

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт химии и энергетики  
Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

**V Всероссийская  
научно-техническая  
конференция  
студентов,  
магистрантов,  
аспирантов**

**Тольятти,  
12–13 ноября 2019 года**

**Сборник трудов**

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2019

ISBN 978-5-8259-1478-7

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
И ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
ПРОЦЕССОВ (ЭЭПП-2019)**



УДК 621.311

ББК 31.2

Ответственный за выпуск В.В. Вахнина

Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019) : V Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов (Тольятти, 12–13 ноября 2019 года) : сборник трудов / отв. за вып. В.В. Вахнина. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 1 оптический диск.

В сборнике опубликованы труды V Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов «Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов». Представлены результаты исследований в области энергосбережения и энергосберегающих технологий в электроэнергетике, электромеханике, автоматизированных производствах, химической и нефтехимической промышленности.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию советом института химии и энергетики Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер; Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© Вахнина В.В. – научный  
руководитель конференции, 2019

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2019



---

Редакторы: *Е.В. Пилясова, Т.М. Воропанова,*  
*О.И. Елисеева, Е.А. Держаева*

Техническое редактирование,  
компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*  
Художественное оформление,  
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 23.10.2019.

Объем издания 18,2 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск,  
первичная упаковка.

Заказ № 4-09-19.

Издательство Тольяттинского  
государственного университета  
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,  
тел. 8 (8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)



## Секция 1. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

---

УДК 621.316

### АНАЛИЗ И СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ НАГРУЗОК НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ КАК НАПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

*Т.Х. Айсина, А.Г. Сошинов*

*Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ,  
г. Камышин*

В настоящее время остаются актуальными работы, направленные на решение проблемы повышения уровня энергоэффективности и энергобезопасности при поставках электроэнергии. Эти работы сейчас активно идут как в России, так и в странах Евросоюза. Нормативы Совета европейских органов, регулирующих электроэнергию (CEER 2005), при поставках электрической энергии (ЭЭ) различают три аспекта качества [1]:

- качество напряжения (качество электроэнергии, определяемое показателями качества ЭЭ);
- коммерческое качество (определяется индивидуальными договорными отношениями поставщика и потребителя электроэнергии);
- непрерывность, надежность, гарантированность поставок электрической энергии в соответствии с требованиями потребителя электроэнергии.

Качество электрической энергии зависит не только от производителя, но и от параметров потребителей электрической энергии. Негативное влияние на качество ЭЭ оказывают потребители с нелинейным характером нагрузки [2]. Нелинейные электроприёмники в последнее время занимают все большее место в составе нагрузки на промышленных предприятиях. К ним относятся вентильные преобразователи, электродуговые сталеплавильные и рудотермические печи, установки дуговой и контактной сварки, газоразрядные лампы и т. д. Электрические машины также относятся к нелиней-

Источник оптического сигнала с помощью разветвителя преобразуется в два сигнала, которые направляются в оптическую петлю, выполненную из нескольких витков. Магнитное поле замедляет скорость одного из сигналов, а другого – ускоряет. Пришедшие световые потоки преобразуются в линейно поляризованные с плоскостями поляризации, сдвинутыми на угол  $\varphi$ . Полученные электрические сигналы, после преобразования фотоприемником в два напряжения переменного тока, поступают на ввод аналого-цифрового преобразователя электронного блока [6].

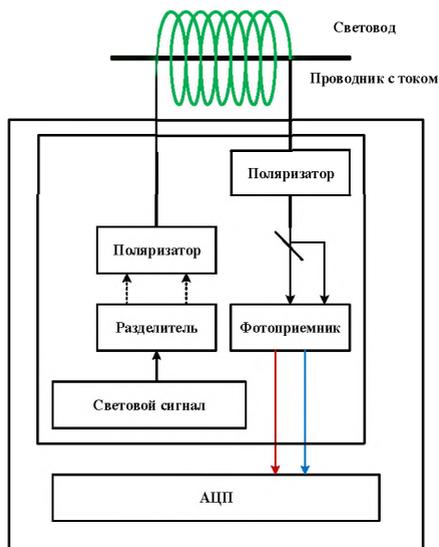


Рис. 1. Структурная схема оптоволоконного датчика тока с электронно-оптическим блоком

Для успешной работы новых комплексов релейной защиты и автоматики на основе микропроцессорных устройств необходимо формулировать модель системы, проводить анализ влияния элементов интеллектуальной активно-адаптивной сети, придерживаться технических требований и нормативных документов в области РЗА.

