жил кабеля и тип его исполнения (эти значения приводятся в справочной литературе).

Сечение проводов воздушных линий по механической прочности выбирают в зависимости от собственной массы, а также от силы ветра и массы гололеда, возможных в данном географическом районе.

При проектировании воздушных линий электропередач, кроме выбора провода, осуществляется также и выбор опор, на которых он будет закреплен и фундамента этих опор, а также выбор изоляторов.

Основное назначение опор – поддержка проводов на требуемой высоте над землей и наземными сооружениями. Опоры должны рассчитываться согласно ПУЭ на нагрузку от собственного веса и ветровую нагрузку на конструкции, на нагрузку от проводов, тросов и оборудования ВЛ, а также на нагрузки, обусловленные принятым способом монтажа, на нагрузки от веса монтера и монтажных приспособлений. Опоры рассчитываются также на нагрузки и воздействия, которые действуют в конкретных условиях эксплуатации, например, давление воды, давление льда, размывающее действие воды, давление грунта и т.п. На расчет механической прочности влияют различные факторы: конструкция опоры (промежуточные, анкерные, угловые, концевые), материал опоры (железобетонные, стальные, из древесины), количество подвешенных на нее проводов, а также необходимо учитывать местные условия строительства, тип грунта и климатические условия в районе проектирования.

Фундаменты опор представляют собой изделия особой формы, которые могут быть установлены под любые опоры. Фундамент повышает устойчивость опор ЛЭП к внешним нагрузкам. В настоящее время в качестве фундаментов применяются легкие железобетонные (в некоторых случаях металлические) подножки, которые не могут уравновесить собственным весом вырывающиеся нагрузки, передающиеся от установленных на них опор, так как вырывающаяся нагрузка, действующая на современный подножник, в пять раз больше, чем собственный вес подножника.

Линейный изолятор – устройство для подвешивания и изоляции проводов и кабелей на опорах воздушной линии электропередачи или воздушных линий связи. Тип изолятора выбирается по механической нагрузке с учетом коэффициента запаса прочности, который представляет собой отношение разрушающей электромеханической нагрузки к нормативной нагрузке на изолятор. Согласно ПУЭ, коэффициенты запаса прочности в режиме наибольшей нагрузки должны быть равны не менее 2,7, а в режиме среднегодовой температуры – не менее 5.

В нормальных режимах поддерживающая гирлянда изоляторов воспринимает осевую нагрузку, состоящую из веса провода, гололеда и веса самой гирлянды.

Большое внимание в разработке различных видов электрооборудования уделяется изоляции. Электрическая изоляция – одно из важнейших средств обеспечения электробезопасности. Электрическая изоляция должна выдерживать предельно возможные в условиях эксплуатации электрические, механические и тепловые нагрузки

Общие требования, предъявляемые, например, к изоляции силового трансформатора, сводятся к тому, что она должна выдерживать без повреждений электрические, тепловые, механические и физико-химические воздействия, которым она подвергается при эксплуатации трансформатора. Расчет изоляции и проверка ее прочности в готовом трансформаторе для всех возможных случаев затруднительны, вследствие многообразия воздействий на изоляцию. По этой причине в трансформаторостроении выработаны определенные нормы и методы контрольных испытаний, соблюдение которых позволяет получить долговечную и прочную во всех отношениях изоляцию.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что одним из важнейших критериев обеспечения надежности работы электроэнергетических систем и сетей является расчет на механическую прочность всех конструкций на стадии проектирования.

Источники

1. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи/ 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергия, 1979. 312 с.
2. Кесельман Л.М. Основы механики воздушных линий электропередачи. М.: Энергоатомиздат, 1992. 352 с.
3. Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения / Г.Н. Александров [и др.]; под ред. Г.Н. Александрова и Л.Л. Петерсона. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 368 с.
4. Карапетян И.Г., Файбисович Д.Л., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электрических сетей / ред. Д.Л. Файбисович. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2017. 377 с.

КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Крюкова Виктория Андреевна¹, Лобанова Евгения Николаевна²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹victoria131113@gmail.com, ²79196918258@mail.ru

Дана краткая характеристика частичных разрядов (ЧР) и причин их возникновения в силовых маслонаполненных трансформаторах. Рассмотрено силовое оборудование центральной электростанции (ЦЭС) ОАО «ММК». Приведены отличительные повреждения трансформаторов 110 кВ. Сделан вывод о необходимости проведения дальнейших диагностических исследований трансформаторов центральной электростанции с применением приборов анализа частичных разрядов. Целью исследования является обеспечение точности и надежности диагностирования технического состояния силового трансформатора за счет полного контроля диагностируемых параметров.

Ключевые слова: диагностика силовых трансформаторов, акустическое диагностирование, техническое состояние, частичные электрические разряды, силовой трансформатор.

CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF POWER TRANSFORMERS BY ACOUSTIC DIAGNOSTIC METHOD

Kryukova Victoria Andreevna, Lobanova Evgenia Nikolaevna

A brief description of partial discharges (PD) and the reasons for their occurrence in power oil-filled transformers is given. The power equipment of the central power station (CES), the open joint-stock company MMK, is considered. Distinctive damage to 110 kV transformers is given. The conclusion is drawn on the need for further diagnostic studies of the transformers of the central power plant with the use of partial discharge analysis devices. The aim of the study is to ensure the accuracy and reliability of diagnosing the technical condition of the power transformer due to full control of the diagnosed parameters.

Key words: power transformer diagnostics, acoustic diagnostics, technical condition, partial electric discharges, power transformer.

Трансформатор является самой важной и дорогой частью любой энергетической системы. Его надежность определяет работу энергетической системы. Нарушение изоляции силового трансформатора в ряде

случаев приводит к серьезной неисправности трансформатора, что в дальнейшем может привести к весьма большой финансовой потере по причине простоя оборудования. Для контроля за техническим состоянием и предупреждения выхода из строя трансформатора применяются различные методы оценки его состояния. Однако большая часть из них не подходит для диагностирования состояния трансформатора в режиме реального времени.

Одним из развивающихся методов диагностирования маслonaполненного оборудования, и прежде всего силовых трансформаторов, является метод акустической эмиссии и измерения уровня частичных разрядов.

Частичный разряд – это электрический разряд, который шунтирует лишь часть изоляционного промежутка [1]. Частичные электрические разряды возникают в локальных дефектах, т.е. в местах, где изоляция ослаблена из-за наличия газовых включений (полостей) или острых кромок металлических элементов изоляционных конструкций (электродов) [2].

В масляных слоях частичные электрические разряды, которые контактируют с твердой изоляцией могут привести к дефекту твердой изоляции, тем самым привести к образованию устойчивых проводящих следов на ее поверхности. В области этих следов при влиянии перенапряжений или при рабочем напряжении возможно возникновение условий для постоянно развивающегося поверхностного разряда, который может завершиться полным пробоем изоляции. Из чего следует, что частичные разряды являются большой опасностью для изоляции из-за скорого ее разрушения в локальных зонах и следующего пробоя изоляционных промежутков.

Всевозможного рода физические явления влекут за собой появление и развитие частичных электрических разрядов в изоляционной системе. Для того чтобы избавиться от данных эффектов, возможно применение метода акустической эмиссии, который на данный момент является значимым дополнением к другим методам измерения, которые используются для диагностирования изоляционной системы трансформатора.

Основным важным преимуществом диагностики с помощью метода акустической эмиссии (АЭ) является возможность использования его при любых условиях работы силового оборудования, когда замер частичных электрических разрядов остальными методами становится затрудненным. Этот метод позволяет определить месторасположение частичных разрядов в изоляции.

Области использования метода акустической эмиссии могут быть ограничены следующими факторами:

1) высоким уровнем акустического шума (помех, сложной формой измеряемого объекта, которая не позволяет установить измерительные датчики на его поверхности);

2) использование диэлектрических или изоляционных систем с низким коэффициентом упругости и сложной формой.

На сегодняшний день большая часть исследований сосредоточена на нижеуказанных задачах, а именно:

1) математически описать и объяснить возникновение и распространение акустических волн, которые излучают частичные электрические разряды, в различных видах изоляционных и диэлектрических систем;

2) запись, анализ и интерпретация полученных результатов;

3) разработка измерительного оборудования, предназначенного для получения акустических сигналов, получаемых от частичных электрических разрядов и различных разновидностях силового оборудования.

Для оценки распределения нарушений силовых трансформаторов использовались данные Департамента генеральной инспекции по эксплуатации электрических станций и сетей РАО «ЕЭС России» [3]. В результате обработки замеров, выполненных по сигналам от акустических датчиков, было выявлено, что при повреждениях обмоток внутренние КЗ имели место в 80 % случаев общего числа повреждений обмоток, при повреждениях высоковольтных вводов – 89 %, при повреждениях РПН – 25 % и при повреждениях прочих узлов – 36 %, включая ошибки при монтаже, эксплуатации и ремонте.

Результаты месторасположения частичных электрических разрядов в трансформаторах ЦЭС подтвердили главные достоинства акустического метода:

1) высокая эффективность диагностирования нарушения технического состояния силовых трансформаторов и локализации участков возникновения повреждений;

2) контроль, измерение и последующий анализ результатов производятся без снятия напряжения;

Целью данного исследования является сбор статистической информации и создание информационной системы о техническом состоянии силовых трансформаторов, месте возникновения и характере дефектов.

Источники

1. Metwally I.A. Failures, Monitoring, and New Trends of Power Transformers // IEEE Potentials. 2011. Vol. 30, Is. 3. Pp. 36–43.

2. Kane S., Golubev A. Применение технологии ЧР в диагностике изоляции [Электронный ресурс]. URL: <http://www.partial-discharge.com> (дата обращения: 23.10.2019).

3. О повреждениях силовых трансформаторов / Б.В. Ванин [и др.] // Электрические станции. 2001. № 9. С. 53–58.

4. Тюрюмина А.В., Батрак А.П., Секацкий В.С. Современное состояние вопроса диагностики силовых трансформаторов // Современное состояние вопроса диагностики силовых трансформаторов. 2015. № 3 (3). С. 245–250.

УДК 621.314: 620.1

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ УСТРОЙСТВА РПН СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Лобанова Евгения Николаевна¹, Крюкова Виктория Андреевна²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹79196918258@mail.ru, ²victoria131113@gmail.com

Анализ распределения напряжения на шинах 10 кВ районных трансформаторных подстанций показывает, что без регулирования напряжения на них практически невозможно обеспечить приемлемый режим напряжения у потребителя. Изменение коэффициента трансформации является одним из способов оперативного регулирования напряжения. Современные силовые трансформаторы оборудованы специальными устройствами, позволяющими добавлять или отключать необходимое количество витков. От частоты применения, а также от функциональных особенностей трансформатора и его габаритов зависит уровень сложности такого регулирования при использовании переключателя витков.

С помощью переключающего устройства под нагрузкой (РПН) осуществляется изменение коэффициента трансформации под нагрузкой. На данном этапе развития электроэнергетики существует проблема повреждаемости устройств регулирования напряжения под нагрузкой. РПН силовых трансформаторов – сложный и недостаточно надежный узел силового трансформатора, с повреждением РПН связано большое количество отказов трансформаторов, поэтому проблема повреждаемости устройств регулирования напряжения силовых трансформаторов является очень актуальной.

Ключевые слова: переключающее устройство РПН, силовой трансформатор, контроль состояния, диагностика.

MONITORING THE STATUS OF THE ON-LOAD TAP-CHANGER ON-LOAD TRANSFORMER

Lobanova Evgenia Nikolaevna, Kryukova Victoria Andreevna

Analysis of the voltage distribution on the 10 kV buses of district transformer substations shows that without voltage regulation it is almost impossible to provide an acceptable voltage mode for the consumer. Changing the transformation ratio is one of the methods of online voltage regulation. Modern power transformers are equipped with special devices that allow you to add or disable the required number of turns. The complexity level of such regulation when using a turn switch depends on the frequency of application, as well as on the functional features of the transformer and its dimensions.

Using a switching device under load (on-load tap-changer), the transformation coefficient under load is changed. At this stage in the development of the electric power industry, there is a problem of damage to voltage regulation devices under load. The power transformer on-load tap-changer is a complex and insufficiently reliable power transformer assembly, with a large number of transformer failures due to damage to the on-load tap-changer, so the problem of damage to the voltage transformer voltage control devices is very relevant.

Keywords: on-load tap-changer, power transformer, status monitoring, diagnostics.

Уровень напряжения у потребителей в распределительных сетях – это важный показатель качества электрической энергии. На основании ГОСТ 13109 отклонения напряжения у потребителей не должно превышать $\pm 5\%$. Действительное напряжение часто не соответствует предъявляемым требованиям, это и служит причиной нарушения условий нормальной работы электроприемников и ухудшения технико-экономических показателей системы электроснабжения.

В соответствии с ПУЭ в электрических сетях для централизованного и местного регулирования напряжения широко применяются силовые трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН). Основным преимуществом таких трансформаторов является возможность поддержания необходимого потребителю уровня напряжения изменением коэффициента трансформации без предварительного отключения трансформатора от сети [1]. Устройства РПН находятся на трансформаторах с напряжением выше 20 кВ. Такие трансформаторы со встроенным РПН обладают специальным переключающим устройством, увеличенным числом ступеней регулировочных ответвлений и широким диапазоном регулирования. В зависимости от мощности и напряжения

трансформатора устройство РПН может регулировать напряжение в различных пределах, в результате чего можно избежать снижения качества и появления брака продукции, повышения повреждаемости электрической изоляции, сокращения срока службы электротехнического оборудования и т.д.

Устройство РПН силовых трансформаторов под нагрузкой являются одним из самых слабых мест оборудования подстанций. Их различают по следующим классификационным признакам: тип токоограничивающего элемента – реакторные и резисторные устройства; наличие контактора – устройства с контакторами и без них; тип коммутации тока – разрыв дуги в трансформаторном масле, в вакууме, а также применение бездугового отключения тока при помощи тиристоров и другие смешанные способы коммутации.

На сегодняшний день на рынке профессионального оборудования для диагностики РПН трансформаторов существует немало приборов как российских, так и зарубежных производителей, отличающихся методами и удобством контроля нормируемых параметров РПН. Часть приборов напрямую воспроизводят методы контроля РПН, прописанные в их руководствах по эксплуатации, другие основаны на оригинальных разработках, не требующих подключения внешних резисторов или перемычек. Методы диагностики РПН трансформатора следующие:

1. Анализ газов. Этот метод достаточно чувствителен к различным нарушениям контактов, приводящим к их перегреву, и обладает ограниченной областью применения: если масло РПН и трансформатора является общим, то однозначно указать на то, что имеются проблемы именно с контактами РПН нельзя. Кроме того, по анализу газов ничего нельзя сказать о механических дефектах привода.

2. Виброизмерения. Трансформатор всегда работает в условиях вибраций, которые можно рассматривать в качестве испытательного воздействия при выполнении вибрационных исследований. Это позволяет, не выводя трансформатор в ремонт, обнаружить проблемы, связанные с ослаблением или развинчиванием различных соединений, что позволяет обнаружить дефекты на начальной стадии, не доводя трансформатор до аварии.

3. Температурные измерения. Температура различных частей трансформатора часто является первым признаком увеличенного сопротивления контактов. Эти измерения выполняются при работе трансформатора под нагрузкой. Невозможно определить состояние контактов, которые в данный момент не нагружены.

4. Мощность. По потребляемой мощности можно дать оценку положению пружин контактора, разному роду заедания привода и другим недостаткам, вызывающим увеличение или уменьшение потребляемой мощности электродвигателя. Однако зачастую ничего нельзя сказать об электрическом сопротивлении контактов.

5. Снятие круговой диаграммы. Безразборный контроль (без вскрытия крышки РПН): снятие временной диаграммы работы контактора быстродействующего РПН позволяет исследовать неиспорченность токоограничивающих резисторов РПН и рассчитать время переход контактора из одного положения в другое, а также позволяет проверить отсутствие смещения неподвижных контактов избирателей, величину люфтов и т. д.

6. Снятие временной диаграммы работы контакторов. Достоинством данного метода являются отсутствие разрывов электрической цепи; длительность работы дугогасительных контактов в состоянии «мост»; длительность переключения между размыканием и замыканием дополнительных и дугогасительных контактов различных плеч, в течение которых случается гашение дуги анализируют с помощью полученных осциллограммам 2].

Около 35 % аварий силовых трансформаторов связано с нарушением работы устройств регулирования напряжения под нагрузкой, ввиду их конструктивных особенностей. Причинами повреждений являются дефекты контакторов, подгар контактов контакторных устройств, повреждение защитной мембраны [2].

С учетом большой доли повреждаемости РПН актуальной проблемой стало диагностирование состояния РПН трансформатора. Существуют следующие методы контроля за состоянием РПН: визуальный осмотр, виброизмерения, измерение электрического сопротивления контактов, снятие круговой диаграммы и т.д. Существующие способы контроля состояния РПН трансформатора не обеспечивают требуемой надежности электроснабжения, поэтому необходима разработка современных концепций диагностики состояния РПН, в которых учитывались бы конструктивные особенности устройства, срок и особенности эксплуатации и другие факторы.

Источники

1. Михалков А.В. Что нужно знать о регулировании напряжения. М.: Энергия, 1967. 30 с.

2. «Способы диагностики РПН трансформаторов» [Электронный ресурс] // Электротехнический рынок. 2013. № 3 (51). URL: <https://market.elec.ru/> (дата обращения: 12.09.2019).

УДК 621.3.04

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ РЕМОНТА ТРАНСФОРМАТОРА И ПОКУПКИ НОВОГО

Миннигареев Владислав Ильмасович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
vlad.minnigaerev@yandex.ru

При проектировании подстанции всегда актуален вопрос окупаемости, который определяет целесообразность её сооружения. Значительную часть от суммарных капитальных вложений составляет закупка и установка оборудования. Одним из основных оборудований, которое применяется на подстанциях, является трансформатор.

Будучи важнейшим звеном, связующим и перераспределяющим электроэнергию, трансформатор является сложной и дорогостоящей электроустановкой, возможности по замене которой финансово ограничены.

На сегодняшний день в России износ данного оборудования внушительен. В этих условиях остро назрела проблема обновления парка силовых трансформаторов либо продления работоспособности стареющих образцов.

В связи с этим, необходимо проанализировать и определить экономическую целесообразность приобретения и установки нового, либо ремонта трансформатора имеющегося на подстанции, а также критерии проведения данного анализа.

Ключевые слова: трансформатор, экономика, ремонт, магнитопроект, обмотки.

METHODS OF REDUCING SOUND PRESSURE FROM POWER TRANSFORMER

Minnigareev Vladislav Ilmasovich

At the designing a substation, the issue of payback is always relevant, which determines the feasibility of its construction. A significant part of the total capital investment is the purchase and installation of equipment. One of the main equipment used in substations is a transformer.

Being the most important link connecting and redistributing electricity, the transformer is a complex and expensive electrical installation, the possibilities for replacing which are financially limited.

Today in Russia, the wear of this equipment is impressive. Under these conditions, the urgent problem of updating the fleet of power transformers or extending the performance of aging samples has become acute.

In this regard, it is necessary to analyze and determine the economic feasibility of acquiring and installing a new transformer, or repairing an existing substation, as well as the criteria for conducting this analysis.

Keywords: transformer, economics, repair, magnetic circuit, windings.

Силовые трансформаторы – одни из основных элементов электрической части станций и подстанций. Вся вырабатываемая энергия, передающаяся потребителю, предварительно проходит через силовые трансформаторы [1].

В связи с тем, что главной задачей энергетики является бесперебойное снабжение потребителей электрической энергией, особенно остро встает вопрос необходимости поддержания круглогодичного рабочего состояния трансформаторного цеха.

Для этого применяются передовые методы контроля и диагностики дефектов, а также строго выстроенный график плановых ремонтов и, при необходимости, максимально быстрое реагирование при дефектах, которые требуют экстренной замены трансформатора в результате аварийной ситуации.

Помимо прочего, процесс эксплуатации неразрывно связан с процессом естественного старения элементов трансформатора, что ведет к ухудшению изоляционных свойств масла, износу составных частей в результате вибрации и природных условий.

Вследствие этого силовые трансформаторы – одни из наиболее повреждаемых элементов энергетической системы. Цель совершенствования методов оценки технического состояния – переход от систем профилактических ремонтов к системе ремонтов непосредственно по техническому состоянию.

В настоящее время по объему работ ремонт трансформаторов подразделяется на текущий и капитальный. Текущий (или ревизионный) ремонт трансформаторов проводят на месте их установки с обязательным отключением от источников питания.

Под текущим ремонтом подразумевается техническое обслуживание трансформатора без выемки активной части [2]. Ревизию трансформаторов

с их отключением, но без выемки активной части проводят по мере необходимости, но не реже одного раза в 3 года, а для трансформаторов 35/6–10 кВ – не реже одного раза в год [2].

Капитальные ремонты делают на электроремонтных предприятиях. Капитальный ремонт производится с выемкой активной части и бывает двух видов – 1-й категории сложности (без разборки активной части) и 2-й категории сложности (с разборкой) [2].

Альтернативой переходу к системе ремонтов по техническому состоянию является обновление трансформаторного парка при определенном уровне износа трансформатора. Идея заключается в том, что с определенного момента ремонт трансформатора становится малоэффективным и, скорее всего, не долгосрочным. В результате суммарные капиталовложения в ремонт текущего трансформатора в совокупности с издержками недоотпуска электрической энергии и времени простоя оборудования могут быть приблизительно сравнимы с покупкой нового трансформатора (в долгосрочной перспективе).