#### *Литература*

1. Иванов И.Ю. Микропроцессорные устройства релейной защиты: учебное пособие / И.Ю. Иванов, И.Л. Кузьмин, Ю.В. Писковацкий, Д.Ф. Губаев. 2-е изд. – Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. – 328 с.

2. Гуртовец А.Л. Оптические трансформаторы и преобразователи тока. Принципы работы, устройство, характеристики / А.Л. Гуртовец // Новости электротехники. – 2009. – № 5(59).
3. Ураксеев М.А. Современные измерительные трансформаторы / М.А. Ураксеев, А.Л. Хотеев // Управление и высокие технологии. – 2012. – № 3(19).
4. Иванова В.Р. Исследование функциональных возможностей систем релейной защиты и автоматики для применения их в интеллектуальных энергосистемах с активно-адаптивной сетью / В.Р. Иванова, В.В. Новокрещенов // Материалы IV Национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве». – 2018. – Т. 1. – С. 138–140.
5. Научно-технический отчет «Разработка концепции развития и применения систем релейной защиты и автоматики для интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью». – Москва, 2012. – Кн. 1. – 273 с.
6. Абраменкова И. Оптические датчики тока и напряжения / И. Абраменкова, И. Корнеев // Компоненты и технологии. – 2010. – № 8. – С. 60–63.

УДК 620.9:004

## **КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ**

*Н.В. Роженцова, Д.П. Спасов, А.Р. Галаятдинова*  
*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань*

Внедрение автоматизированных систем управления, как и любая модернизация на предприятии, является сложным процессом. Некоторые проблемы, возникающие при внедрении системы, в настоящее время достаточно хорошо изучены и имеют эффективные пути решения.

Заблаговременное изучение этих проблем и подготовка к их решению значительно облегчают процесс внедрения и повышают эффективность дальнейшего использования системы. Однако нужно помнить, что ни одна система не является безопасной. Подобрать необходимый цифровой ключ и проникнуть в систему – во-

прос времени и сил. В данной статье мы рассматриваем кибербезопасность на производстве в энергетической отрасли.

Понятие «кибербезопасность» подразумевает совокупность методов, технологий и процессов, предназначенных для защиты целостности сетей, программ и данных от цифровых атак. Целью кибератак является получение несанкционированного доступа к конфиденциальной информации, ее копирование, изменение или уничтожение; также кибератаки осуществляются для вымогательства денежных средств у пользователей или нарушения рабочих процессов на предприятии [1].

Кибербезопасность — раздел информационной безопасности, в рамках которого изучают процессы формирования, функционирования и эволюции киберобъектов, выявления источников киберопасности, образующихся при этом, определение их характеристик, а также их классификацию и формирование нормативно-технических документов, выполнение которых должно гарантировать защиту киберобъектов от всех выявленных и изученных источников киберопасности.

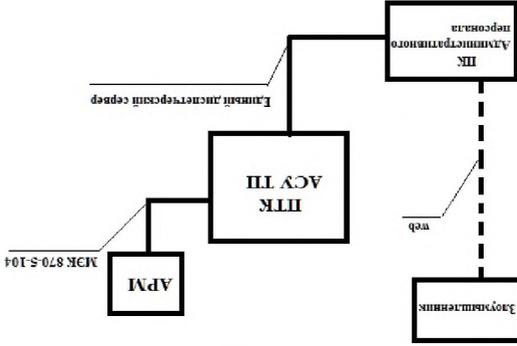
В настоящее время все организации, вне зависимости от того, к какой структуре они относятся (правительственные, финансовые, коммерческие, медицинские и другие), собирают, обрабатывают и хранят большие объемы персональных данных. В основном эта информация является конфиденциальной, и ее утечка, потеря, хищение может иметь негативные последствия как для человека, так и для организации.