Однако решение в пользу покупки нового трансформатора должно быть максимально обоснованным с экономической точки зрения. Поэтому необходимо произвести эмпирический анализ причин, которые наиболее часто приводят к ремонту трансформатора. Помимо этого, важно определить среднюю стоимость ремонта каждой из причин в зависимости от срока эксплуатации трансформатора.

На данном этапе нет определенного вывода о сравнении вариантов покупки нового трансформатора и ремонта старого. Успешные опыты замены трансформаторов одними организациями перекрываются неудачным опытом других.

Источники

1. РД 153-34.3-46.304-00. Положение об экспертной системе контроля и оценки состояния и условий эксплуатации силовых трансформаторов, шунтирующих реакторов, измерительных трансформаторов тока и напряжения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elec.ru/library/rd/rd-153-34-3-46-304-00/> (дата обращения: 23.08.2019).

2. «ПУЭ 7. Правила устройств электроустановок» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (дата обращения: 23.08.2019).

КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯТОРОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Назмиева Зиля Камилевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
zilya.96@mail.ru

Особенности развития нагрузок современного производственного сектора предписывают новые требования к обеспечению надежности электроснабжения, а надежность электроснабжения напрямую зависит от качества контроля за работой оборудования. В статье рассмотрен анализ контроля и диагностики изоляторов линий электропередачи.

Ключевые слова: изолятор, диагностика, ультразвуковой, дистанционный контроль.

MONITORING AND DIAGNOSTICS OF ELECTRIC TRANSMISSION LINES

Nazmieva Zilya Kamilevna

Features of the development of the loads of the modern manufacturing sector prescribe new requirements for ensuring the reliability of power supply, and the reliability of power supply directly depends on the quality of control over the operation of the equipment. The article considers the analysis of monitoring and diagnostics of power line insulators.

Keywords: insulator, diagnostics, ultrasonic, remote control.

Исправное состояние изоляторов – одно из важных составляющих в процессе бесперебойной передачи электроэнергии. Повреждаемость различных типов изоляторов по сей день остается достаточно важной отраслевой проблемой. В связи с этим все большее внимание уделяется проблеме испытаний изоляторов в различных погодных условиях и методам контроля. Благодаря своевременному и эффективному контролю состояния изоляторов можно снизить частоту аварийных ситуаций и экономические затраты.

Контроль осуществляется различными испытаниями, оценкой состояния изоляторов и принятием решения о дальнейшей эксплуатации. Во время диагностики изоляторов должны использоваться приборы, обладающие высокой чувствительностью в жестких условиях

эксплуатации. Чаще всего осмотр изоляторов происходит в дневное время суток с использованием оптических приборов или визуально. При этом для получения объективной и полной информации контроль состояния изоляторов под напряжением должен осуществляться дистанционными методами, так как при визуальном контроле можно наблюдать только внешние повреждения. Главное преимущество дистанционного контроля – это снижение трудоемкости и повышение безопасности работ. Широкое распространение в энергосистеме получили приборы, регистрирующие собственное электромагнитное излучение изолирующих конструкций в диапазоне радиоволн, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов, а также акустические, работающие в ультразвуковом диапазоне. При осуществлении контроля при помощи приборов, таких как «DayCor II», «Ультраскан-2004», «Метакон», УД-8 и др., вероятность эффективного выявления неисправных изоляторов крайне мала, так как основаны на методах визуального, теплового или звукового контроля изоляции.

Наиболее совершенными являются ультразвуковые NL-камеры профессионального класса. Благодаря встроенному алгоритму на месте можно провести диагностику изоляторов и обнаружить дефект с помощью инновационного метода экспертного анализа. Метод позволяет сократить время на поиски неисправностей изоляторов, и камера может заменить или быть хорошим дополнением для тепловизора, ультрафиолетовой камеры, детектора частичных разрядов.

Современные способы выявления дефектов на изоляторах значительно уменьшают экономические потери, время поиска, причины аварии и снизят вероятность несчастных случаев.

Источники

1. Сурба А.С., Кутлер П.П. Расследование и анализ технологических нарушений в работе энергообъектов: учеб.-метод. пособие. М., 2005. 52 с.
2. Рейх Е.Н., Сыченко В.Г., Ким (Днуждт) Е.Д. Анализ методов и средств диагностирования для оценки состояния изоляторов контактной сети // Электрофикация транспорта. 2012. № 4. С. 54–60.
3. Арбузов Р.С., Овсянников А.Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи: моногр. Новосибирск: Наука, 2009. 135 с.
4. Несенюк Т.А. Диагностирование изолирующих конструкций // Транспорт Урала. 2011. № 3 (30). С. 69–71.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В РОССИИ

Рыцова Алина Валерьевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ridel-47130@yandex.ru

Рассмотрены перспективы развития установок распределенной генерации в России. Снижаются риски дефицита мощности и потери электроснабжения от питающей подстанции основной сети, повышается надежность энергоснабжения, улучшаются показатели качества электрической энергии, снижаются потери мощности и электроэнергии.

Ключевые слова: распределенная генерация, малая генерация, электрическая энергия, энергосистема.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED GENERATION IN RUSSIA

Rytsova Alina Valeryevna

The prospects of the development of distributed generation units in Russia are considered. The risks of a power shortage and loss of power supply from a power substation of a main network are reduced, reliability of power supply increases, indicators of quality of electric energy improve, losses of power and electric power decrease.

Keywords: distributed generation, small generation, electric energy, power system.

В настоящее время уже не требует доказательств целесообразность развития распределенной генерации (РГ) в России как дополнение существующей централизованной энергетики. Особое место с учетом климатических особенностей страны занимает синхронная топливная когенерация, совмещающая производство тепловой и электрической энергии.

Благодаря размещению установок РГ в непосредственной близости с центрами нагрузок повышается надежность электроснабжения потребителей. При этом происходит снижение рисков дефицитов мощности и потерь электроснабжения от питающей сети, улучшение показателей качества электроэнергии.

С помощью РГ появляется возможность создать эффективную и надежную систему производства качественной электро- и теплоэнергии вблизи с потребителем и с учетом его конкретных требований.

На данный момент общемировой тенденцией, которая развивается и в Российской Федерации, является уход потребителей от исключительно централизованного энергоснабжения по экономическим соображениям. Энергосистема в будущем должна будет сочетать совместную работу крупных электростанций с РГ. Для того, чтобы развить это направление, нужно понять важность роли РГ в прогрессе электроэнергетики России и устранить барьеры, имеющиеся на пути создания и деятельности объектов распределенной энергетики.

Источники

1. Мурачёв А. Вопросы развития распределенной генерации // Электроэнергия передача и распределение. 2013. № 2 (17). С. 124–128.

2. Стенников В.А., Воропай Н.И. Централизованная и распределенная генерация – не альтернатива, а интеграция // Электроэнергетика глазами молодёжи: тр. Всерос. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2010. Т. 1. С. 12.

УДК 621-311.1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Санникова Ирина Олеговна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
irina.777san@mail.ru

В статье рассмотрены актуальные проблемы электроэнергетики России, а также интеллектуальные электрические сети, как одно из решений устранения ряда вопросов, связанных с положением этой отрасли на данном этапе ее развития.

Ключевые слова: электроэнергетика, интеллектуальные электрические сети, надежность, современные технологии.

INTELLIGENT ELECTRIC NETWORKS

Sannikova Irina Olegovna

The article considers the current problems of the electric power industry in Russia, as well as intelligent electric networks, as one of the solutions to addressing a number of issues related to the situation of this industry at this stage of its development.

Keywords: electric power industry, intelligent electric networks, reliability, modern technologies.

Электроэнергетика является одной из важных отраслей российской экономики, обеспечивающая отечественный и внешний рынок электрической и тепловой энергией. Непрерывное функционирование отрасли во многом определяет энергетическую безопасность Российской Федерации, и, как отметил глава российского министерства энергетики Александр Новак, «является основой прогрессивного развития экономики страны и неперенным фактором в обеспечении комфортных условий для проживания наших граждан» [2].

Состояние электроэнергетики России можно охарактеризовать следующими проблемами:

- 1) устаревание основных фондов и кадров (изношенность оборудования, старение и дефицит высококвалифицированных специалистов);
- 2) устойчивый рост цен на электроэнергию;
- 3) отсутствие «энергосберегающего поведения» у потребителей.

В виду особого положения электрической энергии, как незаменимого ресурса, остро стоит вопрос о развитии электроэнергетики. Ряд вопросов можно решить с помощью внедрения в энергосистему интеллектуальных электросетей.

Интеллектуальная электросеть – это новейшая система взглядов на роль технологий в обновлении энергетической инфраструктуры, целью которой, в первую очередь, является следование устойчивой, надежной и экономически целесообразной поставке электроэнергии, достижение которой достигается за счет автоматизации, контролируемости и интеграции всего процесса.

Основные преимущества интеллектуальных сетей:

- 1) надежность сети – составление прогноза потребления для оптимизации конфигурации сети в режиме реального времени, что позволит оборудованию функционировать в полную силу его фактических возможностей;
- 2) современные коммуникационные технологии – возможность встроить интеллектуальные функции во всю инфраструктуру электросети.
- 3) правильное реагирование – уменьшение пиковых нагрузок с помощью интеллектуальных приборов учета, позволяющих внедрить тарификацию в зависимости от времени потребления;
- 4) операционная эффективность – сокращение объемов хищений электроэнергии и повышение собираемости платежей с помощью автоматизированных систем считывания показаний приборов учета [1].

Структура интеллектуальных сетей:

- 1) интеллектуальная электросеть сочетает в себе функции мониторинга электросети и мониторинг генерирующих мощностей с целью выравнивания нагрузки, защиты и измерений, а также обеспечивает безопасную и эффективную доставку электроэнергии;

2) интеллектуальный обмен информацией сочетает в себе двусторонний обмен данными показаний датчиков и счетчиков, расположенных по всей сети;

3) интеллектуальное потребление и учет обеспечивают повышение надежности, безопасности и эффективности сети за счет автоматизации управления спросом и реагирования на чрезвычайные ситуации;

4) возобновляемые источники энергии [1].

Создание энергосистемы с применением интеллекта – это новый технический уровень развития отечественной энергетики. При правильной реализации можно добиться: системной надежности электросетевого комплекса, ликвидации потерь электроэнергии, снижения ущербов от системных аварий и т. д.

Источники

1. «Внедрение интеллектуальных электрических сетей в России» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eprussia.ru/epr/258/16549.htm> (дата обращения: 18.10.2019).

2. «Министр энергетики РФ А.В. Новак представил программу модернизации российской электроэнергетики до 2035 года» [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/17486> (дата обращения: 18.10.2019).

УДК 658.262

ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Касьянова Надежда Евгеньевна¹, Саптиева Виктория Юрьевна²,

Мухаметжанов Рустем Наимович³

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹yahope31@yandex.ru, ²vika.saptieva@mail.ru, ³ruustem@yandex.ru

На сегодняшний день назрела необходимость регламентирования минимально необходимого набора функций интеллектуальных систем учета электроэнергии. Необходимо классифицировать применение приборов учета электроэнергии согласно их места установки в энергосистеме. Например, чтобы построить современную автоматизированную систему диспетчерско-технологического управления (АСДТУ) электроснабжением предприятий необходим «один набор» параметров, а для того, чтобы имелась возможность полноценно управлять и контролировать энергоснабжение жилого сектора – «другой набор».

Ключевые слова: электронный счетчик, учет энергии, автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), автоматизированная система диспетчерско-технологического управления (АСДТУ).

TRENDS IN THE USE OF ELECTRIC ENERGY METERING SYSTEMS

Kasyanova Nadezhda Evgenievna, Saptieva Victoria Yuryevna,
Mukhametzhanov Rustem Naimovich

To date, there is a need to regulate the minimum required set of functions of intelligent power metering systems. It is necessary to classify the use of electricity metering devices according to their installation location in the power system. For example, to build a modern automated system of dispatching and technological control (asdtu) of electricity supply of enterprises requires “one set” of parameters, and in order to be able to fully manage and control the energy supply of the residential sector – “another set”.

Keywords: electronic meter, energy accounting, automated system of commercial electricity metering, automated system of dispatching and technological control.

Первый счетчик электрической энергии был предназначен только для учета электроэнергии. С течением времени технологии развивались, что привело к появлению счетчиков, позволяющих замерять другие показатели электроэнергии. Электронные технологии не находили применения в учете энергии до тех пор, пока в 1970-х годах не появились первые аналоговые и цифровые интегральные микросхемы. Новая технология дала новый толчок к развитию электрических счетчиков.

В настоящее время счетчики с развитыми функциональными возможностями основываются на новейших электронных технологиях, с применением цифровой обработки сигналов, причем большинство функций оснащены встроенным программным обеспечением.

Функциональные возможности счетчика следующие. Пользователь имеет возможность снимать показания энергии по ее приращению за определенный период времени (сутки, месяц, год). Фиксация значений активной и реактивной мощности за определенный период позволяет провести анализ работы энергетического оборудования. В любой момент времени можно просмотреть мгновенные показатели активного и реактивного потребления, действующего тока, напряжения, частоты в каждой фазе.

Требования, предъявляемые к электрическим счетчикам: соответствующий класс точности; обязательное наличие на винтах, крепящих элементах кожуха счетчика пломбы с клеймом госповерителя; поверка счетчиков в срок; соблюдения температурного режима; соответствие параметрам сети (ток, напряжение, частота) и т.д.

В настоящее время на базе современных счетчиков решают разнообразные задачи, начиная от простого учета электроэнергии до формирования иерархических систем АСКУЭ и АСДТУ. Для разных задач используется различный функциональный набор параметров счетчика. Основное назначение системы АСКУЭ – собрать в центрах управления все данные о потоках электроэнергии на всех уровнях напряжения и обработать полученные данные.

Для организации системы АСКУЭ необходимо: установить электронные счётчики в точках учёта энергии; передать цифровые сигналы в «сумматоры», снабженные памятью; создать систему связи (GSM связь) для передачи информации на предприятие; организовать и оснастить центры обработки информации современными компьютерами и программным обеспечением.

Позднее стали создаваться комплексные автоматизированные информационно-измерительные системы, включающие в себя автоматизированную систему коммерческого учета электроэнергии (АИИСКУЭ), автоматизированную систему технического учета электроэнергии (АИИСТУЭ), а также автоматизированную систему диспетчерско-технологического управления (АСДТУ) электроснабжением предприятий.

Исходя из таких разнообразных задач, можно сделать вывод о необходимости разработки стратегии функционала электрических счетчиков в системе диспетчеризации и на локальных уровнях, которые позволят повысить экономические показатели и снизить затраты на диспетчерское управление.

Источники

1. Ржанников К.Г. Системы учета электроэнергии и диспетчеризации современных предприятий нефтепереработки России [Электронный ресурс] // Отраслевой научно-технический журнал «ИСУП». 2013. № 5 (47). URL: <https://isup.ru/articles/18/5228/> (дата обращения: 20.10.2019).

2. Ерёмин М.А. Развитие автоматизированных систем коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ) [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2015. № 3. С. 135–138.

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВАКУУМНЫХ РЕКЛОУЗЕРОВ В БУГУЛЬМИНСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Ситдииков Эмиль Талгатевиц
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
sitdikov-emil@rambler.ru

В работе рассмотрена перспектива использования автоматического секционирования распределительных сетей 6–10 кВ. В качестве примера приведена комплексная автоматизация распределительных сетей с применением вакуумных реклоузеров в Бугульминских электрических сетях.

Ключевые слова: секционирование, автоматизация, реклоузер, оперативные переключения, релейная защита, децентрализованное управление секционированием, Бугульминские электрические сети, повышение надежности электроснабжения, уменьшение недоотпуска электроэнергии, снижение эксплуатационных затрат.

INTEGRATED AUTOMATION OF DISTRIBUTION NETWORKS USING VACUUM RECLOSERS IN BUGULMA ELECTRICAL NETWORKS

Sitdikov Emil Talgatevich

The work considers the prospect of using automatic partitioning of distribution networks of 6–10 kV. As an example, integrated automation of distribution networks using vacuum reclosers in Bugulma electrical networks is given.

Keywords: sectioning, automation, recloser, operational switching, relay protection, decentralized sectioning control, Bugulma electrical networks, improving the reliability of power supply, reducing under-supply of electricity, reducing operating costs.

В Бугульминских сетях существует вероятность обрыва проводов, так как в межсезонные периоды, при температуре от +2 до –6 °С происходит образование льда на проводах линий электропередач. Лед сбрасывается с помощью механического воздействия, либо никакие меры не принимаются вовсе.

При переключениях возникает вероятность выключения разъединителя под нагрузкой, и включение заземляющих ножей под напряжение.

Поиск и локализация повреждения на линиях производится силами оперативно выездных бригад.

Количество повреждений фидеров 2-07 и 10-06 за год составляет порядка девяти повреждений на сто километров линии.

В качестве метода управления аварийными режимами применяется децентрализованная система автоматического секционирования с применением вакуумных реклоузеров РВА/TEL-10-12,5/630 (см. рисунок).

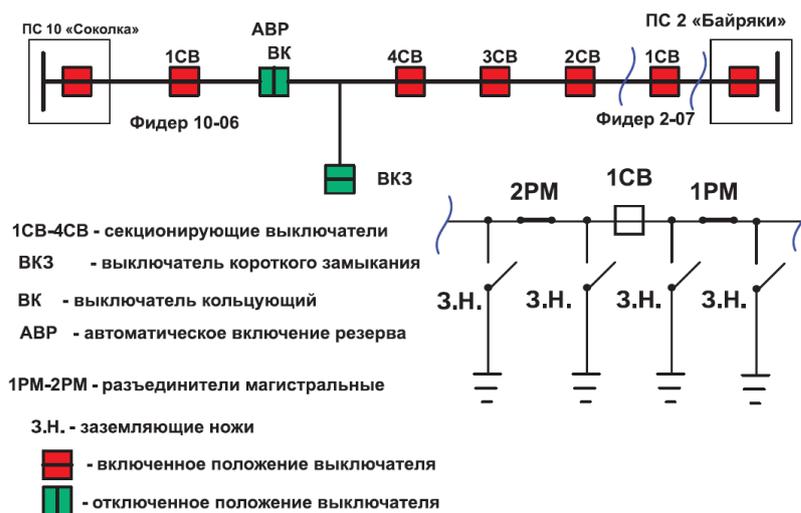


Схема расположения реклоузеров

Для определения необходимости плавки льда устанавливаются датчики весового контроля БДГ-1, информация с которых поступает в КП реклоузера и после обработки передается на АРМ диспетчера.

Для предотвращения ошибочного отключения МР под нагрузкой был выведен сигнал от привода ПРГ-2Б УХЛ1 в шкаф управления реклоузером. В случае попытки воздействия на привод разъединителя, реклоузер отключит нагрузку и разъединитель не повредится.

Проведем технико-экономическое обоснование.

Недоотпуск электроэнергии:

$$\Delta W_{HO} = 0,01\omega_0 T_B k_{BB} L S \cos \varphi k_3,$$

где ΔW_{HO} – годовой недоотпуск ЭЭ, кВт·ч/год; ω_0 – число повреждений на сто километров линии в год, 1/100км год; T_B – полное время восстановления одного повреждения, ч; L – длина участка между двумя секционными аппаратами, км; k_3 – коэффициент загрузки трансформатора; k_{BB} – коэффициент, учитывающий влияние автоматизации на время восстановления электроснабжения.

$$\Delta W_{\text{НОБ}}\phi_{10} = 0,01 \cdot 24 \cdot 4 \cdot 1(13,05 + 3,1) \cdot 1530 \cdot 0,85 \cdot 0,6 = 12098 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год};$$

$$\Delta W_{\text{НОБ}}\phi_{02} = 0,01 \cdot 14 \cdot 4 \cdot 1(29,95 + 21,39) \cdot 5290 \cdot 0,85 \cdot 0,6 = 77566 \text{ кВт} \cdot \text{ч/годж}$$

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{НОР}}\phi_{10} &= 0,01 \cdot 24 \cdot 0,8 \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 0,85 \cdot 0,6 \cdot (11 \cdot 760 + 11,25 \cdot 770) = \\ &= 4000 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{НОР}}\phi_{02} &= 0,01 \cdot 14 \cdot 0,8 \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 0,85 \cdot 0,6 \cdot (6,9 \cdot 1380 + 9,65 \cdot 1074 + 6,72 \cdot 2361 + \\ &+ 9 \cdot 2190 + 12,65 \cdot 375) = 8252 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год} \end{aligned}$$

Суммарный эффект от внедрения реклоузеров:

$$\Delta W_{\text{НОЭ}} = \Delta W_{\text{НОБ}} - \Delta W_{\text{НОР}},$$

где $\Delta W_{\text{НОБ}}$ – недоотпуск электрической энергии в базовом варианте, кВт·ч/год; $\Delta W_{\text{НОР}}$ – недоотпуск электрической энергии в варианте с реклоузерами, кВт·ч/год.

$$\Delta W_{\text{НОЭ}} = 89664 - 12252 = 77412 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}.$$

Упрощенный расчет экономического эффекта:

$$\mathcal{E}^1 = \Delta W_{\text{НОЭ}} (T + Y_0),$$

где $\Delta W_{\text{НОЭ}}$ – суммарный эффект от внедрения реклоузеров, кВт·ч/год; T – тариф на электрическую энергию, руб./кВт·ч; Y_0 – удельный ущерб потребителя, руб./кВт·ч.

$$\mathcal{E}^1 = 77412(7 + 1,5) = 658002 \text{ руб./год}.$$

Срок окупаемости инвестиций:

$$T_{0k} = \mathcal{E}/3,$$

где \mathcal{E} – годовой экономический эффект от внедрения реклоузеров, руб.; 3 – суммарные затраты на внедрение реклоузеров в сеть, руб.

40 000 руб./год – годовые затраты на поиск и локализацию повреждений;

80 000 руб./год – годовые затраты на техническое обслуживание;

3 850 000 руб. – затраты на приобретение оборудования;

1 300 000 руб. – строительно-монтажные работы;

200 000 руб. – пусконаладочные работы;

400 000 руб. – проектно-изыскательские работы.

$$T_{0k} = \frac{385000 + 1300000 + 200000 + 400000}{658002 + 120000} = 7 \text{ лет}$$

Таким образом, благодаря проделанной в Бугульминских сетях работы была значительно повышена надежность электроснабжения, уменьшен недоотпуск электроэнергии у потребителей, снижены эксплуатационные затраты на техническое обслуживание, а также повышен уровень безопасности при проведении оперативных переключений.

Источники

1. Воротницкий В.Э., Воротницкий В.В. Надежность распределительных электрических сетей 6 (10) кВ. Автоматизация с применением реклоузеров // Новости электротехники. 2002. № 5. С. 22–25.

2. Децентрализованная система релейной защиты и автоматики в протяженных распределительных сетях с рассредоточенной нагрузкой потребителей / В.В. Жуков [и др.] // Информ. материалы IV Межд. семинара по вопросам использования современных компьютерных технологий для АСУ электрических сетей. М., 2000.

3. Основные концептуальные подходы к реконструкции и техническому перевооружению электрических сетей. Программа технического перевооружения электрических сетей РАО «ЕЭС России» на 2001–2005 гг. М.: РАО «ЕЭС России», 2000.

УДК 621.311.017

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ПУТИ ИХ СНИЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 0,38–10 КВ

Фурсанов Михаил Иванович¹, Гецман Екатерина Михайловна²

БНТУ, г. Минск

¹elsyst@bntu.by, ²myshk-ekaterina@yandex.ru

В статье представлены результаты расчетов, выполненные авторами для одного из районов электрических сетей (РЭС) Республики Беларусь, приведена структура и анализ расчетов потерь электроэнергии в сетях 0,38–10 кВ, указаны пути снижения потерь.

Ключевые слова: потери электроэнергии, снижение потерь, электрическая сеть, коэффициент загрузки, эффективность.

ANALYSIS OF LOSS OF ELECTRIC ENERGY AND WAYS OF THEIR REDUCTION IN THE DISTRIBUTION NETWORKS 0.38–10 KV

Fursanov Mikhail Ivanovich, Getsman Ekaterina Mikhailovna

The article presents the results of calculations performed by the authors for one of the regions of electric networks (RES) of the Republic of Belarus, presents the structure and analysis of calculations of electricity losses in networks of 0.38-10 kV, and indicates ways to reduce losses.

Keywords: energy losses, loss reduction, electric network, load factor, efficiency.

По мнению международных экспертов, относительные общие потери электроэнергии при ее передаче и распределении в электрических сетях можно считать удовлетворительными, если они не превышают 4–5 %. В России их величина достигает 11–13 %, в Японии и Западной Европе – не более 6–7 %. Согласно официальным данным в Республике Беларусь (РБ) эти потери составляют в среднем 8–11 % (рис. 1) [1].



Рис. 1. Динамика изменения технологического расхода электрической энергии на транспорт в электрических сетях РБ

Электрическая сеть энергосистемы Республики Беларусь состоит из электропередач напряжением 0,4–750 кВ общей протяженностью 279 278 км, 1 354 трансформаторных подстанций (ТП) 35–750 кВ и 74 579 трансформаторных подстанций 6–10/0,4 кВ.

В Республике Беларусь в целом сети 0,38 кВ составляют около 40 % от суммарной протяженности линий электропередач общей протяженностью 202,509 км (воздушные) и 39,923 км (кабельные). От надежности работы сетей 0,38 кВ и их загрузки решающим образом зависят надежность, качество и экономичность электроснабжения потребителей, а от качества расчетов технических потерь в сетях 0,38 кВ – точность определения коммерческих потерь.

Применение поэлементного метода расчета позволяет рассчитывать потери по отдельным конкретным элементам (распределительные линии 10(6) кВ; трансформаторы 10(6)/0,38 кВ; распределительные линии 0,38 кВ), а также по сети в целом.

Потери электроэнергии ΔW в сетях 10 кВ состоят из трех составляющих [2]:

$$\Delta W = \Delta W_{\text{НЛ}} + \Delta W_{\text{НТ}} + \Delta W_{\text{Х}}, \quad (1)$$

где $\Delta W_{\text{НЛ}}$ – суммарные нагрузочные потери электроэнергии на линейных участках схемы распределительной линии; $\Delta W_{\text{НТ}}$ – суммарные нагрузочные потери в трансформаторах; $\Delta W_{\text{Х}}$ – потери электроэнергии в стали трансформаторов (рис. 2).

Суммарные потери электроэнергии в двухобмоточных трансформаторах 10–0,38 кВ $\Delta W_{\text{Т}}$ состоят из двух составляющих – $\Delta W_{\text{Х}}$ и $\Delta W_{\text{НТ}}$:

$$\Delta W_{\text{Т}} = \Delta W_{\text{ХТ}} + \Delta W_{\text{НТ}}, \quad (2)$$

где $\Delta W_{\text{ХТ}}$ – условно-постоянные потери холостого хода в стали трансформаторов; $\Delta W_{\text{НТ}}$ – переменные нагрузочные потери.

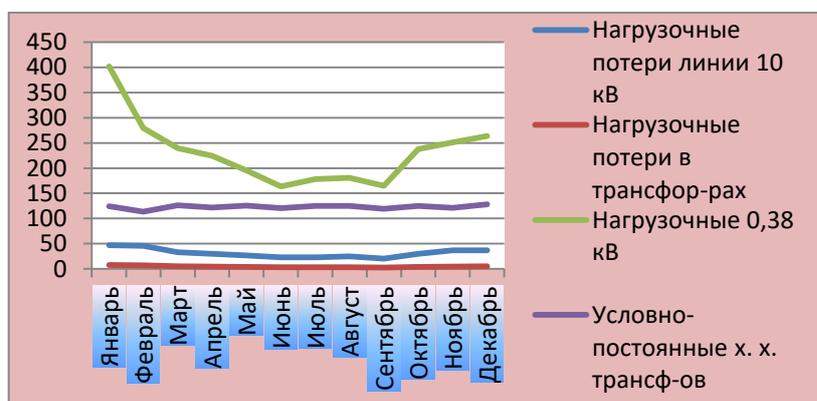


Рис. 2. Структура технологических потерь электроэнергии в сети за год 0,38–10 кВ, тыс. кВт·ч

Основное влияние на формирование и величину суммарных потерь электроэнергии в сети 0,38–10 кВ оказывают сети 0,38 кВ – потери в них при прочих равных условиях, как правило, больше потерь в сети 10 кВ в несколько или даже в десятки раз, однако по опыту эксплуатационных

расчетов и анализа топологических характеристик электрических сетей 0,38–10 кВ показали, что суммарные протяженности сетей 0,38 и 10 кВ примерно одинаковы.

Потери в сети 0,38 кВ заметно снижают величину обобщенного коэффициента загрузки сети (зависит от ее конструктивного исполнения, чем больше разветвленность сети, чем меньше будут ее эквивалентные сопротивления) и увеличивают оптимальное значение относительных потерь в сети 0,38–10 кВ. При этом оптимальные суммарные потери в сети в именованных единицах не меняются.

Суммарные нагрузочные потери в линиях и трансформаторах $\Delta W_{\text{нл}}$ сети 10 кВ колеблются в пределах от 46,923 тыс. кВт·ч до 22,797 тыс. кВт·ч. Потери холостого хода ΔW_x находятся в диапазоне от 173,606 тыс. кВт·ч до 128,425 тыс. кВт·ч. Суммарные потери холостого хода в 3,7 раз ($173,606/46,923 = 3,7$) превышают суммарные нагрузочные потери в линиях и трансформаторах сети 10 кВ, это показывает, что сеть недогружена (рис. 3).ы

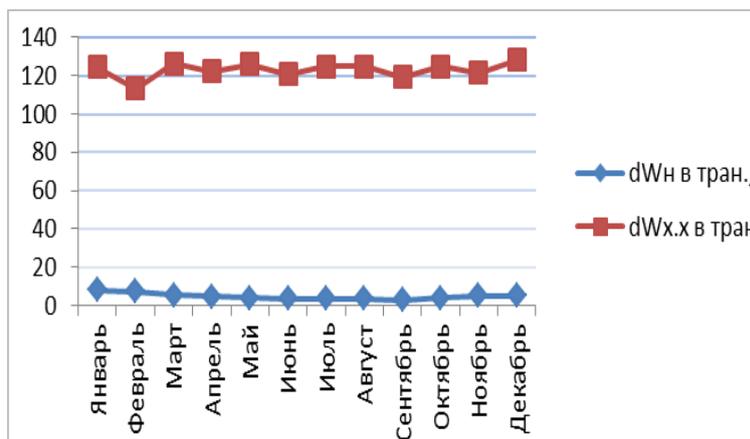


Рис. 3. Потери электроэнергии нагрузочные и холостого хода в трансформаторах за год в сети 10 кВ, тыс. кВт·ч

Из рис. 3 видно, что потери холостого хода во много раз больше, чем нагрузочные потери трансформаторов, соответственно, можно делать вывод, что нужна замена силовых трансформаторов 10/0,4 кВ меньшей мощности. Эффект от замены недогруженного трансформатора на трансформатор меньшей мощности определяется как результат одновременного снижения потерь электроэнергии холостого хода и увеличения нагрузочных потерь за счет увеличения продольного активного сопротивления их схемы замещения (см. таблицу).

Годовой эффект при замене трансформаторов меньшей мощности

Марка	Потери х.х., кВт	Потери х.х. в год, тыс. кВт·ч	Годовой эффект, тыс. кВт·ч, при замене на трансформатор						
			ТМ-10	ТМ-25	ТМ-40	ТМ-63	ТМ-100	ТМ-250	ТМ-400
ТМ-10	0,10	876,0							
ТМ-25	0,12	1051,2	175,2						
ТМ-40	0,17	1489,2	613,2	438,0					
ТМ-63	0,22	1927,2	1051,2	876,0	438,0				
ТМ-100	0,34	2978,4	2102,4	1927,2	1489,2	1051,2			
ТМ-160	0,50	4380,0	3504,0	3328,8	2890,8	2452,8	1401,6		
ТМ-250	1,05	9198,0	8322,0	8146,8	7708,8	7270,8	6219,6		
ТМ-400	1,90	16644,0	15768,0	15592,8	15154,8	14716,8	13665,6	7446,0	
ТМ-630	2,00	17520,0	16644,0	16468,8	16030,8	15592,8	14541,6	8322,0	876,0
ТМ-1000	2,19	19184,4	18308,4	18133,2	17695,2	17257,2	16206,0	9986,4	2540,4

Например, замена ТМ-400 на ТМ-25 сэкономит 15,6 тыс. кВт·ч в год.

Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях может быть достигнуто в результате проведения мероприятий по общей оптимизации сети. Для определения приоритетных мероприятий по снижению потерь необходим тщательный анализ энергетических балансов электрических сетей; изучение результатов расчетов технических и коммерческих потерь электроэнергии, программного обеспечения расчетов данных потерь, учет режимов работы электрических сетей, применение приборов учета электроэнергии, организации мероприятий по снижению потерь и повышению их эффективности.

Источники

1. СТП 09110.09.455-11. Методика расчета и обоснования нормативов расхода электроэнергии на её передачу по электрическим сетям. Минск: ГПО «Белэнерго», 2012. 50 с.
2. Фурсанов М.И. Определение и анализ электроэнергии в электрических сетях энергосистемы. Минск: УВНЦ при УП «Белэнергосбережение», 2005. 207 с.

ВОЛНОВОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 6–35 КВ

Шакиров Динар Маратович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
dinar.shakirov.1996@bk.ru

В данной статье рассматривается волновой метод определения мест повреждений при коротких замыканиях на линиях электропередач, а также разработка математических и графических моделей, позволяющие имитировать реальные условия и приближенные значения для усовершенствования метода.

Ключевые слова: волновой метод, модель, качество электроэнергии, электромагнитная волна

WAVE METHOD FOR DETERMINING THE DAMAGE PLACE OF A 6–35 KV ELECTRIC TRANSMISSION LINE

Shakirov Dinar Maratovich

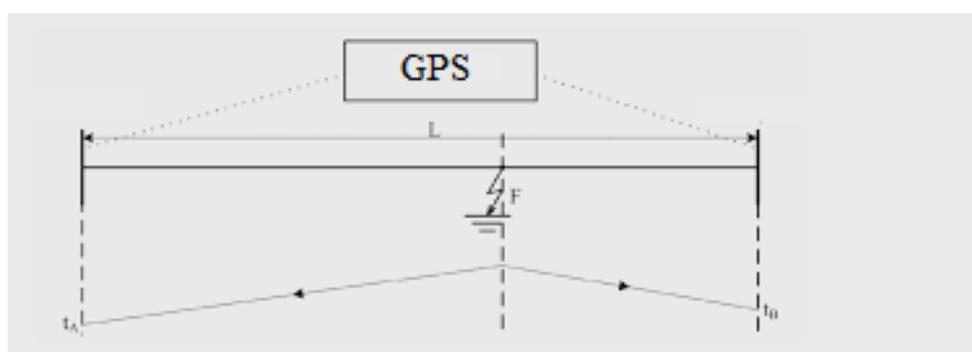
This article discusses the wave method for determining the location of damage during short circuits on power lines, as well as the development of mathematical and graphical models to simulate real conditions and approximate values for improving the method.

Keywords: wave method, model, power quality, electromagnetic wave.

В электроэнергетических системах нарушение нормального режима работы обычно происходит из-за повреждения её элементов, в частности, линии электропередачи. Причинами могут являться природные и технические факторы. К природным факторам относят ветер, грозы, обледенение, к техническим – короткие замыкания (КЗ), перенапряжения, однофазные замыкания на землю и другие повреждения. Все эти повреждения приводят к нарушению электроснабжения, снижению качества электроэнергии и к большим потерям.

Для того, чтобы восстановить нормальный режим работы и сократить затраты, необходимо быстро и точно определять места повреждения ЛЭП. При этом возникают трудности, так как обходы линий персоналом занимает много времени, и до места повреждения надо добираться по бездорожью. Поэтому наличие средств ОМП повышает эффективность и скорость работы.

Волновой алгоритм является одним из эффективных и быстрых дистанционных методов ОМП. Он основан на измерении временных интервалов при распространении электромагнитных волн по линии электропередачи. Волновой метод двухсторонних измерений основан на измерении времени между моментами достижения концов линии фронтами электромагнитных волн, возникающих в месте повреждения. Также есть волновой метод односторонних измерений. Он предполагает измерение времени между моментом прихода к началу линии фронта волны, возникшей на месте повреждения и моментом вторичного прихода волны после двух отражений. Зная это время и расстояние участка цепи, мы можем найти место повреждения линии. Синхронизация процесса происходит с помощью датчиков GPS или ГЛОНАСС (см. рисунок).



Применение волнового метода ОМП

Применение волнового алгоритма помогает быстрее найти место повреждения, что в свою очередь снизит убытки от отключения линии. Также этот метод не требует значительных финансовых вложений, что определяет его как экономически целесообразным.

Источники

1. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. М.: Энергоиздат, 1982. 312 с.
2. Кузнецов А.П. Определение мест повреждения на воздушных линиях электропередачи. М.: Энергоатомиздат, 1989. 94 с.
3. Travelling wave fault locator experience on Eskom's transmission network / P.F. Gale [et al.]. // 2001 Seventh International Conference on Developments in Power System Protection (IEE). 2001. Pp. 327–330.

Секция 9. КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК, ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

УДК 620.9.001.12

КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ В УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Аль-Дарабсе Амер Мохаммад Фархан¹, Маркова Елена Владимировна²,

Миллер Вадим Вячеславович³

УлГТУ, г. Ульяновск

¹amersamarah4@gmail.com, ²morozova319@yandex.ru, ³dreinor73@yandex.ru

В статье рассмотрена система электроснабжения, включающая в себя подсистемы генерации, передачи, распределения и потребления. Сеть электроснабжения в Танзании с каждым днем становится все больше и усложняется, так что большинство коммунальных предприятий давно хотят осуществлять мониторинг и дистанционное управление элементами энергосистемы, такими как подстанции, интеллектуальные устройства, линии электропередач, батареи конденсаторов, фидерные выключатели, анализаторы неисправностей и другие физические объекты.

Ключевые слова: автоматизация, подсистема распределения, подсистема генерации, подсистема передачи.

AUTOMATION CONCEPT IN POWER SYSTEMS MANAGEMENT

Al-Darabse Amer Mohammad Farhan, Markova Elena Vladimirovna,

Miller Vadim Vyacheslavovich

The article discusses the power supply system, which includes subtopics of generation, transmission, distribution and consumption. Power supply network

in Tanzania, it is getting more and more complicated every day, so that most utilities have long wanted to monitor and remotely manage grid elements such as substations, smart devices, power lines, capacitor batteries, feeder switches, fault analyzers and other physical facilities.

Keywords: automation, distribution subsystem, generation subsystem, transmission subsystem.

Автоматизация системы – это процесс автоматического управления энергосистемой путем развертывания соответствующих контрольно-измерительных приборов и управления в системе [1]. Автоматизация энергосистемы включает в себя мониторинг, оценку, анализ и управление процессами, связанными с выработкой и доставкой систем электропитания от электростанций к потребителям. Кроме того, автоматизация энергосистемы состоит из трех основных процессов, а именно: сбор данных, надзор за энергосистемой и управление энергосистемой – все работы автоматизированы. Сбор данных относится к обработке данных в виде измеренных аналоговых значений тока. Наблюдение за энергосистемой осуществляется операторами и инженерами по техническому обслуживанию с помощью полученных данных либо на удаленном объекте, представленном компьютерными дисплеями и графическими настенными дисплеями [2], либо локально, на месте, используя устройства с дисплеями на передней панели и портативных компьютеров. Управление относится к отправке командных сообщений на устройство для управления I&C и устройства системы питания [3].

Электроэнергетические компании во всем мире все активнее внедряют автоматизированный мониторинг, контроль и управление системами распределения электроэнергии для снижения затрат на эксплуатацию, техническое обслуживание, а также для предоставления более качественных услуг потребителям электроэнергии [5]. Надежные онлайн-сборы информации, дистанционное управление и эффективное управление энергосистемами все чаще становятся необходимостью для электроэнергетических компаний [2]. Принимая во внимание обширный размер национальной сетевой системы и некоторых микросетей, централизованная информация о состоянии сети и ее устройств, клиентов и источников питания может быть достигнута с использованием информационных технологий, использующих преимущества компьютера, а также высокую скорость связи и различные информационные технологии [3]. Система мониторинга и контроля электрических распределительных сетей также называется «Система автоматизации распределения (DAS)».

Существует много параметров энергосистем, но для этой работы параметры моделирования были ограничены двумя: поток нагрузки и условия короткого замыкания. Они были выбраны потому, что поток нагрузки и условия короткого замыкания являются параметрами, которые важны в условиях неисправности. Автоматизация энергосистемы позволяет автоматизировать управление объектами электросетевого хозяйства.

Система автоматизации позволяет управлять и контролировать выработку электроэнергии, системы передачи и систему распределения из удаленного местоположения, даже если они находятся далеко от местоположения системы [1].

Домены строчной связи станций дистанционного контроля и управления состоят из главного центра управления, регионального центра управления и районного центра управления. В связи с увеличением сетевой активности на уровне районного контроля необходим первичный центр мониторинга и контроля [2]. Данные собираются по электросети, передаются в региональный центр управления, а затем в центральный центр управления, где выполняется анализ для принятия решения по управлению и улучшения работы системы [3].

Были представлены концепции автоматизации управления энергосистемой от точки генерации до конечных пользователей и показаны результаты моделирования. Цель состояла в том, чтобы показать, что оператор коммунального предприятия в центре управления будет видеть из автоматической системы управления электрическими сетями, указывая на то, что он использует программное обеспечение для мониторинга. Это было необходимо, поскольку это не могло быть сделано в реальной сети. Это также служит средством для операторов системы реального времени. Поэтому при возникновении проблем с сетью электроснабжения оператор коммунальных услуг автоматически получает индикацию и отправляет отчет в требуемый отдел для принятия контрольного решения.

Источники

1. Маркова Е.В., Аль-Дарабсе А.М.Ф. Криминализация экономики как угроза финансовой безопасности // Проблемы и перспективы экономических отношений предприятий авиационного кластера: сб. науч. тр. III Всерос. науч. конф. Ульяновск, 2019. С. 101–104.

2. Маркова Е.В., Аль-Дарабсе А.М.Ф. Кадровая безопасность предприятия в современной экономике // Проблемы и перспективы экономических отношений предприятий авиационного кластера: сб. науч. тр. III Всерос. науч. конф. Ульяновск, 2019. С. 109–113.

3. Аль-Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е.В. Информационные системы управления для совершенствования стратегического и тактического планирования // Развитие агропромышленного комплекса в условиях цифровой экономики: сб. науч. тр. I Нац. науч.-практ. конф. посвящ. 25-летию со дня образования экономического факультета. Кинель, 2019. С. 188–190.