В части информационной безопасности рассмотрим в качестве примера работу программно-технического комплекса (ПТК) автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП). Защита информации в ПТК АСУ ТП достигается путем принятия в рамках системы защиты совокупности организационных и технических мер, направленных:

- на блокирование угроз безопасности информации, реализация которых может привести к нарушению нормального режима функционирования АСУ и управляемого объекта или процесса;
- на локализацию и минимизацию последствий от возможной реализации угроз безопасности информации;
- на восстановление нормального режима функционирования в случае реализации угроз безопасности информации [2].

В ПТК обработка дискретных сигналов, аналогично обработке аналоговых сигналов, задается набором значений определенных ха-

Рис. 1. Алгоритм процесса



Система защиты АСУ ТП в части ПТК осуществляется по следующему алгоритму защиты (рис. 1), которая содержит описание автоматизированной системы управления и уровня безопасности информации для каждого из уровней, включающее описание возможностей нарушителей (модуль нарушителя), возможных уязвимостей автоматизированной системы управления, способов реализации угрозы безопасности информации и последствий от нарушений свойств безопасности информации (доступности, целостности, конфиденциальности) и нормального режима функционирования автоматизированной системы управления. Для обеспечения ограничения физического доступа к оборудованию ПТК АСУ ТП предусматривается размещение оборудования в специализированных помещениях с организацией системы контроля и управления доступом (СКУД).

От несанкционированного доступа можно принять следующие меры защиты:

Эти меры не оказывают отрицательного влияния на нормальную работу объекта.

Эти меры не оказывают отрицательного влияния на нормальный режим функционирования [3].

Соотношение с мерами по промышленной, физической, пожарной, информационной безопасности АСУ и управлением объектом, при необходимости, конфиденциальности, доступности обрабатываемой информации, ее целостности, а также, при необходимости, конфиденциальности.

рактических, заносимых в базу данных точек для каждого сигнала. При этом ряд характеристик задается в обязательном порядке, а ряд характеристик заполняется только при необходимости для отдельных сигналов. Сигналы периферийных вводов подаются с клеммного блока на контакты соответствующего электронного модуля, где обеспечивается защита от бросков напряжения и настройка конфигурации с помощью персонального модуля, в результате чего формируется либо 32 изолированных дифференциальных входа, либо 32 несимметричных входа. Вводные сигналы ограничиваются по току, оптически изолируются и преобразуются в электронном модуле до логического уровня, на котором они отражают состояние «Вкл» или «Выкл», затем эти сигналы подаются на фиксированную схему и далее для использования контроллером.

В АСУ ТП основополагающим является принцип однократного ввода информации и многократного ее использования в системе [4]. Так, аналоговые и дискретные сигналы, полученные ПТК и обработанные, как описано выше, многократно используются во всех функциях АСУ ТП (отображение, дистанционное управление, технологические и электрические защиты, авторегулирование, блокировки, логическое управление, алгоритмы, технологическая и электрическая сигнализация, архивирование и протоколирование).

Таким образом, практическая деятельность в области повышения информационной безопасности в автоматизированных системах управления показывает, что создание реально действующей системы защиты информации оказывается в прямой зависимости от своевременного решения вышеуказанных проблем. Исходя из накопленного опыта, можно сказать, что все рассмотренные вопросы успешно решаются при условии слаженной совместной работы представителей предприятия и компании-исполнителя. Важно своевременно выявить существующие угрозы и применить необходимые меры защиты информации, которые, как правило, специфичны для каждого предприятия. Наличие желания и возможностей является достаточным условием для плодотворной работы, целью которой стало бы создание комплексной системы обеспечения безопасности предприятия.