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В SV-ПОТОКАХ

Воробьев Евгений Сергеевич
ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары
ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары
vorobev_es@ekra.ru

В статье оцениваются методы восстановления потерянного отсчета в SV-потоке. Потеря информации моделировалась в среде Matlab. Представлены результаты моделирования – абсолютные и относительные погрешности по фазе и модулю при восстановлении информации.

Ключевые слова: SV-потоки, МЭК 61850, аппроксимация, потеря отсчета.

METHODS OF INFORMATION RECOVERY IN SV

Vorobyev Evgeny Sergeevich

The article evaluates the methods of restoring the lost reference in the SV. The loss of information was simulated in Matlab. The results of modeling – absolute and relative errors in phase and modulus when restoring information-are presented.

Keywords: SV, IEC 61850, approximation, loss of reference.

Традиционные микропроцессорные решения предполагают, что измерение аналоговых сигналов производится терминалом с определенной дискретизацией по времени. Частота дискретизации может быть постоянной, а может подстраиваться под частоту входного сигнала. Поскольку при использовании МЭК 61850-9-2 функция измерения передана ЦИП, микропроцессорный терминал не может контролировать поступление отсчетов сигналов. Эта особенность является источником нежелательных эффектов, например, задержки доставки пакетов по шине процесса [1], характерных для систем с цифровой передачей значений токов и напряжений и мешающих нормальному решению прикладных задач.

Согласно стандарту МЭК 61850-9-2LE пакет должен содержать по одной выборке для фазных токов и напряжений, а также для тока и напряжения нейтрали [2]. Алгоритмы фильтрации очень чувствительны к потере даже одного из отсчетов. В этом случае терминал должен принять

необходимые меры, которые могут включить блокирование отдельных функций или аппроксимировать потерянное значение. Первое может отрицательно сказаться на характеристиках работы защиты, поэтому более предпочтительна аппроксимация. Рассматриваемые методы восстановления информации представлены условно (рис. 1). На рисунке красным цветом показан потерянный отсчет, зеленым – отсчеты, участвующие в аппроксимации потерянного отсчета.

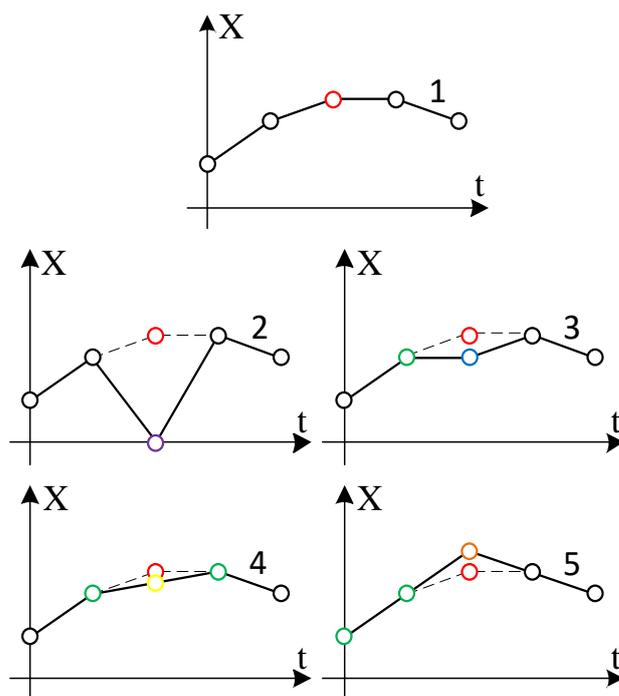


Рис. 1. Методы восстановления информации:

- 1 – условный вид исходного сигнала; 2 – принятие нулевого значения потерянного отсчета;
- 3 – использование предыдущего отсчета за потерянный; 4 – Линейная интерполяция потерянного значения по известным соседним отсчетам; 5 – линейная экстраполяция потерянного значения по предыдущим отсчетам

Для каждого из рассмотренных методов восстановления информации была рассчитана погрешность способа на одном периоде синусоидального сигнала промышленной частоты 50 Гц. Оценивалось отклонение вектора, полученного фильтрацией результирующего сигнала по Фурье для каждого отсчета отдельно.

Очевидно, что для некоторых способов восстановления погрешность восстановления отдельных отсчетов будет зависеть от начальной фазы синусоидального сигнала. Для усреднения результатов были рассмотрены синусоидальные сигналы с начальными фазами: 0° (0), 30° ($\pi/6$), 45° ($\pi/4$), 90° ($\pi/2$), 120° ($3\pi/2$). Сигнал задается уравнением:

$$x = 5,5 \cdot \sin(2\pi f + \varphi_0). \quad (1)$$

Для каждого метода восстановления рассчитывались абсолютная погрешность модуля комплексной величины, абсолютная погрешность фазы комплексной величины, относительная погрешность модуля комплексной величины, относительная погрешность фазы комплексной величины (см. таблицу).

Среднее значение погрешностей способов восстановления отсчетов

Метод восстановления	Погрешность			
	абсолютная		относительная	
	модуля комплексной величины	фазы комплексной величины	модуля комплексной величины	фазы комплексной величины
Принятие нулевого значения	0,2714	1,9098	4,9342	3,6230
Использование предыдущего отсчета	0,0662	0,9237	1,2040	1,7878
Линейная интерполяция	0,0376	0,2473	0,6867	0,5074
Линейная экстраполяция	0,0401	0,2295	0,7303	0,6007

Из таблицы видно преимущество отдельных методов восстановления – линейной интерполяции и линейной экстраполяции. Из этих методов более предпочтительным выглядит метод линейной экстраполяции, потому что для восстановления потерянного отсчета не требует ожидания следующего, после потерянного, отсчета.

Погрешность метода принятия предыдущего отсчета за потерянный не сильно отличаются от вышеуказанных, но недостатком этого метода является то, что он может повлиять на определении частоты, так как она определяется по переходам сигнала через 0.

Источники

1. Прокопьев В.В., Федоров Р.И. Проектирование сети ЦПС на примере ПС 110 кВ «Медведевская» // Релейная защита и автоматизация. 2018. № 2. С. 50–53.

2. IEC 61850-9-2 Ed.2 Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-2: Specific communication service mapping (SCSM) – Sampled Values over ISO/IEC 8802-3. Germany, 2011. 33 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ КОММУТАЦИЯХ ФАЗ СЕТИ

Зиннатуллина Гузель Ришатовна
ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань
zinnatullina-1997@mail.ru

В данной работе были изучены условия возникновения и количественные характеристики феррорезонансных перенапряжений в электрических сетях переменного напряжения в несимметричных режимах. Несимметричные отключения могут привести к существенным перенапряжениям в том случае, когда на конце линии включен трансформатор, оказавшийся в режиме холостого хода или близкого к нему, работающий с незаземленной нейтралью. Поэтому на резонансные явления в электрических системах существенное влияние оказывают ферромагнитные элементы.

Ключевые слова: феррорезонанс, перенапряжения, режим, нейтраль, характеристика.

STUDY OF FERRORESONANT REENSITURES AT UNSYMMETRIC COMMUTATIONS OF NETWORK PHASES

Zinnatullina Guzel Rishatovna

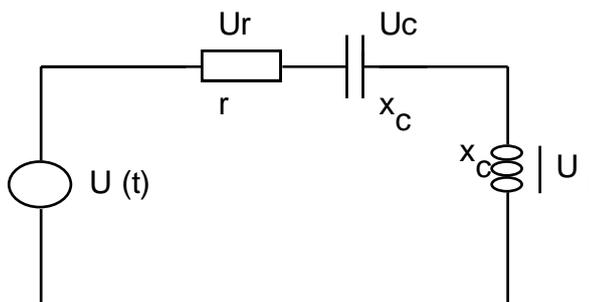
In this report was studied the conditions of occurrence and quantitative characteristics of ferroresonance overvoltages in electrical networks of alternating voltage in asymmetric modes. These overvoltages are a consequence of the ferroresonance of voltages arising in a circuit containing capacitances of the phases to earth and the nonlinear inductance of the receiving transformer. In the asymmetrical mode, the capacitance of the phase lines and the nonlinear inductance may be connected in series. Therefore, ferromagnetic elements have a significant effect on resonance phenomena in electrical systems.

Keywords: ferroresonance, overvoltage, mode, neutral, characteristic.

Цель данной работы состоит в изучении на трехфазной модели феррорезонансных перенапряжений, возникающих при несимметричных режимах сети, выяснение влияния на величину перенапряжений режима нейтрали источника питания, характера несимметрии и длины линии.

Несимметричные отключения могут привести к существенным перенапряжениям в том случае, когда на конце линии включен трансформатор, оказавшийся в режиме холостого хода или близкого к нему, работающий с незаземленной нейтралью. Для расчета нелинейных

цепей используется графоаналитический метод на основе вольтамперных характеристик. Вместо кривой намагничивания катушки со сталью используется ее вольтамперная характеристика, т. е. зависимость действующего значения тока от действующего значения напряжения, приложенного к зажимам катушки. Главную роль в кривых напряжения тока и потока играет основная гармоника, которая и положена в основу дальнейшего анализа.



Феррорезонансный колебательный контур

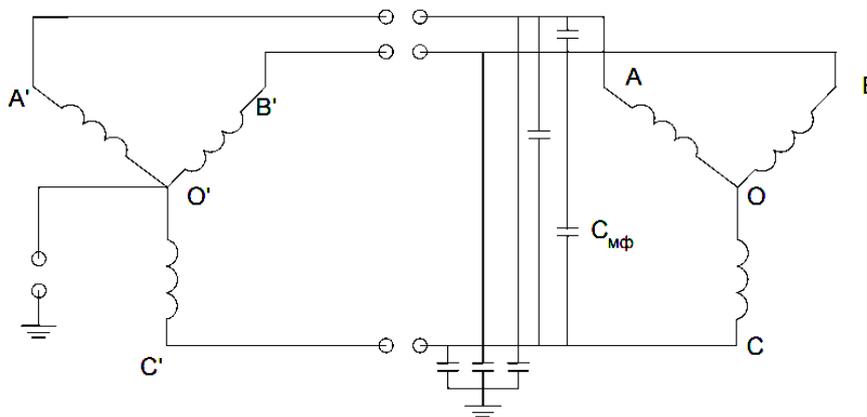
Линия моделируется емкостями на землю, суммарная емкость может меняться в широких пределах.

Рассмотрим обрывы на разных видах нейтралей.

1. Изолированная нейтраль, симметричный режим:

$$\begin{cases} U_{A'0} = 138 \text{ В} \\ U_{B'0} = 134 \text{ В} \Rightarrow U_{\phi} \approx 138 \text{ В.} \\ U_{C'0} = 132 \text{ В} \end{cases}$$

2. Обрыв фазы А – 35 кВ, изолированная нейтраль: $C_B = C_C = 0,5 \text{ мкФ}$.



Исходная схема сети

$$l_{кр} = \frac{C_{кр}}{C_{0'}} = \frac{0,34 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-12}} = 68 \text{ км.}$$

3. Обрыв фазы C – 110 кВ, заземленная нейтраль: $C_C = 0,5$ мкФ;
 $C_B = 0,5$ мкФ.

Значения при обрыве фазы C

Емкости фазы C , мкФ	Напряжение на емкости фазы C	U_C/U_{ϕ}
0,1	100	0,72
0,2	146	1,06
0,3	269	1,95
0,4	341	2,47
0,5	388	2,81
0,75	80	0,58
0,8	59	0,43
0,39	49	0,36
1	41	0,3
1,1	38	0,28

$$l_{кр} = \frac{C_{кр}}{C_{0'}} = \frac{0,6 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-12}} = 120 \text{ км.}$$

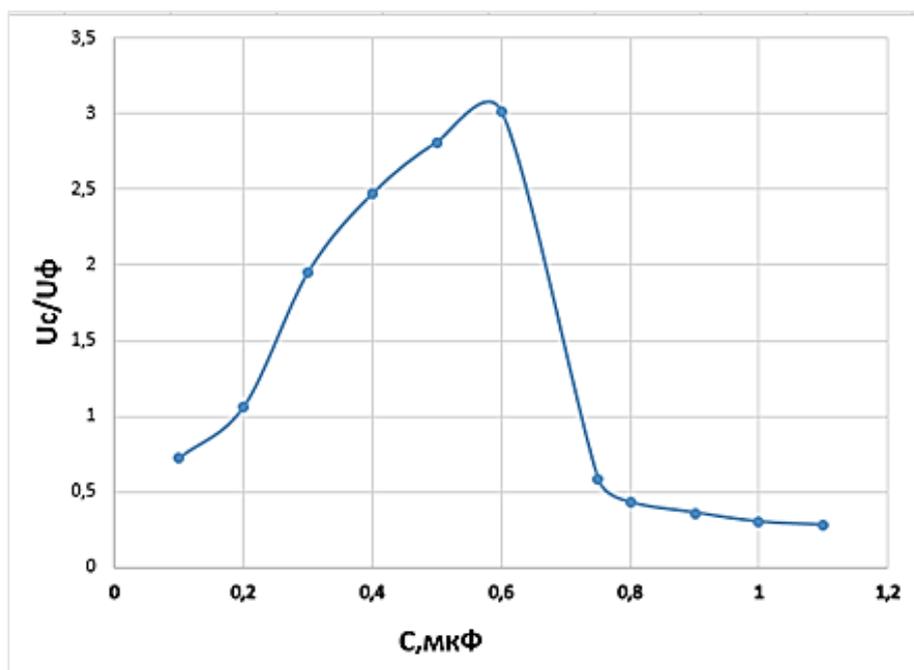


График при обрыве фазы C

В данной работе было изучено возникновение феррорезонансных перенапряжений на примере трехфазной модели. В случае обрыва фазы *A*, когда напряжение в сети 35 кВ и нейтраль изолированная при длине 68 км напряжение на емкости поврежденной фазы достигает $3,5U_{\phi}$.

В случае обрыва фазы *C*, когда напряжение в сети составляет 110 кВ и нейтраль заземленная при длине линии 120 км напряжение на емкости поврежденной фазы достигает $3U_{\phi}$.

Источники

1. Лабораторные работы по курсу «Изоляция и перенапряжения на электрических станциях и подстанциях»: метод. указания / сост. Т.В. Лопухова. Казань: КГЭУ, 2003. 8 с.

2. Родионов Н.Н. Техника высоких напряжений: учеб. пособие. Самара: Самар. гос. техн. унт, 2013. 93 с.

3. Лопухова Т.В., Усачев А.И., Чернов К.П. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. 211 с.

УДК 621.315.624

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПОЛИМЕРНОГО ИЗОЛЯТОРА НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОПОРЕ ВЛ 35 КВ В УСЛОВИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И УВЛАЖНЕНИЯ

Кадыров Амир Юнисович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
kadyrov.am1r@yandex.ru

В статье проведено описание среды моделирования COMSOL Multiphysics и модель работы полимерного изолятора на 35кВ в условиях равномерного загрязнения и увлажнения. Исследовано распределение напряжения вдоль изолятора и на индикаторе контроля его состояния, расположенном на оконцевателе, при различном уровне загрязнения.

Ключевые слова: высоковольтный полимерный изолятор, оптический индикатор, загрязнение изоляции, моделирование, беспроводная система контроля, дефект изоляции, COMSOL Multiphysics.

MODELING OF POLYMER INSULATOR OPERATION ON A METAL ELECTRICITY PYLON OF 35 KV LINE IN THE CONDITION OF POLLUTION AND MOISTURE

Kadyrov Amir Unisovich

The article describes the modeling environment COMSOL Multiphysics and the model of operation of a polymer insulator at 35kV in conditions of uniform pollution and humidification. The voltage distribution along the insulator and on the indicator of monitoring its state, located on the terminal, at various levels of pollution, was investigated.

Keywords: high-voltage polymer insulator, optical indicator, insulation contamination, modeling, wireless monitoring system, insulation defect, COMSOL Multiphysics.

Описание среды моделирования. COMSOL Multiphysics – это универсальная среда численного моделирования систем, устройств и процессов во всех областях проектирования, производства и научных исследований.

Результаты моделирования. В программной среде была создана модель линейного подвешенного полимерного изолятора 35 кВ с индикатором его состояния на оконцевателе, прикрепленного к траверсе опоры [1]. Для осуществления расчета модель разбивается на элементы, что позволяет произвести расчет в каждой точке и результат представить в виде инфографика с учетом материала и вводных параметров [2].

С течением времени изоляторы покрываются мелкодисперсной пылью или водной эмульсией. В расчетах загрязнение и увлажнение изолятора принималось равномерным [3].

В результате моделирования получены следующие результаты. На рис. 1 показано распределение напряжения на чистом, неподверженном загрязнению, изоляторе с удельной электрической проводимостью поверхностного слоя $G = 1 \cdot 10^{-12}$ [S/m]. На Рис.2 показатель удельной электрической проводимости $G = 1 \cdot 10^{-4}$ [S/m] (увлажнение без загрязнения). На рис. 3 ($G = 0,001$ [S/m]) и 4 ($G = 0,01$ [S/m]) представлены распределения напряжения при слабой и сильной степени загрязнения поверхности изолятора с увлажнением.

Из рис. 1–4 видно, что простое увлажнение незначительно влияет на распределение напряжения вдоль изолятора, а загрязнение с увлажнением – значительно. Это подтверждается и графиками, представленными на рис. 5, где показаны кривые изменения напряжения на антенне индикатора, расположенного на верхнем оконцевателе, за период переменного напряжения промышленной частоты.

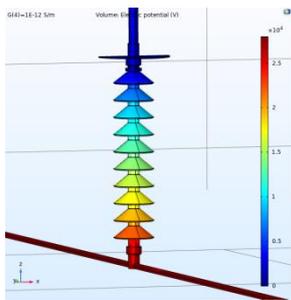


Рис. 1

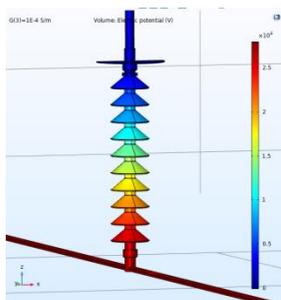


Рис. 2

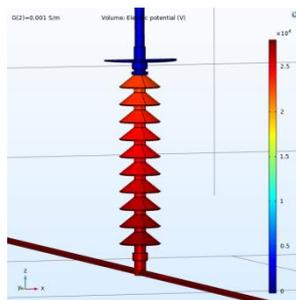


Рис. 3

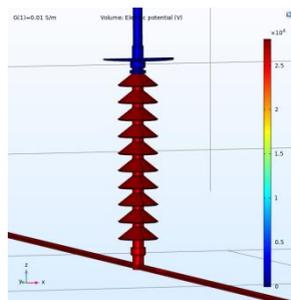


Рис. 4

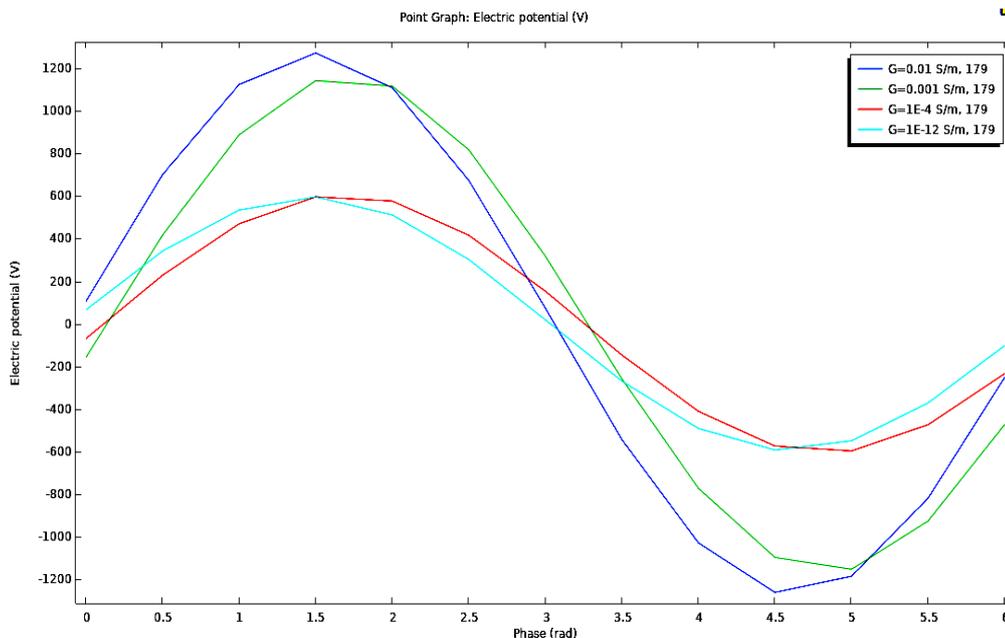


Рис. 5. Кривые изменения напряжения на антенне индикатора в зависимости от степени загрязнения и увлажнения

Таким образом, наличие на поверхности изолятора загрязнения существенно повышает напряжение на входе индикатора, что позволяет контролировать его состояние по данному признаку.

Источники

1. Новые возможности контроля состояния изолирующих конструкций высоковольтных подстанций / Р.Н. Балобанов [и др.] // Энергетика Татарстана. 2015. № 4 (40). С. 48–52.
2. Способ оптического контроля изолирующей конструкции: пат. 2517776 Рос. Федерация № 2012151785/28; заявл. 03.12.2012; опубл. 27.05.2014, Бюл. № 15.
3. Ярмаркин М.К. Полимерные изоляторы и изоляционные конструкции высокого напряжения: учеб. пособие. СПб.: ПЭИПК, 2007. Ч. 1: Нормативы, материалы, технология. 88 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО КАБЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Конакова Анна Олеговна¹, Рыжков Денис Витальевич²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

^{1,2}annak2888@gmail.com

Актуальность выбранной темы обусловлена подбором качественных изоляционных материалов проводников для надежного снабжения потребителей электрической энергией и своевременного проведения измерений сопротивления изоляции.

Ключевые слова: кабель, изоляция, сопротивление, измерение, мегомметр.

RESEARCH OF DIELECTRIC PROPERTIES OF A HIGH VOLTAGE CABLE DURING OPERATION

Konakova Anna Olegovna, Ryzhkov Denis Vitalyevich

The relevance of the chosen topic is due to the selection of high-quality insulating materials of conductors for reliable supply of electrical energy to consumers and timely measurements of insulation resistance.

Keywords: cable, insulation, resistance, measurement, megger.

Важнейшая характеристика состояния изоляции – это сопротивление постоянному току, поэтому измерение сопротивления является неотъемлемой частью проведения контроля качества. Рассмотрим диэлектрические свойства силового бронированного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена, ранее находящегося в эксплуатации 3 года в траншее.

Для изоляции применяют сшитую композицию, которая произведена при сшивании композиции из полимеров, имеющая коэффициент текучести расплава не менее 1,7 г/10 мин со следующим составом: полиолефин, фенольный серосодержащий антиоксидант и пероксид. Полимерный материал сшивают для повышения его морозоустойчивости, термостойкости, стойкости при деформациях, усиления механической прочности и свойств ползучести, химической надежности и устойчивости к вытиранию полимеров, находящихся в слоях кабеля. При процессе сшивания полимера происходит образование межполимерных поперечных связей. Компонент, образующий свободные радикалы предварительно

вводят в материал слоя в момент проведения экструзии слоев на проводник или до нее. В результате слоистый кабель подвергают этапу сшивания для порядка происхождения радикалов, в дальнейшем реакции сшивания [1].

Электропроводность служит главным свойством изоляционных материалов кабелей постоянного тока при высоком напряжении. Данное свойство обусловлено напряженностью и температурой в электрическом поле. В глубине изоляции образуется тепло при утечке электрического тока, который протекает между внутренним и наружным полупроводящими слоями, подогревая изоляцию. Электропроводность для сшитых изолирующих композиций является пониженной даже без извлечения летучих побочных продуктов по окончании процесса сшивания. В содержание композиции входят поливинилхлорида – 100 мас. ч, пластификатора – 40–80 мас. ч, термостабилизатора – 3–15 мас. ч, пирогенного диоксида кремния всего 0,05–0,08 мас. ч [2].

Кабель бронированный состоит из слоя огнестойких лент, стойких к воздействию температуры до 120 °С, обеспечивающих улучшение эксплуатационных характеристик кабеля за счет пожаробезопасности кабеля и его холодостойкости. Заявляемый силовой кабель используется для передачи и распределения электрической энергии и прокладки в кабельных сооружениях, помещениях, на открытом воздухе и в земле [3].

Было проведено измерение сопротивления изоляции мегомметром ЭС0202/2-Г бронированного кабеля АВБбШв (5×16) (ож-1). Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений

Длительность приложения испытательного напряжения, с	Сопротивление изоляции (МОм)									
	A-B	B-C	C-A	A-N (PEN)	B-N (PEN)	C-N (PEN)	A-PE	B-PE	C-PE	N-PE
15	515	500	505	500	510	520	505	500	515	510
60	730	705	710	700	725	735	715	710	730	720
600	1500	1445	1460	1440	1490	1505	1470	1465	1510	1480

По результатам опытов проведены расчеты и подсчитаны коэффициенты абсорбции и поляризации.

Коэффициент абсорбции – это показатель увлажнённости, показывающий необходимость сушки гигроскопической изоляции кабелей.

В основе лежит метод сравнения показаний мегаомметра, снятых через 15 и 60 с после начала испытаний [4], МОм:

$$K_A = \frac{R_{60}}{R_{15}}. \quad (1)$$

По нормативам коэффициент составляет не менее 1,3. Если изоляция сухая, то данный показатель превышает значение 1,4. У влажной изоляции коэффициент приближен к 1, и изоляцию нужно просушить.

Коэффициент поляризации показывает способность заряженных частиц перемещаться в диэлектрике под воздействием электрического поля, что определяет степень старения изоляции. Метод измерения основан на сравнении показаний мегомметра, сделанных через 60 и 600 с после начала испытаний [4], МОм:

$$K_{\Pi} = \frac{R_{600}}{R_{60}}. \quad (2)$$

Коэффициент поляризации характеризуется следующими показателями: менее 1 – изоляция опасная; от 1 до 2 – изоляция сомнительная; более 2 – изоляция является хорошей.

Подставляем данные в формулу и получаем значения коэффициента поляризации в таблице (таблица 2).

Таблица 2

Значения коэффициентов

Коэффициент	A-B	B-C	C-A	A-N (PEN)	B-N (PEN)	C-N (PEN)	A-PE	B-PE	C-PE	N-PE
K_A	1,42	1,41	1,41	1,40	1,42	1,41	1,42	1,42	1,42	1,41
K_{Π}	2,05	2,05	2,06	2,06	2,06	2,05	2,06	2,06	2,07	2,06

Нормативный документ, на соответствие требованиям которого проведены испытания – ПУЭ (7-е изд.) [5]. Согласно данным, приведенным в приложении 3.1 ПТЭЭП [6] данный силовой кабель подлежит измерению сопротивления изоляции 1 раз в 3 года. Этот замер был произведен в срок и с учетом результатов измерений кабель подлежит дальнейшей эксплуатации.

Источники

1. Новая сшитая полимерная композиция, изоляция силового кабеля и силовой кабель: пат. 2668929 Рос. Федерация № 2016125880; заявл. 19.08.201; опубл. 04.10.2018, Бюл. № 28.
2. Композиция на основе поливинилхлорида для изоляции и оболочек проводов и кабелей: пат. 2489458 Рос. Федерация № 2011152989/05; заявл. 26.12.2011; опубл. 10.08.2013, Бюл. № 22.
3. Кабель силовой (варианты): п. м. 149971 Рос. Федерация № 2014136966/07; заявл. 11.09.2014; опубл. 27.01.2015, Бюл. № 3.
4. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 2009. 648 с.
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Электронный ресурс]: утв. Приказом Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. № 204. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minenergo-rf-ot-08072002-n-204/> (дата обращения: 24.10.2019).
6. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) [Электронный ресурс]: утв. Приказом Минэнерго России от 13 января 2003 № 6. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 23.10.2019).

УДК 621.316.13

АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОГО ОТДЕЛЕНИЯ ЗА СЧЕТ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ФИЛЬТРАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Нетесов Евгений Юрьевич¹, Зацепина Виолетта Иосифовна²

^{1,2}Липецкий государственный технический университет, г. Липецк

¹netyosov1983@yandex.ru, ²vizats@gmail.com

В данной работе представлено повышение эффективности работы электрооборудования кузнечно-прессового отделения за счет компенсации реактивной мощности и фильтрации высших гармонических составляющих, приведен результат расчета конденсаторной установки типа УКМ производства ООО «Электроэкология» (г. Москва).

Ключевые слова: мощность, конденсатор, активная, реактивная, гармоники, фильтр, трансформаторы, гармоники.

ANLYSIS OF INCREASING EFFICIENCY OF WORK OF FORGING EQUIPMENT OF THE FORGING PRESS OFFICE AT THE TOTAL OF COMPENSATION OF REACTIVE POWER AND FILTRATION OF HIGH HARMONIC COMPONENTS

Netesov Evgeny Yuryevich, Zatsepina Violetta Iosifovna

This paper presents an increase in the efficiency of the electrical equipment of the forge-and-press department by compensating reactive power and filtering the higher harmonic components, and presents the calculation result of a condenser unit of the UKM type manufactured by Electroecology LLC (Moscow).

Keywords: power, capacitor, active, reactive, harmonics, filter, transformers, harmonics.

В настоящее время Кузнечно-прессовое отделение предназначено для производства металлопродукции, обеспечения запасными частями оборудования основных производственных подразделений, термической и кузнечной обработки заготовок. В составе технологического оборудования находятся гидравлические пресса, молоты, термические и закалочные печи, насосно-аккумуляторная станция, статические преобразовательные агрегаты, грузоподъемное оборудование, система вентиляции и освещение.

Потребители кузнечно-прессового отделения получают электроэнергию на напряжении 0,4 кВ от подстанции 18 «А» и 49 «А». Данные подстанции представляют собой однострансформаторные КТП, с установленными силовыми трансформаторами типа ТМЗ-1000/10, мощностью 1000 кВА, напряжением 10 кВ/0,4 кВ [1].

Существующий режим работы потребителей кузнечно-прессового отделения характеризуется:

1. Изменением потребляемой мощности в зависимости от времени суток.
2. Низким уровнем коэффициента мощности ($\cos \varphi = 0,6$).
3. Значительным потреблением реактивной мощности.
4. Потерями активной мощности в элементах системы электроснабжения (трансформаторах, магистральных токопроводах и кабельных линиях) при передаче реактивной энергии к месту ее потребления.

Данный режим работы системы электроснабжения кузнечно-прессового отделения приводит к потерям электроэнергии, дополнительному нагреву силовых элементов системы электроснабжения, что приводит к снижению срока их службы.

Следует отметить, что в сети 0,4 кВ КТП 18 «А» имеет место:

- 1) несимметрия распределения нагрузки по фазам;
- 2) в сеть генерируются 3-я (по U , I) 5-я и 11-я (по I) гармоники, коэффициенты n -й гармонической составляющей напряжения не превышает допустимого значения 5 % по ГОСТ-13109;
- 3) коэффициент несинусоидальности кривой напряжения по фазам не превышает допустимого значения 8 % по ГОСТ-13109 для сети 0,4 кВ.

Низкий уровень коэффициента мощности характеризует экономичность работы электрооборудования. В данном случае, при $\cos \varphi = 0,6$ имеют место потери активной энергии при передаче реактивной энергии к месту ее потребления. Кроме того, повышенный уровень потребляемого тока, приводит к повышенной нагрузке силовых трансформаторов подстанций [2].

С целью повышения эффективности работы электрооборудования кузнечно-прессового отделения, снижения потерь электроэнергии, разгрузки силовых трансформаторов подстанций и повышения надежности работы системы электроснабжения предлагается установить на каждую подстанции 18 «А» и 49 «А» конденсаторную установку мощностью 400 кВАр.

Конденсаторная установка предназначена для компенсации реактивной мощности и фильтрации высших гармонических составляющих в автоматическом режиме, с поддержанием коэффициента мощности на заданном уровне.

В состав каждой конденсаторной установки входит:

- 1) однопанельный электротехнический шкаф, степень защиты IP 54;
- 2) блок конденсаторов модульного типа;
- 3) блок дросселей модульного типа;
- 4) контакторы (механические) переключения конденсаторов и дросселей;
- 5) быстродействующие контакторы (электронные) переключения конденсаторов;
- 6) электронный регулятор коэффициента мощности;
- 7) устройства защиты [3].

Выше изложенные блоки и модули представлены на рисунке.

При установке конденсаторной батареи мощностью 400 кВАр изменение параметров работы оборудования составит:

- 1) средняя величина потребляемого тока снизится с 830 до 503 А;
- 2) полная потребляемая мощность снизится с 546 до 328 кВА;
- 3) коэффициент мощности повысится с 0,6 до 0,994 [4].



Конденсаторная установка типа УКМ производства ООО «Электроэкология»
(г. Москва)

При установке конденсаторной батареи мощностью 400 кВАр изменение параметров работы оборудования составит:

- 1) средняя величина потребляемого тока снизится с 830 до 503 А;
- 2) полная потребляемая мощность снизится с 546 до 328 кВА;
- 3) коэффициент мощности повысится с 0,6 до 0,994 [4].

Определим годовое снижение потребления электроэнергии подстанциями 18 «А»:

$$\begin{aligned} \Delta W_{18A} &= W_{\text{ГОД}} \times K \times (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) = \\ &= 2258 \times 0,08 \times (1,33 - 0) = 240,3 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}, \end{aligned}$$

где $W_{\text{ГОД}} = 2258,6$ тыс. кВт · ч – потребление электроэнергии подстанцией 18 «А» за 2018 г.; $K = 0,08$ – экономический эквивалент реактивной мощности, принятый для питания потребителей через две ступени трансформации напряжения (110 кВ – 10 кВ, 10 кВ – 0,4 кВ); $\operatorname{tg}\varphi_1 = 1,33$ – тангенс угла, соответствующий значению $\cos\varphi_1 = 0,6$; $\operatorname{tg}\varphi_2 = 0$ – тангенс угла, соответствующий значению $\cos\varphi_2 = 1$ [3, 4].

Определим годовое снижение потребления электроэнергии подстанциями 49 «А»:

$$\begin{aligned} \Delta W_{49A} &= W_{\text{ГОД}} \times K \times (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) = \\ &= 1269,6 \times 0,08 \times (1,3 - 0) = 132 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}, \end{aligned}$$

где $W_{\text{ГОД}} = 1269,6$ тыс. кВт · ч – потребление электроэнергии подстанцией 49 «А» за 2018 г.

Суммарное снижение потребление электроэнергии составит:

$$\Delta W = \Delta W_{18A} + \Delta W_{49A} = 240,3 + 132 = 372,3 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.}$$

Выводы. Внедряя конденсаторные установки, мы получим положительные аспекты снижения расхода электроэнергии, путём снижения загрузки силового оборудования системы электроснабжения, что способствует повышению надежности работы оборудования, при снижении потери электроэнергии на передачу реактивной энергии к месту ее потребления.

Источники

1. Спецификация Кузнечно-пресового отделения, узлов и агрегатов. Липецк, 2016. С. 10–15.

2. Вагин Г.Я., Юртаев С.Н. Выбор типа компенсирующих устройств в сетях 6, 10 кВ // Будущее технической науки: тез. докл. VIII Междунар. молодеж. науч.-техн. конф. Н. Новгород, 2009. С. 101–102.

3. Паули В.К., Воротников Р.А. Компенсация реактивной мощности как эффективное средство рационального использования электроэнергии // Энергоэксперт. 2007. № 2. С. 16–22.

4. Арриллага Дж., Дредли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах / пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.

УДК 621.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НА ПОДСТАНЦИИ

Пикалова Татьяна Константиновна¹, Зацепина Виолетта Иосифовна²

ФГБОУ ВО «ЛГТУ», г. Липецк

¹tatianapikalova@yahoo.com, ²vizats@gmail.com

В данной статье рассматривается диагностика выключателей на подстанции, а именно определение их остаточного ресурса.

Ключевые слова: выключатель, диагностика, остаточный ресурс.

DETERMINATION OF RESIDUAL LIFE OF CIRCUIT BREAKERS SUBSTATION

Pikalova Tatiana Konstantinovna, Zatsepina Violetta Iosifovna

This article discusses the diagnostics of circuit breakers at the substation, namely, determining their residual resource.

Keywords: switch, diagnostics, residual life.

Для проектирования, а также выбора коммутационного оборудования на подстанции необходимо учитывать его надежность и будущую диагностику. Главной целью диагностики выключателей на подстанции является определение их остаточного ресурса, он определяется допустимым числом срабатывания [1]. Высоковольтные выключатели являются основным электрооборудованием на подстанции, поэтому они должны быть максимально надежными, так как это может повлиять на дальнейшую работу всей подстанции [2]. Можно сказать, что проблема отказа высоковольтных выключателей является актуальной в современных условиях.

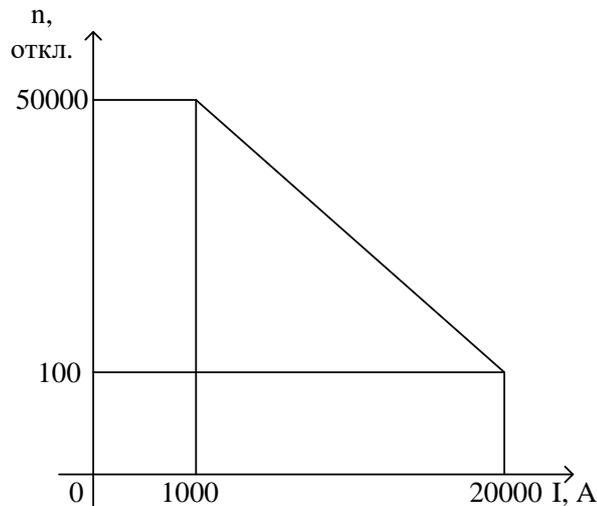
Для определения остаточного ресурса выключателей на подстанции могут использоваться данные, которые предоставляет изготовитель по числу срабатывания или же реальное состояние данного выключателя.

Одним из методов диагностики является построение кривых зависимостей допустимых отключений от тока на основании данных завода-изготовителя, таких как номинальный ток отключения ($I_{0.ном.}$, $0,3I_{0.ном.}$, $0,6I_{0.ном.}$). Ресурс считается исчерпанным при $\sum \frac{1}{n_{0I}} > 1 - \frac{1}{n_{0min}}$, где n_{0I} – допустимое количество отключений при данном токе, n_{0min} – допустимое количество отключений при наибольшем токе в месте установки выключателя.

Определим остаточный коммутационный ресурс выключателя ВВ/TEL с коммутационным модулем ISM15_LD_1. Для этого построим зависимость допустимых отключений от тока по данным, предоставленным заводом-изготовителем [3].

На данном графике количество операций при номинальном токе равно 50000, при токе короткого замыкания 100. В случае же других значений тока количество операций определяется по зависимости, представленной выше [3]. Вычислим расход коммутационного ресурса:

$$R_0 = \sum \frac{1}{n_0} = \frac{1}{50100} = 2 \cdot 10^{-5}.$$



Зависимость, определяющая остаточный ресурс выключателя

Данное значение намного меньше, нежели у, например, масляных выключателей, что является большим преимуществом и говорит о большем коммутационном ресурсе.

Достоинством данного метода является возможность прогнозирования остаточного количества операций включения-отключения на основании вероятностных данных о величине тока короткого замыкания.

Стоит упомянуть такой фактор, как проведение планово-предупредительных ремонтов, которые должны проводиться периодически для проверки выключателей, а сам выключатель должен списываться в ремонт по критерию, указанному выше, так как при недостаточном остаточном ресурсе он может прийти в неисправность до планово-предупредительного ремонта.

Источники

1. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем: учеб. пособие. Новосибирск: Издво НГТУ, 2003. Ч. 1: Теоретические основы. 256 с.
2. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Основы электроснабжения: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2012. 480 с.
3. Вакуумный выключатель ВВ/TEL-10 [Электронный ресурс]: руководство по эксплуатации. URL: https://www.tavrida.com/upload/iblock/b15/oxk2gp0i8l5f6p8btae84r8do5ns0rqm/TER_CBdoc_UG_23.pdf (дата обращения: 21.10.2019).

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Прытков Артем Владимирович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
chameleon4000@gmail.com

В данной статье рассмотрено обеспечение качества электроэнергии, основные методы регулирования напряжения и частоты.

Ключевые слова: качество электроэнергии, регулирование частоты, регулирование напряжения.

POWER QUALITY ASSURANCE

Prytkov Artem Vladimirovich

This article discusses the quality assurance of electricity, the main methods of voltage and frequency control.

Keywords: power quality, frequency control, voltage regulation.

Обеспечение качества электрической энергии (КЭ) в электроэнергетических системах и сетях была всегда актуальна. Ее правовой и нормативно-технический статус в данное время определяется рядом отраслевых и федеральных документов. Приемники электроэнергии (ПЭ) и аппараты, присоединенные к электрическим сетям, должны работать при определенных номинальных параметрах: номинальной частоте, номинальном напряжении, номинальном токе. Основными режимными параметрами, отвечающими за качество электрической энергии, считались значение частоты в электрической системе и уровни напряжения в сети.

Частота электрического тока является одним из показателей качества электрической энергии и важнейшим параметром режима энергосистемы. Значение частоты показывает текущее состояние баланса генерируемой и потребляемой активной мощности в энергосистеме. При ведении режима ЕЭС, постоянно возникают колебания баланса мощности в основном из-за нестабильности потребления, а также (гораздо реже) при отключениях генерирующего оборудования, линий электропередачи и других элементов энергосистемы. Указанные отклонения баланса мощности приводят к отклонениям частоты от номинального уровня. регулирование режима энергосистемы по частоте заключается в постоянном поддержании

планового баланса мощности путем ручного или автоматического (а чаще и того, и другого одновременно) изменения нагрузки генераторов электростанций таким образом, чтобы частота все время оставалась близкой к номинальной. При аварийных ситуациях, когда резервов генерирующего оборудования электростанций недостаточно, для восстановления допустимого уровня частоты, может применяться ограничение нагрузки потребителей.

Регулирование напряжения – его намеренное изменение в целях технически допустимых условий работы системы электроснабжения или увеличения ее экономичности. Задача регулирования напряжения – обеспечение нормальных технических условий и экономичности совместной работы электросетей и производственных механизмов. В сети каждой ступени трансформации напряжения, оно должно быть в соответствующих пределах.

Средства регулирования напряжения:

1. Регулирование напряжения генераторами станций.