### *Литература*

1. [https://spravochnick.ru/informacionnaya\\_bezопасnost/kiberbezопасnost\\_i\\_informacionnaya\\_bezопасnost/](https://spravochnick.ru/informacionnaya_bezопасnost/kiberbezопасnost_i_informacionnaya_bezопасnost/).
2. Приказ ФСТЭК России от 14.03.2014 N 31 «Об утверждении Требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды». С. 5.
3. ГОСТ Р 51583 «Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения». С. 13.
4. Роженцова Н.В., Пятникова М.В. Внедрение цифровых трансформаторных подстанций / Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники» / под общ. ред. гос. энерг. ун-та, 2019. — С. 388.

УДК 621.31

## **ВЫБОР РЕГУЛЯТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ КОМПЕНСАЦИИ В ВОЗДУШНЫХ СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

*В.Т. Сидорова, Е.Г. Рокина  
Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола*

В работе приводятся результаты выбора устройств автоматического регулирования реактивной мощности в воздушных сетях низкого напряжения с целью эффективной пофазной компенсации реактивной мощности.

Для эффективной компенсации реактивной мощности в работах [1–3] предложено программное обеспечение, определяющее точки установки компенсирующих устройств. Разработанное программное обеспечение по данным замеров в сети определяет потери электроэнергии до и после компенсации, значения напряжения и коэффициента мощности после компенсации, а также необходимые параметры устройств компенсации (ёмкость, мощность). Алгоритм программы рассчитывает компенсацию до значения коэффициента мощности, равного 0,94. Поскольку сети низкого на-

пряжения отличаются значительной несимметрией, компенсация реактивной мощности в них должна быть пофазной. Поэтому были проанализированы существующие средства пофазной компенсации реактивной мощности. Такие устройства должны измерять реактивную мощность каждой фазы в отдельности и, соответственно, осуществлять регулирование конденсаторными батареями для каждой фазы в отдельности. Из представленных на российском рынке регуляторов коэффициента мощности был выделен регулятор DCRG8/DCRG8IND, отвечающий необходимым требованиям. Он может иметь несколько вариантов включения, в том числе однофазное и полное трехфазное включение с нейтралью [4]. При этом, в отличие от других подобных устройств, возможно такое исполнение устройства, в котором осуществляется измерение токов и напряжений всех трех фаз. Также предусмотрены дополнительные контакторы для пофазного регулирования реактивной мощностью (рис. 1).

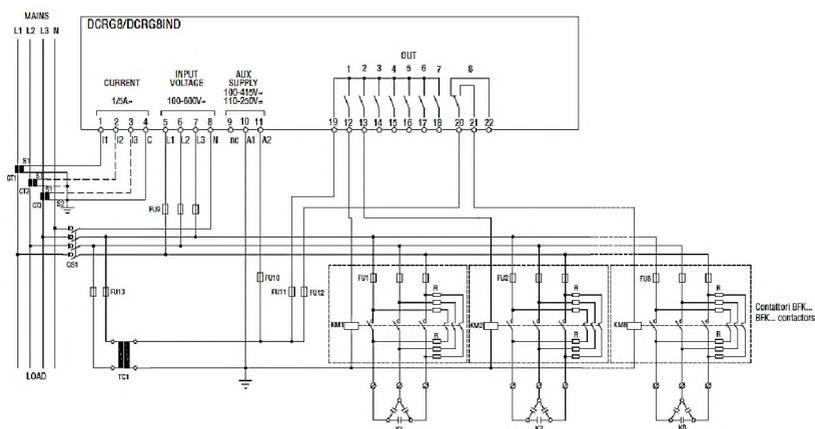


Рис. 1. Одна из возможных схем включения регулятора [4]

В зависимости от параметров сети и характера нагрузки возможна конфигурация для применения с сильным дисбалансом с компенсацией реактивной мощности для одной фазы и полным контролем трехфазного напряжения. Это позволяет осуществлять как грубое регулирование коэффициента мощности, так и более плавное при помощи ступеней меньшей мощности. Недостатком рассматриваемого устройства является достаточно высокая цена, что ограничивает возможности его применения с экономической точки зрения.