Все генераторы электростанций оборудованы устройствами автоматического регулирования возбуждения (АРВ). Генератор вырабатывает номинальную активную мощность при отклонениях напряжения от номинального не более $\pm 5\%$. При больших отклонениях мощность генератора должна быть снижена, по этой причине пределы регулирования напряжения с помощью генераторов ограничены.

2. Регулирование напряжения изменением коэффициента трансформации трансформаторов.

Для регулирования напряжения с помощью трансформаторов необходимо иметь возможность изменять соотношение витков обмоток трансформаторов. Это достигается тем, что, помимо основных ответвлений обмоток, предусматривают дополнительные (регулируемые) ответвления.

Источники

1. Головкин П.И. Энергосистема и потребители электрической энергии. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. 359 с.

2. Иванов В.С., Соколов В.И., Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987. 336 с.

3. Ананичева С.С., Алексеев А.А., Мызин А.Л. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учеб. пособие. 3-е изд., испр. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 93 с.

ДИАГНОСТИКА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Соловьёва Алёна Александровна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
solovyova.alyona@mail.ru

В данной статье рассмотрена диагностика высоковольтных выключателей. Приведены мероприятия при диагностике высоковольтных выключателей и рассмотрены актуальные методы диагностики.

Ключевые слова: диагностика, высоковольтный выключатель, нормальный и аварийный режимы, дефекты.

DIAGNOSTICS OF HIGH-VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS

Solovyova Alyona Alexandrovna

This article discusses the diagnostics of high-voltage circuit breakers. Measures for diagnostics of high-voltage circuit breakers and analysis of actual diagnostic methods are given.

Keywords: diagnostics, high-voltage switch, normal and emergency modes, defects.

В зависимости от качества функционирования высоковольтных выключателей определяется степень надежности и энергобезопасность работы всей системы передачи и распределения электроэнергии в различных режимах [1].

При диагностике высоковольтных выключателей измеряются различные параметры выключателя, выявляют дефекты и целостность изоляции, производят испытание повышенным напряжением и оценку нагрева контактов [2].

На сегодняшний день наиболее актуальными в диагностике высоковольтных выключателей являются цифровые методы и устройства на микропроцессорной элементной базе, такие как интродиагностика и цифровая рентгенография [3]. Цифровая рентгенография позволяет без разбора выключателя получить полную информацию о состоянии выключателя. Вместе с интродиагностикой можно произвести полную инспекцию выключателя и сделать заключение о его состоянии. Эти методы, в первую очередь, имеют особо важное значение для

изношенного электрооборудования – масляных выключателей. Так же, тепловизионный контроль, с применением инфракрасной техники, имеет важную роль в диагностике [4]. Тепловизионные изображения, полученные в инфракрасном спектре, которые невидны человеческому глазу, позволяют без соп-рикосновения с диагностируемым выключателем получать полную инфор-мацию о распределении температуры по поверхности выключателя, выявлять увеличения температуры поверхности выключателя. Так же они несут информацию о внутренних процессах и структуре.

Источники

1. Рожкова А.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1987. 648 с.
2. Объем и нормы испытаний электрооборудования / под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. 6-е изд., с изм. и доп. М: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. 256 с.
3. Михеев Г.М. Цифровая диагностика высоковольтного оборудования. М.: Изд. дом «ДОДЭКА». 2008. 298 с.
4. Вавилов В.П. Тепловые методы неразрушающего контроля. М.: Машиностроение, 1991. 264 с.

УДК 537.529

ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯЦИИ СТАТОРА ГЕНЕРАТОРОВ И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ ИМПУЛЬСОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Сопина Юлия Валерьевна¹, Миронова Елена Анатольевна²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
julia.sjv97@yandex.ru

В статье рассмотрен электрический метод регистрации импульсов частичных разрядов. Приведены особенности установки и характеристики диагностического оборудования. А также сформулирована специфика использования и актуальность данного метода.

Ключевые слова: частичные разряды, статор, генератор, электродвигатель, электрический метод.

GENERATOR STATOR ISOLATION DIAGNOSTICS AND ELECTRIC MOTORS BASED ON PARTIAL DISCHARGE PULSE RECORDING ELECTRICAL METHOD

Sopina Julia Valerievna, Mironova Elena Anatolyevna

The article discusses the electrical method of recording partial discharge pulses. The installation features and characteristics of the diagnostic equipment are given. And also formulated the specifics of the use and relevance of this method.

Keywords: partial discharges, stator, generator, electric motor, electrical method.

Изоляционная система статора подвержена разрушению, вследствие действия частичных разрядов. Постепенно они увеличивают трещины и изломы изоляции, приводя к ее пробое. Поэтому регистрация импульсов частичных разрядов - одна из задач, которая стоит перед диагностическим персоналом.

Электрический метод выявления частичных разрядов, основан на электрической связи датчика с обмоткой генератора. Метод предназначен для выявления активности частичных разрядов для электродвигателей, гидрогенераторов, коммутирующих устройств, трансформаторов с твердым диэлектриком, турбогенераторов до 200 МВт.

Датчик представляет собой оксидно-слюдяной конденсатор емкостью 80 пФ, пропускающий импульсы ЧР высокой частоты. Диапазон улавливаемых частот варьируется от 40 до 350 МГц. Датчики устанавливаются как к токопроводу генератора, так и к коробке выводов. На каждую фазу необходимо установить по два датчика. Один к выводу генератора, а другой на линии связи объекта с системой. Расстояния кабелей между датчиками одной фазы должны быть одинаковой длины ($L_1 = L_2$), для достоверного отделения помех (см. рисунок).

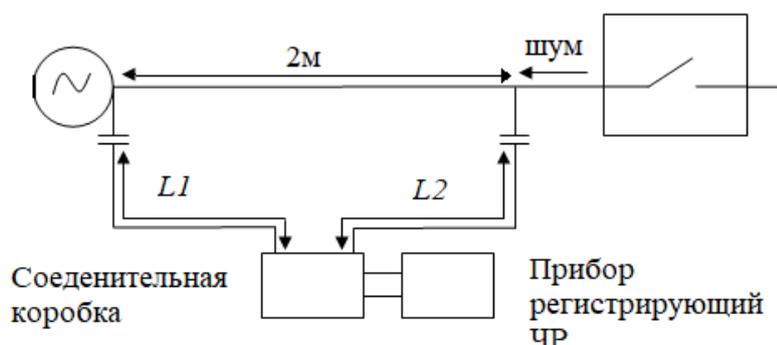


Схема размещения датчиков

Установка двух датчиков на фазу обусловлена тем, что существуют электромагнитные шумы. Их характеристики схожи с частичными разрядами. Такие помехи могут возникать в результате искрения в щетках и переключателях, частичных разрядов в другом электрическом оборудовании.

Помимо электрического метода существуют электромагнитный, акустический и ультрафиолетовый. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Они дополняют друг друга, но не являются взаимозаменяемыми.

Регистрация импульсов частичных разрядов позволяет с высокой точностью, следить за состоянием изоляции статора в режиме «online», без вывода в ремонт. Что помогает избежать аварии, выявить механизм разрушения, прогнозировать состояние, рационально распределять периоды ремонта и эффективно и безопасно использовать оставшийся ресурс изоляционной системы статора генератора.

Источники

1. Ба Бораик Абдулрахман Мохаммед. Контроль состояния изоляции обмоток статоров турбогенераторов методом частичных разрядов: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2017. 177 с.

УДК 621.311.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

Хабибуллин Ильназ Рамилевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
mr.ilnaz1996@mail.ru

В данной статье рассматривается реализация обобщенной модели солнечной панели в программной среде Matlab/Simulink, которая может быть использована для совершенствования проектирования модулей и массивов солнечных панелей (СП). Модель разработана с использованием основных уравнений фотоэлектрических солнечных элементов, которые учитывают воздействия уровня солнечного излучения и перепадов температур.

Ключевые слова: солнечная панель; моделирование; Matlab/Simulink.

SOLAR PANEL SIMULATION IN MATLAB/SIMULINK SOFTWARE ENVIRONMENT

Khabibullin Ilnaz Ramilevich

This article discusses the implementation of a generalized solar panel model in the Matlab/Simulink software environment, which can be used to improve the design of solar panel modules and arrays. The model was developed using basic equations of photovoltaic solar cells, which take into account the effects of the level of solar radiation and temperature differences.

Keywords: solar panel, modeling, Matlab/Simulink.

Создание новых эффективных фотоэлектрических элементов является одной из актуальных задач развития солнечной энергетики. В последние годы фотоэлектрические элементы используются в системах водоснабжения, насосных и кондиционерных станций в отдаленных и изолированных районах, где линии электропередач недоступны или экономически нецелесообразны. В связи с этим оценка эффективности их работы является достаточно важной. Необходимо иметь возможность определить выходные зависимости солнечных панелей (СП) под действием разнообразных факторов окружающей среды.

При отработке СП используют имитаторы солнечных батарей, позволяющие воспроизводить характеристики СП под влиянием разнообразных внешних воздействий. Определение поведения и воспроизведения характеристик солнечного элемента (СЭ) и СП осуществляется с помощью моделирования. По сравнению с экспериментом математическое моделирование представляет более быстрый, гибкий и дешевый способ отработки СП. Для воспроизведения характеристик СЭ и СП чаще всего используются аналитические модели, которые строятся на базе эквивалентной электрической схемы замещения и основного уравнения СП [1].

Солнечная панель строится из серии последовательно-параллельной комбинации фотоэлектрических солнечных элементов по эквивалентной схеме замещения, представленной на рисунке.

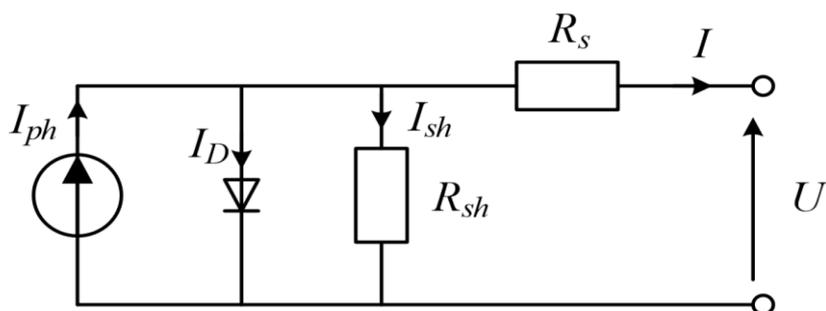
В структуру данной схемы входят следующие элементы:

1) источник тока (фототок I_{ph} – электрический ток, возникающий в фотоэлементе при воздействии света);

2) диод (в солнечных панелях в основном применяют диод Шоттки – полупроводниковый диод с малым падением напряжения при прямом включении);

3) шунтирующее сопротивление R_{sh} (характеризует дефекты и примеси полупроводникового материала, который используется в солнечном элементе) [2];

4) последовательное сопротивление R_s (характеризует рассеивание энергии в виде тепла при прохождении тока через $p-n$ переход).



Одна-диодная схема замещения солнечного элемента

Для имитационного моделирования солнечной установки применяется интерактивная среда Simulink, которая позволяет использовать уже готовые библиотеки блоков для моделирования электрических систем, а также применять развитый модельно-ориентированный подход при разработке систем управления, средств цифровой связи и устройств реального времени.

Дополнительные пакеты расширения Simulink позволяют решать весь спектр задач от разработки концепции модели до тестирования, проверки, генерации кода и аппаратной реализации. Simulink интегрирован в среду Matlab, что позволяет использовать встроенные математические алгоритмы, мощные средства обработки данных и научную графику.

Источники

1. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент / пер. с англ.; под ред. М.М. Колтуна. М.: Энергоатомиздат, 1987. 280 с.

2. Шарифов Б.Н., Терегулов Т.Р. Моделирование солнечной панели в программе MATLAB/Simulink // Вестник УГАТУ. 2015. № 4. С. 77–83.

УЧЁТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 0,4 КВ

Хабиева Альфия Раилевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань
alfiyusha96@mail.ru

В статье рассматривается проблема потерь электроэнергии в распределительных сетях и ее решение. Описаны действия, которые будут проводиться по внедрению автоматизированных систем в электроэнергетическую сферу города Нягани.

Ключевые слова: автоматизированная система коммерческого учета электрической энергии, учет электроэнергии, приборы учета, АСКУЭ.

METERING OF ELECTRICITY IN THE DISTRIBUTION NETWORK OF 0,4 KV

Khabieva Alfiya Railevna

The article discusses the problem of electricity losses in distribution networks and its solution. The actions that will be carried out to introduce automated systems into the electric power sector of the city of Nyagan are described.

Keywords: automated system for commercial accounting of electric energy, electricity metering, metering devices, ASKUE.

Одной из главных проблем энергосбережения является задача сокращения потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях. Эти потери подразделяются на технические и коммерческие. В сфере учёта электрической энергии, и в особенности в распределительных сетях напряжением 0,4 кВ, отсутствует достоверная информация о величинах отпускаемой потребителю электроэнергии и нагрузках. Уровень потерь электроэнергии в распределительных сетях 0,4 кВ определяется в основном коммерческой составляющей, которая значительно выше технической составляющей потерь [1]. Уровень технических потерь определяется расчётным путём с приемлемой достоверностью. Расчет коммерческих потерь электроэнергии осуществляется как разница между полными потерями и техническими. Определить точный уровень коммерческих потерь в распределительных сетях 0,4 кВ весьма сложно и трудоемко при существующей системе учёта электроэнергии. Низкий уровень функциональности подразделений энергосбыта, а также человеческий фактор влияют на увеличение ошибок при снятии показаний

с приборов учета электроэнергии, часто происходит умышленная фальсификация записей либо показания вообще не снимаются с труднодоступных счетчиков. Также имеет место тот факт, что формой расчетов с абонентами традиционно является давно не соответствующее времени «самообслуживание», при котором абонент самостоятельно контролирует показания счетчика, рассчитывает стоимость потребления электроэнергии и производит оплату. У ряда потребителей электроэнергии в бытовом секторе приборы учета электроэнергии могут отсутствовать. В таком случае энергоснабжающая организация выставляет счет на оплату сообразно размеру жилплощади и количеству проживающих. В результате этого потребитель может неограниченно расходовать электроэнергию поскольку ежемесячная плата не зависит от объема потребленной электроэнергии, что ведет к увеличению коммерческих потерь. Всё это приводит к перерасчетам электроэнергии у потребителей и некорректному анализу баланса электрической сети напряжением 0,4 кВ. Исходя из выше сказанного можно выделить основные технические недостатки существующей системы построения распределительных электрических сетей: приборы учета установлены в помещениях, что осложняет контроль счетчиков, умышленно вскрытая электропроводка и использование скрытых безучетных подключений.

В современных распределительных сетях 0,4 кВ уровень потерь обусловленный коммерческой составляющей значительно превышает допустимый уровень потерь, установленный региональной энергетической комиссией [2]. Более того, не всегда энергоснабжающая организация может достоверно определить величину этих потерь при существующих технических средствах учета электроэнергии. Поэтому в распределительных сетях с большим количеством потребителей использование современных автоматизированных систем учета электрической энергии в значительной степени повышает эффективность сбора информации об объемах полученной и отпущенной электрической энергии, а также об уровне потерь на каждом присоединении.

Потери электроэнергии в распределительных сетях не обходят стороной и различные регионы. Объектом исследования и предложения является распределительная сеть 0,4 кВ города Нягань, Тюменской области. На сегодняшний день нами проводятся исследования на возможность внедрения автоматизированных систем и снижении энергопотребления. Исследуются различные каналы связи, их преимущества и недостатки, приборы учета электроэнергии и их цена, для того чтобы правильно и эффективно снизить энергетические потери. Мы сделали запрос в администрацию города и городские сети, анализируем полученные схемы, и в конце нашей работы выдадим проект

со сметной стоимостью внедрения этой системы. Но пока не обладаем данными по потерям в различных участках, но готовы к содействию, чтобы рассчитать и срок окупаемости.

Установка АСКУЭ не позволяет сократить полностью потери электроэнергии в сетях. АСКУЭ как техническое решение позволяет сократить коммерческие потери, обусловленные человеческим фактором, связанным с несовершенством контроля счетчиков установленных у потребителей. Так же АСКУЭ предоставляет объективную информацию о потерях электроэнергии и является инструментом сбора информации для выявления возможных проблем в учете электроэнергии, позволяет определить возможные факты безучетного потребления, хищения электроэнергии. Эта система является, главным образом, средством для анализа эффективности функциональности сетей распределения электроэнергии [3].

Источники

1. Воротницкий В.Э., Апраткин В.Н. Коммерческие потери электроэнергии в электрических сетях. Структура и мероприятия по снижению [Электронный ресурс] // Новости электротехники. 2002. № 4. URL: <http://news.elteh.ru/arh/2002/16/09.php> (дата обращения: 22.10.2019).

2. Сапронов А.А. Анализ структуры коммерческих потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. № 4. С. 47-49.

3. Овчинников А.Г. Потери электроэнергии в распределительных сетях 0,4–6(10) кВ [Электронный ресурс] // Новости электротехники. Информационно-справочное издание. 2002. № 6 (18). URL: http://news.elteh.ru/arh/2003/18_19/08.php (дата обращения: 22.10.2019).

УДК 621.3.072.85

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ РАБОТЕ НА ОБЩУЮ НАГРУЗКУ С ПОМОЩЬЮ СЕТИ КОХОНЕНА

Юдин Алексей Викторович

РГАТУ имени П.А. Соловьёва, г. Рыбинск

judinav@mail.ru

В статье рассмотрено применения самоорганизующейся сети Кохонена в качестве элемента интеллектуальной энергетики (Smart Grid). В среде MatLab проведено обучение нейронной сети, описывающей токи в обмотках трансформаторов работающих на общую нагрузку и показан пример ее применения для классификации состояния трансформаторов.

Ключевые слова: сеть Кохонена, параллельное включение трансформаторов, интеллектуальная энергетика, токи выравнивания, MatLab.

FORECASTING THE OPERATING MODE OF TRANSFORMERS WHEN WORKING ON COMMON LOADS USING THE KOHONEN NETWORK

Aleksej Viktorovich Yudin

The article discusses the use of Kohonen's self-organizing network as an element of intelligent energy (SmartGrid). In the environment of Matlab, a neural network was trained that describes the currents in the windings of transformers operating at a common load and an example of its application for classifying the status of transformers is shown.

Keywords: Kohonen network, parallel connection of transformers, intelligent energy, equalization currents, MatLab.

Необходимость параллельной работы двух или более трансформаторов часто обусловлена: ростом нагрузки, которая превышает мощность существующего трансформатора, недостатком места (высоты) для одного большого трансформатора, мерами безопасности (возможность отказа обоих трансформаторов одновременно очень мала), применением трансформаторов стандартного размера во всей электроустановке.

При этом допускается разница коэффициентов трансформации в пределах до 0,5 %. Несоблюдение этих норм способно привести к возникновению больших уравнивающих токов в обмотках, которые ведут к значительному снижению технического ресурса трансформатора [1] и даже возникновению аварийной ситуации [2]. Но даже при условии выравнивания коэффициентов трансформации могут существовать уравнивающие токи за счет неравенства ЭДС, значения которых известны только в процессе эксплуатации. Для прогнозирования режимов работы трансформаторов в этом случае может быть использована нейронная сеть Кохонена. Карты Кохонена имеют набор входных элементов, количество которых совпадает с размерностью подаваемых на вход векторов, и набор выходных элементов, каждый из которых соответствует одному кластеру.

В рассматриваемом случае с двумя трансформаторами работающими на общую нагрузку (рис. 1) в качестве таких признаков могут выступать токи ветвей (I_3, I_4, I_1, I_2), а в качестве выходных состояний можно задать три кластера, условно определяемые как: перегружен трансформатор 1, оба трансформатора в номинальном режиме, перегружен трансформатор 2.

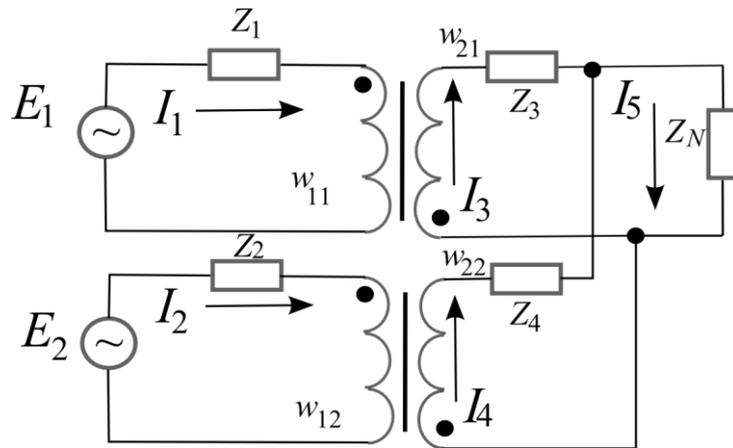


Рис. 1. Схема включения трансформаторов на общую нагрузку

Нейронная сеть может быть реализована в среде Matlab, для обучения использовался набор данных Z , полученный по модели рассмотренной в [3]. Сеть содержит всего три нейрона, активация одного из которых соответствует выводу о текущем режиме. Обучение производится скриптом:

```
Z=[I3; I4; I1; I2];
net = newsom(Z,[1 3],'gridtop');
net.trainParam.epochs = 300; % количество тактов обучения
net = train(net, Z); plotsompos(net,Z);
```

На рис. 2, а приведен результат обучения, отражено значение весовых коэффициентов нейронов и связи между ними. Для тестирования обученной сети формируется тестовая выборка и реализуется скрипт:

```
z=[1; 2; 0.5; 0.5];%тестовая комбинация
a = sim(net,z);
k=find(a==1);d = net.IW{1}(k,:) % координаты центра кластера
plot(Z(1,:),Z(2,:), 'o',d(1),d(2), '*r'); grid; xlabel('I3, A');
ylabel('I4, A');
```

На рис. 2, б приведен пример тестового распознавания состояния z , окружностями показаны исходные данные, символом «*» – тестовая комбинация.

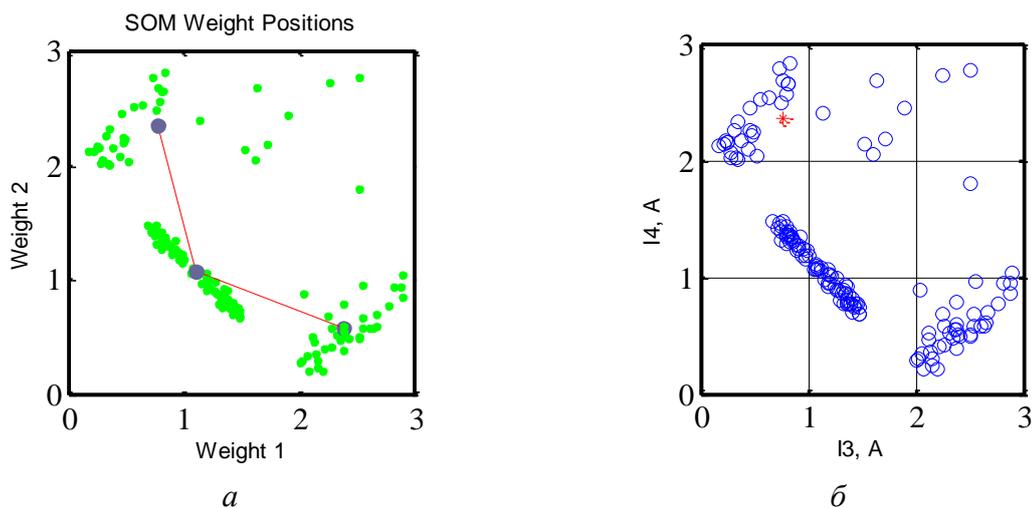


Рис. 2. Результаты обучения и тестирования

Источники

1. Математическая модель технического ресурса трансформатора с учётом воздействия электродинамических сил на изоляцию / В.В. Лозовский [и др.] // Вестник Московского авиационного института. 2010. Т. 17, № 6. С. 5.
2. Рак А.Н., Корощенко А.В. Особенности режима параллельной работы трансформаторов при различных схемах соединения // Взрывозащищенное электрооборудование. 2016. № 1. С. 46–50.
3. Юдин А.В., Юдин В.В., Клинов Д.С. Анализ механических сил взаимодействия при параллельной работе трансформаторов // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2018. № 4 (47). С. 124–129.

Секция 10. ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ В ЖКХ

УДК 621.187

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ДЕАЭРАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Аминов Руслан Рустамович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
aminov.ruzzlan96@gmail.com

В статье приведены общие сведения об обработке воды, приведена схема деаэрационной установки атмосферного давления типа ДА, и описан принцип ее работы.

Ключевые слова: обработка воды, деаэрация, природный газ, энергетическая эффективность.

APPLICATION OF NATURAL GAS IN ATMOSPHERIC PRESSURE DEAERATION PLANT

Aminov Ruslan Rustamovich

The article provides General information about water treatment, shows the scheme of deaeration installation of atmospheric pressure of type YES and describes the principle of its operation.

Keywords: water treatment, deaeration, natural gas, energy efficiency.

На любом предприятии и промышленном объекте водоочистка играет очень важную роль. В теплоэнергетике надежная и экономически эффективная эксплуатация оборудования ТЭС напрямую зависит от качества обработки воды. Последним этапом приготовления питательной воды для паровых котлов является удаление из нее агрессивных газов, данный процесс известен как деаэрация [1]. Для повышения эффективности выработки электроэнергии при тепловом потреблении, а именно за счёт отбора пара на подогрев потоков химически очищенной и деаэрированной воды, деаэрацию воды следует осуществлять при минимально возможной температуре этих теплоносителей, что является особенно актуальным для открытых систем теплоснабжения с большими расходами подпиточной воды. Одной из основных ролей в теплоэнергетических установках является подбор и использование оптимального метода деаэрации воды,

что влияет на технико-экономические показатели работы установки. Проблема увеличения экономической эффективности и энергосбережения является ключевой на сегодняшний день.

Для повышения тепловой экономичности возможно использование новых технологий низкотемпературной деаэрации подпиточной воды теплосети [2]. Рассмотрим схему деаэрационной установки атмосферного давления (см. рисунок).

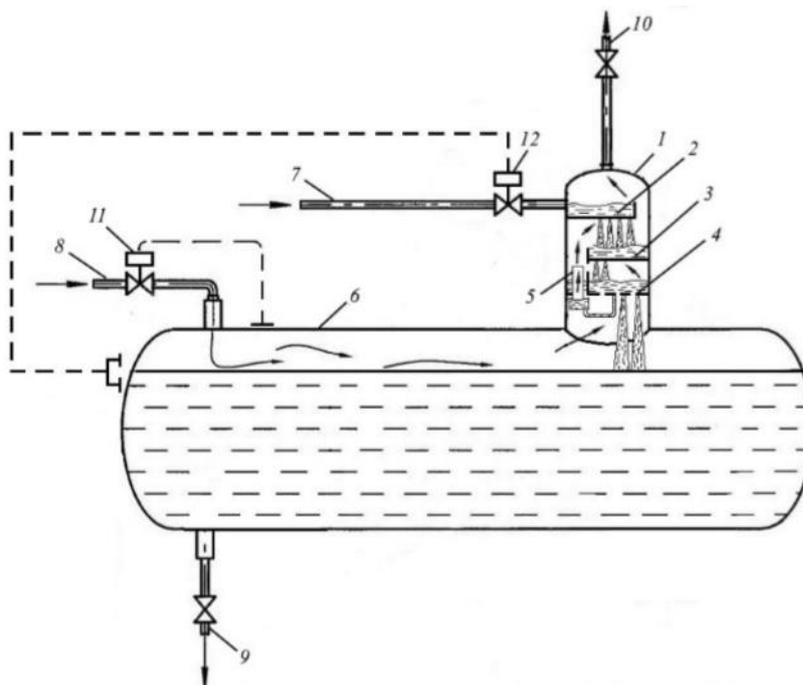


Схема деаэрационной установки атмосферного давления типа ДА:

- 1 – деаэрационная колонка; 2 – верхняя тарелка; 3 – перепускная тарелка;
- 4 – барботажная тарелка; 5 – перепускное устройство; 6 – деаэрационный бак;
- 7 – подвод деаэрируемой воды; 8 – подвод природного газа; 9 – отвод деаэрированной воды;
- 10 – отвод газа в горелки котла; 11 – регулятор давления; 12 – регулятор уровня

Рассмотрим принцип работы деаэрационной установки атмосферного типа на природном газе. Через подвод 7 химически очищенная вода поступает на верхнюю тарелку 2 деаэрационной колонны 1. Далее вода стекает на перепускную тарелку 3, расположенную ниже, откуда струей сливается на барботажную тарелку 4. Проходя через барботажную тарелку, деаэрированная вода после взаимодействия с природным газом сливается в деаэрационный бак 6, где далее отводится по отводу 9 из деаэратора. Природный газ, подвергающий воду интенсивной обработке при прохождении через барботажные тарелки, подается в деаэрационный бак через подвод природного газа 8, далее поступает в деаэрационную колонну. После низкотемпературной деаэрации воды в деаэрационной колонне

с использованием в качестве десорбирующего агента, не содержащего в своем составе диоксида углерода природного газа и кислорода, подаваемого в топку котлов электростанции, использованный газ отводится в горелку котла через патрубок 10 [3].

Использование деаэраторов является необходимым, так как отопительная система должна быть эффективной, иметь долгий срок службы и отвечать всем предъявляемым к ней требованиям.

Источники

1. Шарапов В.И., Пазушкина О.В., Кудрявцева Е.В. Массообменная и энергетическая эффективность низкотемпературной деаэрации воды на тепловых электростанциях // Труды Академэнерго. 2014. № 3. С. 48–56.

2. Виноградов В.Н., Ледуховский Г.В., Шатова И.А. Особенности организации воднохимического режима тепловых сетей средствами химической обработки и деаэрации воды // Вестник ИГЭУ. 2006. № 4. С. 19–23.

3. Шарапов В.И., Кудрявцева Е.В., Пазушкина О.В. Массообмен и гидродинамика деаэраторов ТЭС при использовании в качестве десорбирующей среды природного газа // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. № 1-2. С. 86–94.

УДК 620.9

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЖКХ

Володин Евгений Александрович¹, Быкович Дмитрий Александрович²

ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара

¹evolodin1@yandex.ru, ²bykovich1079@gmail.com

В работе рассмотрены вопросы влияния различных типов тепловой изоляции на величину тепловых потерь через стены жилых зданий и получаемый экономический эффект от применения.

Ключевые слова: базовое термическое сопротивление, ЖКХ, ограждающая конструкция, тепловые потери, монтажные работы, отопительный период, срок окупаемости, серия домов.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT TYPES OF INSULATION FOR HOUSING OBJECTS

Volodin Evgeny Alexandrovich, Bykovich Dmitry Alexandrovich

The paper considers the impact of various types of thermal insulation on the amount of heat loss through the walls of residential buildings and the resulting economic effect from the application.

Keywords: basic thermal resistance, housing and communal services, building envelope, heat loss, installation work, heating period, payback period, series of houses.

Главным критерием энергоэффективности зданий является количество потребляемой ими энергии при эксплуатации. Современные здания в настоящее время строятся с учетом требований к энергосбережению и энергоэффективности. Однако значительную долю жилого фонда составляют здания, построенные в прошлом веке, которые имеют большие величины тепловых потерь.

Значительную долю тепловых потерь здания составляют потери через ограждающие конструкции (стены). Их доля может достигать более 35 % от поставляемой теплоты в дом в зависимости от площади остекления. Количество тепловых потерь через стены зависит от базового термического сопротивления R_t , ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт.

Для Самарской области принимаются следующие нормативные данные согласно СП 50.13300-2012 «Тепловая защита зданий» и ТСН 23-349-2003 «Территориальные строительные нормы Самарской области»:

- 1) количество градусо-суток отопительного периода равно 5126 суток;
- 2) средняя температура наружного воздуха за отопительный период составляет 5,5 °С;
- 3) протяженность отопительного периода – 201 сутки;
- 4) базовое термическое сопротивление ограждающих конструкций (стен) $R_t = 3,19$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт (табл. 1).

Увеличение термического сопротивления с помощью теплоизоляционных материалов является единственным экономически рациональным способом приведения соответствия ограждающих конструкций к современным требованиям нормативной документации.

Фактические термические сопротивления для различных типов зданий

Серия дома	Материал стен	Толщина стены, мм	Термическое сопротивление теплопередаче стены R_t , (м ² ·°С)/Вт
1-464	Железобетон	280–350	0,2
П-68-02/12к	Керамзитобетонные блоки	400	1,54
1-447	Кирпич семищелевой или пористо дырчатый	380–400	0,60

Основными типами современной изоляции являются:

- 1) пенополиуретан;
- 2) стекловата;
- 3) пенопласт.

Все три типа имеют различные коэффициенты теплопроводности, эксплуатационные и монтажные особенности. Рассмотрим их с точки зрения сопротивления тепловой энергии и срока окупаемости, на примере здания серии 1-464.

Тепловые потери за один отопительный период через все ограждающие конструкции, включая инфильтрацию, 4-секционного дома серии 1-464 с суммарной площадью 1847 м² составляют:

- а) без применения теплоизоляционных материалов – 1135,2 Гкал;
- б) с применением пенополиуретана толщиной 100 мм, что соответствует нормам базового сопротивления теплопередачи 705,4 Гкал;
- в) с применением стекловаты толщиной 150 мм, что соответствует нормам базового сопротивления теплопередачи 712,4 Гкал;
- г) с применением пенопласта толщиной 150 мм, что соответствует нормам базового сопротивления теплопередачи 712,4 Гкал.

Таким образом, можно сделать вывод, что при достижении термического сопротивления R_t современным требованиям количество тепловых потерь снизится для здания данной серии на 430 Гкал за отопительный период.

Срок окупаемости (табл. 2) применения тепловой изоляции можно определить по формуле:

$$K = \frac{\sum \text{затрат}}{S} = \frac{(C_{\text{из}} + C_{\text{м}})}{Q_{\text{п}} \cdot C_{\text{Гкал}}},$$

где K – срок окупаемости, лет; $C_{\text{из}}$ – стоимость изоляционных материалов для изолирования здания, руб.; $C_{\text{м}}$ – стоимость монтажа изоляции на здание, руб.; $Q_{\text{п}}$ – количество сэкономленной тепловой энергии, Гкал; $C_{\text{Гкал}}$ – стоимость гигакалории, руб.

Таблица 2

Сроки окупаемости различных видов теплоизоляционных материалов

Вид теплоизоляционного материала	Величина затрат на тепловую изоляцию и монтаж \sum затрат, руб.	Стоимость сэкономленной тепловой энергии S , руб.	Срок окупаемости, лет
Пенополиуретан	5 157 290	543 520	9,5
Стекловата	2 309 305	543 520	4,25
Пенопласт	1 871 661	543 520	3,44

Исходя из выше полученных данных, можно сделать вывод, что дополнительная тепловая изоляция зданий снижает величину потерь через стену на 40 %, повышает энергоэффективность зданий и имеет положительный экономический эффект.

Источники

1. СП 50.13330-2012. Тепловая защита зданий [Электронный ресурс]: утв. приказом Министерства регионального развития Рос. Федерации от 30 июня 2012 г. № 265. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095525> (дата обращения: 27.10.2019).

2. ГОСТ 30494-2011. Межгосударственный стандарт здания жилые и общественные. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.

ТЕХНОЛОГИИ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКИ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

Яхшыгулова Регина Рафисовна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
yakhshygulova96@mail.ru

В статье рассмотрены зарубежные технологии бестраншейной прокладки старых инженерных сетей городов и поселений, а также необходимость и перспективность их применения в России. Проведен сравнительный анализ наиболее распространенных бестраншейных технологий ремонта трубопроводов для больших городов в условиях плотной городской застройки и загруженности автомагистралей. Представлены практические рекомендации по внедрению экономически эффективных технологий бестраншейного ремонта, позволяющих производить восстановительные работы инженерных сетей через смотровые колодцы без нарушения городского ландшафта и перекрытия движения транспорта.

Ключевые слова: бестраншейные технологии, инженерные сети, ремонт трубопроводов, реновация, труба.

TECHNOLOGIES OF TRENCHLESS LAYING OF ENGINEERING NETWORKS

Yakhshygulova Regina Rafisovna

The article discusses foreign technologies of trenchless laying of old engineering networks of cities and settlements, as well as the necessity and prospects of their application in Russia. A comparative analysis of the most common trenchless pipeline repair technologies for large cities under dense urban development and traffic congestion was carried out. Practical recommendations on the implementation of cost-effective technologies for trenchless repair, allowing reconstruction work of utility networks through inspection wells without disturbing the urban landscape and blocking traffic.

Keywords: trenchless technologies, engineering networks, pipeline repair, renovation, pipe.

В больших городах различных стран все больше внимания уделяется вопросам использования инновационных бестраншейных технологий для прокладки инженерных сетей, а также восстановления (санации) старых

трубопроводов, что является экономичной и надежной альтернативой традиционному открытому способу строительства и реконструкции трубопроводов [1]. В передовой зарубежной практике до 95 % объема работ по прокладке и реконструкции подземных коммуникаций производится с применением бестраншейных технологий, при которых вскрытие земной поверхности минимально, что дает возможность сохранения экологической обстановки в первоначальном состоянии [2].

Существует условное разделение всех бестраншейных технологий на две основные группы: бестраншейные методы прокладки новых наружных сетей и технологии бестраншейной реновации (ремонта, замены и восстановления) имеющихся инженерных коммуникаций [3, 4].

В соответствии с классификацией методов строительства подземных коммуникаций закрытым способом, приведенной в СП [5], рассматриваемые бестраншейные технологии делятся на пилотируемые и непилотируемые. Пилотируемые технологии требуют постоянного присутствия персонала внутри прокладываемой коммуникации в сравнении с непилотируемыми.

Бестраншейные технологии с учетом сравнительно невысокой стоимости отечественных полимерных трубопроводов позволяют достичь весьма умеренной стоимости работ по прокладке инженерных коммуникаций, сопоставимой по трудозатратам и сметной стоимости с прокладкой нового трубопровода открытым способом. Однако с учетом использования весьма дорогостоящего, как правило, импортного монтажного оборудования [6], необходимостью проведения проектно-изыскательских и подготовительных работ на каждом участке, а также стоимостью дополнительных работ и повышающих коэффициентов, связанных с трудностью выполнения этой работы в условиях плотной городской застройки, прокладка новых сетей бестраншейными методами часто оказывается нерентабельной. Более того, конечная стоимость строительства одного метра нового трубопровода в центре крупного города может достигать десяти- и более кратного размера стоимости прокладки аналогичного трубопровода за пределами города.

Поэтому широкое распространение в строительной практике получили бестраншейной реновации [1].

К этой группе относятся:

1. Неуправляемый прокол с разрывом или разрезом, состоящий в разрушении старого изношенного трубопровода с сохранением или увеличением его диаметра.

2. Слиплайнинг, т. е. протаскивание нового трубопровода внутри старого с заполнением кольцевого зазора между ними тампонажным раствором; метод гибкого рукава – протаскивание полимерного рукава внутри изношенной трубы с последующим его отверждением различными методами с незначительным уменьшением внутреннего диаметра.

3. Модифицированный слиплайнинг – протаскивание внутри изношенного трубопровода новой полимерной трубы с предварительно деформированным поперечным сечением для уменьшения диаметра и последующим восстановлением ее первоначальной формы внутри старой трубы при незначительном изменении внутреннего диаметра без межтрубного пространства.

4. Формирование новой тонкостенной полимерной оболочки внутри старой изношенной трубы из специально профилированной усиленной ПВХ-ленты с уменьшением внутреннего диаметра и наличием межтрубного пространства, заполняемого бетонной смесью.

5. Нанесение на предварительно очищенную внутреннюю поверхность старого трубопровода центробежным набрызгом различных защитных водонепроницаемых покрытий из цементно-песчаного раствора, кислото- и щелочнупорных полимерных материалов при незначительном уменьшении диаметра восстанавливаемого трубопровода.

Бестраншейные технологии восстановления инженерных сетей являются капитальным ремонтом существующих трубопроводов, поэтому не требуют проведения проектно-изыскательских работ, дополнительных затрат по подготовке строительного участка, так как работы выполняются из существующих колодцев, а также экспертизы проекта и других согласований и финансовых вложений, необходимых при новом строительстве.

Таким образом, внедрение бестраншейных технологий ремонта инженерных сетей является на сегодняшний день наиболее актуальным и экономически оправданным для городских коммунальных служб.

Источники

1. Анализ технологии реновации водопроводных и водоотводящих трубопроводов / М.А. Авдеева [и др.] // Вестник ПНИПУ. 2014. № 4 (16). С. 84–106.

2 Храменков С.В. Стратегия модернизации водопроводной сети. М.: Стройиздат, 2005. 398 с.

3. Пупырев Е.И., Примин О.Г. Водная отрасль России: проблемы и решения // Коммунальный комплекс России. 2012. № 5. С. 8–12.

4. Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А. Реконструкция трубопроводных систем. М.: АСВ, 2008. 215 с.

5. СП 249.1325800.2016. Коммуникации подземные. Проектирование и строительство закрытым и открытым способами [Электронный ресурс]: утв. приказом Министерства строительства и ЖКХ Рос. Федерации от 8 июля 2016 г. № 485/пр. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200138447> (дата обращения: 27.10.2019).