Поскольку исследуемая в данной работе компенсация реактивной мощности подразумевает установку устройств компенсации в любой точке на линии, планируется исследовать возможность использования рассматриваемого регулятора коэффициента мощности непосредственно на линии электропередачи (установка мачтовым способом). Или возможность изготовления данного устройства в соответствующем корпусе.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта У.М.Н.И.К. 2017, ответственный исполнитель – Елена Рокина.

#### *Литература*

1. Vera Sidorova, Elena Rokina, Contents of Proceedings of 17th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT. – 2018. – P. 1790–1794.
2. Сидорова В.Т., Рокина Е.Г., Рокина А.Г. Электроэнергия: Передача и распределение. – 2019. – №4 (55). – С. 34–37.
3. V.T. Sidorova, E.G. Rokina 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE. 2019. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8742931/metrics#metrics>.
4. Автоматический регулятор коэффициента мощности. Руководство по эксплуатации // LOVATO ELECTRIC. 2016. – URL: [http://www.lovatoelectric.ru/HandlerDoc.ashx?s=I340RU06\\_16.pdf&ic=111](http://www.lovatoelectric.ru/HandlerDoc.ashx?s=I340RU06_16.pdf&ic=111).

УДК 621.331

### **ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СОЛНЕЧНО-ВЕТРОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (СВЭ) ПРЕДПРИЯТИЯ**

*С.Н. Тихонин, О.А. Зенина, В.С. Галушак, А.Г. Сошинов  
Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского  
государственного технического университета, г. Камышин*

Исходными данными для расчёта мощности СВЭ является состав автомобильного парка предприятия, основными показателями которого являются тип транспортного средства, мощность его двигателя, удельный расход топлива на киловатт-час выработанной энергии и число часов работы машины в году. Присвоим соответствующие обозначения названным показателям.

Общий объём энергии, вырабатываемой двигателями машин (грузовые, трактора, грейдеры, бульдозеры) предприятия, определяется по выражению

$$\mathcal{E} = N \cdot P \cdot T, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}$  – общая энергия, выработанная двигателями, кВт · ч;  $N$  – количество машин, шт.;  $P$  – мощность двигателя, кВт;  $T$  – общее время работы двигателя, ч.

Общий объём энергии, вырабатываемой двигателями внутреннего сгорания предприятия, определяется по выражению

$$\mathcal{E}_{\text{дп}} = \mathcal{E}_{\text{г}} + \mathcal{E}_{\text{гр}} + \mathcal{E}_{\text{т}} + \mathcal{E}_{\text{б}}. \quad (2)$$

Очевидно, ЭЗС должна обеспечить такой отпуск электроэнергии с учётом потерь в циклах «заряд–разряд» систем бортовых аккумуляторов электромобилей и бустерного аккумулятора. По многочисленным экспериментальным данным и опыту эксплуатации тяговых аккумуляторов потери этих циклов с достаточной для практического использования точностью можно принять равными 40 %.

Тогда общий объём энергии заряда  $\mathcal{E}_{\text{з}}$  составит

$$\mathcal{E}_{\text{з}} = 1,4 \cdot \mathcal{E}_{\text{дп}}. \quad (3)$$

В целях максимального энергоресурсосбережения обеспечим заданное производство электроэнергии с помощью солнечной электрогенерирующей установки, приняв общее число часов солнечного сияния  $\tau = 2200$  ч, что является усреднённым показателем для большинства регионов России.

Тогда расчетная мощность СЭУ определяется выражением

$$P_{\text{сэу}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{з}}}{\tau}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{сэу}}$  – расчётная мощность солнечной электрогенерирующей установки ЭЗС, кВт;  $\mathcal{E}_{\text{з}}$  – энергия заряда аккумуляторов всех машин предприятия, кВт · ч;  $\tau$  – число часов солнечного сияния, ч.

Для определения основных параметров ЭЗС конкретного предприятия зададимся следующими исходными данными:

1. Тариф на покупную электроэнергию  $T_{\text{э}} = 4,5$  руб./кВт · ч.
2. Цена на органическое топливо (бензин, дизтопливо)  $C_{\text{т}} = 55$  руб./кг.
3. Удельная стоимость строительства отечественной солнечной установки  $C_{\text{уд}} = 150\,000$  руб./кВт.

Машина	Количество (шт.)	Мощность двигателя (кВт)	Удельный расход топлива (г/кВт·ч)	Время работы (мото-час/г)
КАМАЗ	1	176	180	1200
Грейдер САТ 18М3	1	287	210	800
Трактор МТЗ-1221	1	96	220	800
Бульдозер САТD7R	1	205	220	800

Используя выражения (1) – (3), определим:

Энергия, вырабатываемая ДВС			Необходимая ЭЭ
		Всего	
КАМАЗ	176 · 1200	681600 кВт·ч	954240 кВт·ч
Грейдер САТ 18М3	1 · 287 · 800		
Трактор МТЗ-1221	1 · 96 · 800		
Бульдозер САТD7R	1 · 205 · 800		

В то же время затраты предприятия на покупку дизтоплива и бензина для ДВС Зтоп составляют

$$\begin{aligned} \text{Зтоп} = & 55 \cdot (1 \cdot 176 \cdot 1200 \cdot 0,18 + 1 \cdot 287 \cdot 800 \cdot 0,2 + \\ & + 1 \cdot 96 \cdot 800 \cdot 0,22 + 1 \cdot 205 \cdot 800 \cdot 0,22) = 7\,450\,960 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Эксплуатационные затраты предприятия на текущий и капитальный ремонт ДВС, топливной аппаратуры и трансмиссии составят

$$\begin{aligned} \text{Зрем} = & 1 \cdot 200\,000 + 1 \cdot 250\,000 + 1 \cdot 100\,000 + \\ & + 1 \cdot 250\,000 = 800\,000 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Полные годовые затраты предприятия на содержание автотракторного парка с ДВС составят

$$\text{Зап} = 7\,450\,960 + 800\,000 = 8\,250\,960 \text{ руб.}$$

При выполнении солнечной электрогенерирующей установки на весь требуемый годовой объем электроэнергии согласно выражению (4) ее мощность составит

$$P_{\text{сэв}} = \frac{954240}{2200} = 434 \text{ кВт.}$$

Тогда годовые затраты предприятия при сроке окупаемости 8 лет и удельных ежемесячных затратах на эксплуатацию СВЭ 170 000 руб./МВт составят

$$\text{Зсэв} = 434 \cdot 150\,000 \cdot 0,125 + 170000 \cdot 0,434 \cdot 12 = 9\,022\,860 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект от перевода автомобилей и тракторов предприятия на электрическую тягу от солнечной электрогенерирующей установки взамен ДВС составляет

$$\text{Эф} = 8\,250\,960 - 9\,022\,860 = -771\,900 \text{ руб.}$$

Если вся электроэнергия на заряд аккумуляторов электро-транспорта будет покупаться у энергоснабжающей организации по тарифу 4,5 руб./кВт·ч, то затраты предприятия на покупную электроэнергию составят

$$\text{Зэ} = 954\,240 \cdot 4,5 = 4\,294\,080 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект от перевода автомобилей и тракторов предприятия на электрическую тягу взамен ДВС с зарядкой от промышленной электрической сети составит

$$\text{Эф} = 8\,250\,960 - 4\,294\,080 = +3\,956\,880 \text{ руб.}$$

В результате проведённого исследования установлено, что одним из перспективных направлений развития транспорта на пневматическом ходу является отказ от использования ДВС и переход на электрическую тягу. Предложена методика укрупнённого расчёта необходимого объёма электрической энергии для полной замены органического топлива на предприятии. Установлено, что при сложившихся удельных затратах на строительство солнечных электрогенерирующих установках на киловатт установленной мощности со сроком окупаемости восемь лет экономический эффект отрицательный. Показано, что при цене на органическое топливо 55 руб./кг и тарифах на покупную электроэнергию 4,5 руб./кВт·ч положительный экономический эффект может достигать 45 % годовых затрат предприятия на топливную составляющую и техническое обслуживание машин с ДВС.