6. Продоус О.А. Рекомендации по выбору способа и подбору технологического оборудования для бестраншейного ремонта инженерных сетей: метод. указания. СПб.: НИИ АКХ им. К. Д. Памфилова, 2004. 51 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТЭК И ЖКХ

<i>Аль-Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е.В., Миллер В.В.</i> Обследование беспилотных наземных транспортных средств для роботехники в случае бедствий: основные проблемы и направления.....	3
<i>Байнева И.И., Лычагин И.А.</i> Светодиодные лампы-ретрофиты.....	6
<i>Байнева И.И.</i> Компьютерные технологии светотехнического производства	10
<i>Галиева Э.И., Смирнова С.В.</i> Структурное построение системы контроля и утечки газов в ЖКХ.....	13
<i>Догадкин В.Н.</i> Выбор материалов для деталей приборов	18
<i>Игнатьева О.А., Абдуллин И.И., Сайткулов И.А.</i> Особенности ценообразования на коммунальные услуги в России и за рубежом	21
<i>Кузнецова С.В.</i> Метод обратной задачи динамики при синтезе управления движением рабочего органа сборочного робота	26
<i>Куклин П.А.</i> Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом очистки воды на ОАО «ЯМАЛ СПГ»	30
<i>Цыбрий И.К., Симоненко Н.И.</i> Система предварительной обработки сигнала в приборе для контроля коэрцитивной силы твердых сплавов.....	33

Секция 2. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В ТЭК И ЖКХ

<i>Авдеева В.Ю., Валиуллина Д.М.</i> Мероприятия по снижению потерь электрической энергии в распределительных сетях.....	38
<i>Акопов В.С., Салова И.А.</i> Исследование влияния материала водопроводных труб на процессы теплообмена в них	40
<i>Альзаккар Ахмад, Алхадж Хассан Фуад.</i> Исследования влияния нетрадиционных источников питания на показатели качества электроэнергии	43

<i>Анисимов В.А., Валуллина Д.М.</i> Виды контроля технического состояния трансформатора и трансформаторного масла.....	46
<i>Артыкаева Э.М.</i> Энергоресурсосберегающее электрооборудование станков-качалок нефти	49
<i>Афанасьев А.Ю., Морозов Д.С.</i> Применение неодимовых магнитов для электродвигателей.....	52
<i>Афанасьев А.Ю., Студнева Е.Е.</i> Магнитный редуктор	55
<i>Васянов В.В., Галяутдинов А.А.</i> Микропроцессорное управление цифровым следящим электроприводом.....	58
<i>Ву Нгок Зан, Новиков В.Ф.</i> Проблема оценки старения бумажной изоляции в процессе эксплуатации силовых трансформаторов	60
<i>Галиуллина Э.Р., Зарипова Р.С.</i> Инновации в автоматизированной системе коммерческого учёта электроэнергии	62
<i>Гарипова А.М., Козлов В.К.</i> Оптический метод определения степени полимеризации бумажно-масляной изоляции	67
<i>Гельвер Ф.А.</i> Конструкции ротора реактивной электрической машины с анизотропной магнитной проводимостью ротора	70
<i>Глазырин Г.В., Митрофанов Н.А.</i> Моделирование переходных процессов в автономной энергосистеме с несимметрией фазных обмоток статора генератора	74
<i>Грачева Е.И., Алимова А.Н.</i> Оценка надежности контактных соединений оборудования низкого напряжения.....	79
<i>Гумерова Р.Х., Молостов И.А.</i> Математическая модель и схема замещения преобразователя частоты	84
<i>Денисова А.Р., Аманова Г.А.</i> Вопросы надежности и эффективной эксплуатации электротехнических систем и способы ее повышения	87
<i>Димукашева Г.Е.</i> Тенденции развития и пути совершенствования современных систем электропривода	90
<i>Додарбеков У.А., Мухаметгалеев Т.Х.</i> Электроснабжение микрорайона «Октябрьский» г. Киров с учетом влияния несинусоидальности напряжения из-за действия частотных преобразователя на работу силовых и осветительных приемников.....	92
<i>Дуров Р.С., Варнакова Е.В., Кобзев К.О.</i> Актуальные проблемы асинхронного электропривода и методы их решения.....	95

<i>Дуров Р.С., Варнакова Е.В., Кобзев К.О.</i> Особенности развития современного электрического привода.....	100
<i>Дуров Р.С., Варнакова Е.В., Кобзев К.О.</i> Электропривод, его состояние и перспективы	105
<i>Зубков П.С., Карасев А.В., Таланов М.В.</i> Моделирование в PSIM регулируемого пуска синхронного двигателя с постоянными магнитами в составе вентильного электропривода	109
<i>Кулаев Н.А., Волкова А.А.</i> Моделирование динамического режима работы АДКЗ с векторным управлением в MatLab/Simulink	112
<i>Миннебаев Б.Ф.</i> Основные конструктивные особенности и технические характеристики газовой турбины класса н типа 9НА.01	114
<i>Нгуен Ван Ву.</i> Разработка аппаратной части для эмуляции катушек зажигания двигателя внутреннего сгорания.....	116
<i>Нгуен Зуи Хынг, Новиков В.Ф.</i> Определение антиокислительной присадки в трансформаторном масле	119
<i>Новожилов В.В., Губаева О.Г.</i> Автоматизация процесса по выявлению феррорезонанса на линиях 110 кВ при неполнофазном включении	121
<i>Опейко О.Ф.</i> Управление насосным агрегатом с ПИД-регулятором.....	123
<i>Рудаков А.И., Фаттахов И.И.</i> Кодовый замок на основе промежуточных реле и реле времени.....	127
<i>Рыбак А.Т., Цыбрий И.К., Зенин А.Р.</i> Рекуперация энергии при ресурсных испытаниях гидравлических цилиндров.....	129
<i>Рюмин Е.В., Якунин А.Н.</i> Исследование влияния преобразователей частоты на электродвигатели объектов нефтяной промышленности.....	136
<i>Саушев А.В.</i> Информационно-энергетическая модель для управления состоянием электротехнических систем объектов водного транспорта ...	139
<i>Сиражетдинов А.И., Губаева О.Г.</i> Автоматизация процесса по выявлению феррорезонанса в РУ 220–500 кВ.....	141
<i>Титарева Е.Р.</i> Перспективы применения газопоршневой электростанции на действующем предприятии	144
<i>Фазахутдинова А.Р., Федоров Е.Ю.</i> Компоновка силовых шкафов системы электроснабжения предприятия	146
<i>Шадьбаев Н.М., Кисляков В.Л., Федоров Е.Ю.</i> Система электроснабжения газоперекачивающего агрегата.....	149

<i>Шайдуллин А.Ф., Мухаметгалеев Т.Х.</i> Электромагнитная совместимость частотного привода кривошипного пресса с питающей сетью цеха	152
<i>Шамсиев И.А.</i> Проектирование индукционной системы нагрева трубопровода	154
<i>Штин А.А., Сергеев К.Ф.</i> Обзор технических характеристик синхронного двигателя на постоянных магнитах	156

Секция 3. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЭК И ЖКХ

<i>Бабиков О.Е.</i> Достоинства профилированных ионообменных мембран в отличие от плоских в электродиализных установках	159
<i>Бадриев А.И., Шарифуллин В.Н., Власов С.М.</i> Управление башенной градирней в процессе неоднородности охлаждения воды.....	161
<i>Безкостый М.А., Зиганшин М.Г.</i> Сравнение программных продуктов для BIM-технологий при разработке инженерных систем строительных объектов	164
<i>Власов С.М.</i> Исследование процессов предобработки исходной воды щелочением на лабораторном стенде системы оборотного охлаждения ТЭС.....	167
<i>Власова А.Ю.</i> Влияние водородного показателя на утилизацию кислых сульфатсодержащих отработанных регенерационных раствором водоподготовительных установок ТЭС методом нейтрализации.....	170
<i>Гиниятуллин Э.Р., Зиганшин М.Г.</i> Утилизация теплотерь через пол первого этажа здания	173
<i>Демина Ю.Э., Кудинов А.А.</i> Сравнительный анализ рассеивания загрязняющих веществ при различных способах удаления дымовых газов	176
<i>Иванова И.В., Бакрунова Т.С.</i> Нетрадиционные источники энергии в ЖКХ.....	179
<i>Игнатьев К.А., Зиганшин М.Г.</i> Способы устранения обмерзания рекуператора.....	181
<i>Камалов Р.Ф., Здор В.О.</i> Снижение вязкости мазута с помощью теплового воздействия и ультразвуковой обработки	184

<i>Карпов Д.Ф.</i> Виды энергоаудита и энергосберегающих мероприятий в жилищно-коммунальном хозяйстве и топливно-энергетическом комплексе	187
<i>Кудинов А.А., Зиганишина С.К., Хусаинов К.Р.</i> Повышение экономичности парогазовой установки с промежуточным перегревом водяного пара.....	192
<i>Муртазина Г.Р.</i> Нормы расхода тепла на отопление главного корпуса ТЭЦ-1 г. Казани	195
<i>Назмутдинова Л.А., Зиганишин М.Г.</i> Использование BIM-моделирования при проектировании сложных объектов	197
<i>Напалков И.В., Клопов С.В., Карпов Ф.Д., Писаренко К.В.</i> Некоторые результаты тепловизионного обследования производственного здания ЗАО «Вологодский хлебокомбинат».....	201
<i>Ростунцова И.А.</i> Эффективность применения гибридных установок на АЭС	206
<i>Ростунцова И.А., Ливанова Т.В.</i> Обеспечение ядерной безопасности отработавшего топлива АЭС.....	210
<i>Ростунцова И.А., Зебров В.Ю.</i> Повышение эффективности мощных конденсационных энергоблоков.....	214
<i>Рочева О.А., Шарипова Ф.Р., Шамсемухаметов А.А.</i> Мероприятия по совершенствованию процесса управления благоустройством в городах-миллиониках: зарубежный опыт управления сферой благоустройства муниципальных образований	217
<i>Самойлов В.Е.</i> Изменение полного и статического давления окружной и осевой составляющей скорости в зоне сопла пассивного газа двухкамерного ПВЭ.....	222
<i>Сасаров В.А., Федорова М.А., Юдин А.В.</i> Система автоматического регулирования установки для снижения вязкости нефти и нефтепродуктов	225
<i>Спицкий Д.А.</i> Рационализация расчета потери тепла в трубопроводах.....	228
<i>Тимофеев А.А., Исаев А.В.</i> Определение профиля режущей части резца при обработке наружной трапецеидальной резьбы для повышения точности формообразования детали.....	230

<i>Тугашова Л.Г., Гончаров А.А.</i> Прогнозирование производства топливно-энергетических ресурсов.....	233
<i>Файзуллина Л.Р., Зиганишин М.Г.</i> Возможность использования избыточного давления теплосети на тепловых пунктах	236
<i>Яковлев П.С., Безруков Р.Е.</i> Индивидуальные котельные в системе ЖКХ как альтернатива закрытой системе центрального теплоснабжения	240

Секция 4. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

<i>Авилов А.В., Авилова Н.В., Колесников А.В.</i> Анализ бюджета неопределенности измерений при калибровке счетчиков газа	244
<i>Ахметгареев Р.А., Ахметгареева Р.К.</i> Педагогический аспект подготовки линейных инженеров с творческим стилем мышления	248
<i>Галиуллина Э.Р., Зарипова Р.С.</i> Моделирование как инструмент повышения качества образования	251
<i>Львова Т.Н., Кузнецов Б.В.</i> Применение интерактивных методов обучения на примере дисциплины «Электропривод в современных технологиях».....	254
<i>Пырнова О.А., Зарипова Р.С.</i> Перспективы цифровой трансформации образования.....	257
<i>Хамитова Д.В., Николаев К.В.</i> Цифровые образовательные технологии в инженерном геометрическом моделировании	260

Секция 5. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА НА ОБЪЕКТАХ ЖКХ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

<i>Мусина А.М., Грачева Е.И., Горлов А.Н.</i> Анализ и классификация низковольтных коммутационных аппаратов по конструктивным особенностям	264
<i>Гусев О.В.</i> Иммитационное моделирование системы демагнетизации	267
<i>Кесель Л.Г., Ведерникова К.О., Смирнова А.С., Терентьев Н.Д.</i> Оценка характеристик выходного излучения промышленного лазера в условиях деформации плоского зеркала резонатора	270

<i>Садыков М.Ф., Иванов Д.А., Ярославский Д.А., Галиева Т.Г.</i> Автоматическая система управления наружным освещением для магистралей.....	272
<i>Шарафутдинов А.И., Потапов А.А.</i> Проектирование автономного светодиодного освещения помещений.....	275

Секция 6. СВЕТОТЕХНИКА

<i>Абросимов Л.И., Микаева С.А.</i> Утилизация светодиодов	278
<i>Абубякярова Д.И.</i> Использование светодиодных дампов для передачи информации в современных коммуникационных сетях	281
<i>Агапов Д.А., Чуваткина Т.А., Агапов А.В., Балашов Н.А.</i> Автомати- зация процесса измерения эффективности фотосинтетически активной радиации приборов облучательных для теплиц.....	284
<i>Агапов А.В., Чуваткина Т.А., Агапов Д.А., Балашов Н.А.</i> Об актуаль- ности введения технического регламента «О требованиях к энергетиче- ской эффективности энергопотребляющих устройств».....	286
<i>Балашов Н.А., Чуваткина Т.А., Агапов А.В., Агапов Д.А.</i> О соблю- дении обязательных требований по энергетической эффективности светодиодных светильников	289
<i>Батыев К.В., Стародубцева В.А.</i> Экономическое обоснование использование различных типов светильников для уличного освещения.....	292
<i>Зинкин К.А., Журавлева Ю.А., Микаева С.А.</i> Изменение цветности светодиодной ленты от режимов, зависящих от частоты и громкости звука	295
<i>Иванова Д.С., Микаева С.А.</i> Li-Fi технология пятого поколения на базе светодиодов.....	298
<i>Зубов А.В., Калабкин А.А., Кудашкина М.В.</i> Особенности цвето- передачи различных типов ламп.....	301
<i>Каретников А.Е., Журавлёва Ю.А., Микаева С.А.</i> Исследование параметров светодиодных соб-матриц с помощью мультиметра.....	304
<i>Кондратьева Н.П., Бузмаков Д.В., Осокина А.С., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г.</i> Повышение эффективности светодиодных свето- ловушек для отлова восковой моли.....	306

<i>Махмудов И.Ш.</i> Применение мощных светодиодов в системах освещения.....	310
<i>Микаева С.А., Ларишина Э.Л., Петренко Ю.П.</i> Ультрафиолетовая лампа.....	313
<i>Нестеркина Н.П., Комаров Н.С.</i> Исследование характеристик металлогалогенных ламп типа ДМГТ 150 Вт/942	315
<i>Нестеркина Н.П., Кузнецов Е.А.</i> Обзор ультрафиолетовых источников излучения эритемного действия.....	318
<i>Петрова В.А., Микаева С.А.</i> STAR LED новое поколение универсальных светильников.....	321
<i>Рудковская Д.С., Журавлева Ю.А., Микаева С.А.</i> Вариант управления светодиодной матрицей с помощью одноплатного микрокомпьютера	324
<i>Русайкин В.С., Аириятов А.А.</i> Влияние светодиодного излучения на функциональные и физические показатели органа зрения.....	327
<i>Севостьянов А.А., Журавлёва Ю.А., Микаева С.А.</i> Исследование возможности мобильных вычислительных платформ для нересурсоёмких задач с использованием светодиодов	329
<i>Чуракова Д.К., Шкарин В.И., Чижиков С.И., Кузяков А.В.</i> Исследование распределения энергии излучения ультрафиолетовых ламп.....	332

Секция 7. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ ЖКХ

<i>Авинов В.В.</i> Применение компьютерной модели для повышения энергоэффективности тепловой сети ТЭЦ	336
<i>Демиденко Н.Д.</i> Энергоэффективность – современная тенденция мирового энергетического хозяйства и трудности ее осуществления	338
<i>Денисова А.Р., Важалин Д.С.</i> Интеграция виброметрической системы диагностирования на производстве.....	342
<i>Костюков В.Д., Кретов Д.А.</i> Анализ энергоэффективности газопоршневых установок отечественного и зарубежного производства	347

<i>Немцева М.А., Иванова В.Р.</i> Принцип выработки электроэнергии в пьезоэлектрических элементах и пьезогенераторах	351
<i>Рудаков А.И., Киселев И.Н.</i> Однопроводная резонансная передача электроэнергии	354
<i>Иванова В.Р., Садриева Л.Н.</i> Метод исследования качества функционирования электротехнических комплексов	357
<i>Чиндин В.В., Москалев Л.Б., Кретов Д.А.</i> Цифровые устройства релейной защиты для интеграции с системами мониторинга аварийных ситуаций в электроэнергетических системах	360
<i>Шамигурина Г.И.</i> Энергосбережение в котельных установках за счет усовершенствования технологии деаэрации питательной воды	363

Секция 8. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<i>Алешин С.А.</i> Оптимизация режимов работ с помощью интеллектуальных станций управления в нефтегазовом производстве.....	366
<i>Андреев Д.В., Зацепина В.И.</i> Защита от коммутационных перенапряжений с использованием методов синхронизации коммутационных аппаратов.....	369
<i>Анисимов В.А., Валиуллина Д.М.</i> Виды контроля технического состояния трансформатора и трансформаторного масла.....	372
<i>Белянина Р.К., Валиуллина Д.М., Валеяхметов Р.Ф.</i> Релейные и электронные стабилизаторы напряжения	375
<i>Бизикин К.А., Туранов А.Н.</i> Применение метода частичных разрядов для диагностики кабельных линий.....	377
<i>Галиева Г.З., Максимов В.В.</i> Критерии эффективности релейной защиты в электроэнергетических системах.....	380
<i>Гарипова А.М., Козлов В.К.</i> Зависимость сопротивления бумажно-масляной изоляции от степени полимеризации	381
<i>Гарипова А.М., Козлов В.К.</i> Оптический метод определения степени полимеризации бумажно-масляной изоляции.....	384

<i>Гервасьева Ю.Р., Гиззатова И.Д.</i> Разработка мероприятий по повышению надёжности энергетических систем.....	388
<i>Гизатуллин Э.С., Воркунов О.В.</i> Алгоритм выбора высоковольтных выключателей на подстанциях с учетом основных физических характеристик коммутационных переключений	390
<i>Козлов В.К., Гиззатова И.Д.</i> Зависимость основных характеристик трансформаторного масла от концентрации примесей.....	393
<i>Гималетдинов А.Ф., Воркунов О.В.</i> Проектирование кабельных линий с использованием однофазных кабелей с изоляцией из СПЭ в программном комплексе LabView.....	396
<i>Глазырин А.В., Воробьев Е.С.</i> Принципы реализации избирателя поврежденных фаз.....	400
<i>Данилов В.А., Валуллин К.Р.</i> Анализ методов повышения надежности релейной защиты с использованием различных каналов связи.....	403
<i>Зиннатуллина Д.Р.</i> Методы снижения звукового давления от силового трансформатора	408
<i>Касьянова Н.Е.</i> Механическая прочность и необходимость ее расчетов для объектов электроэнергетики	411
<i>Крюкова В.А., Лобанова Е.Н.</i> Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования....	414
<i>Лобанова Е.Н., Крюкова В.А.</i> Контроль состояния устройства РПН силового трансформатора.....	417
<i>Миннигареев В.И.</i> Экономическое сравнение ремонта трансформатора и покупки нового	421
<i>Назмиева З.К.</i> Контроль и диагностика изоляторов линий электропередачи	424
<i>Рыцова А.В.</i> Перспективы развития распределенной генерации в России	426
<i>Санникова И.О.</i> Интеллектуальные электрические сети	427
<i>Саптиева В.Ю., Касьянова Н.Е., Мухаметжанов Р.Н.</i> Тенденции использования систем учета электрической энергии.....	429

<i>Ситдиков Э.Т.</i> Комплексная автоматизация распределительных сетей с применением вакуумных реклоузеров в Бугульминских электрических сетях	432
<i>Фурсанов М.И., Гецман Е.М.</i> Анализ потерь электрической энергии и пути их снижения в распределительных сетях 0,38–10 кВ.....	435
<i>Шакиров Д.М.</i> Волновой метод определения места повреждения линии электропередачи 6–35 кВ.....	440

Секция 9. КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК, ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

<i>Аль-Дарабсе А.М.Ф., Маркова Е.В., Миллер В.В.</i> Концепция автоматизации в управлении электроэнергетическими системами	442
<i>Воробьев Е.С.</i> Методы восстановления информации в SV-потоках	445
<i>Зиннатуллина Г.Р.</i> Исследование феррорезонансных перенапряжений при несимметричных коммутациях фаз сети	448
<i>Кадыров А.Ю.</i> Моделирование работы полимерного изолятора на металлической опоре ВЛ 35 кВ в условии загрязнения и увлажнения	451
<i>Конакова А.О., Рыжков Д.В.</i> Исследование диэлектрических свойств высоковольтного кабеля в процессе эксплуатации	454
<i>Нетесов Е.Ю., Зацепина В.И.</i> Электрооборудования кузнечно-прессового отделения за счет компенсации реактивной мощности и фильтрации высших гармонических составляющих.....	457
<i>Пицалова Т.К., Зацепина В.И.</i> Определение остаточного ресурса выключателей на подстанции	461
<i>Прытков А.В.</i> Обеспечение качества электроэнергии	464
<i>Соловьёва А.А.</i> Диагностика высоковольтных выключателей	466
<i>Сопина Ю.В., Миронова Е.А.</i> Диагностика изоляции статора генераторов и электродвигателей на основе регистрации импульсов частичных разрядов электрическим методом	467

<i>Хабидуллин И.Р.</i> Моделирование солнечной панели в программной среде MatLab/Simulink	469
<i>Хабиева А.Р.</i> Учёт электроэнергии в распределительной сети 0,4 кВ	472
<i>Юдин А.В.</i> Прогнозирование режима работы трансформаторов при работе на общую нагрузку с помощью сети Кохонена	474

Секция 10. ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ В ЖКХ

<i>Аминов Р.Р.</i> Применение природного газа в деаэрационной установке атмосферного давления	478
<i>Володин Е.А., Быкович Д.А.</i> Сравнительный анализ различных типов изоляции для объектов ЖКХ	480
<i>Яхшыгулова Р.Р.</i> Технологии бестраншейной прокладки инженерных сетей.....	484

Научное издание

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

V Национальная научно-практическая конференция
(Казань, 12–13 декабря 2019 г.)

В двух томах

Том 2

Корректор О.В. Цветкова
Компьютерная верстка: И.В. Красновой, Т.И. Лунченковой
Дизайн обложки Ю.Ф. Мухаметшиной

Подписано в печать 13.12.2019.
Формат 60×84/16. Бумага ВХИ. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 29,06. Уч.-изд. л. 22,04. Тираж 45. Заказ № 5187.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51