#### *Литература*

1. База тарифов на электроэнергию // Time2Save. – URL: <http://time2save.ru/calculators/nereguliruemie-ceni-na-elektroenergiu> (дата обращения: 03.09.2019).
2. Постановление Правительства РФ от 28 мая 2013 г. №449.
3. Бульдозер Cat D7R // Восточная техника CAT. – URL: [https://www.vost-tech.ru/produkcija/katalog\\_produkcii/buldozer\\_caterpillar/buldozery\\_srednej\\_mownosti/d7r/](https://www.vost-tech.ru/produkcija/katalog_produkcii/buldozer_caterpillar/buldozery_srednej_mownosti/d7r/) (дата обращения: 03.09.2019).
4. Автогрейдер серии M 18M3 // Восточная техника CAT. – URL: [https://www.vost-tech.ru/produkcija/katalog\\_produkcii/avtogrejdera/avtogrejdera\\_serii\\_m/18m3/](https://www.vost-tech.ru/produkcija/katalog_produkcii/avtogrejdera/avtogrejdera_serii_m/18m3/) (дата обращения: 03.09.2019).

## ОПТИМИЗАЦИЯ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ В СИСТЕМЕ ГИБРИДНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ СНАБЖЕНИЯ ЕЕ УСТРОЙСТВОМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Е.В. Трутнева, А.Е. Сидоров*

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань*

В статье рассмотрена оптимизация аккумуляторной батареи, что предусматривает возможность подключения системы управления и балансировки к компьютеру или контроллеру с целью мониторинга состояния батарей и контроля их параметров. Это позволяет компенсировать некоторые их недостатки, тем самым продлевая ее долговременность и срок службы в системе накопления энергии.

Гибридная система накопления энергии состоит из аккумуляторных батарей, блока суперконденсаторов и гибридного инвертора. Также необходимы дополнительные преобразующие и согласующие устройства силовой электроники, реализующие функции заряда/разряда, контроля и управления.

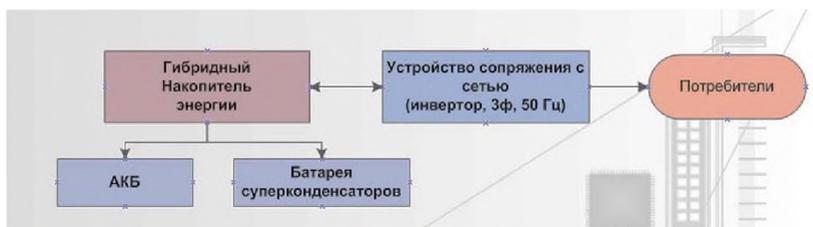


Рис. 1. Блок-схема гибридного накопителя энергии

В период снижения нагрузки в модуле аккумуляторных батарей происходит накопление электроэнергии из сети либо за счет дополнительных источников энергии. В период возрастания нагрузки батареи отдают запасенную электроэнергию в сеть для стабилизации напряжения и сглаживания пиковых нагрузок.

К преимуществам аккумуляторных батарей можно отнести: компактность, функциональную гибкость, широкую возможность автоматизации процессов управления и контроля, простоту интеграции в системы интеллектуальных сетей. Однако есть и недостатки, которые компенсирует устройство интеллектуального управления [1].

Система управления и балансировки обеспечивает индивидуальный контроль напряжения и сопротивления каждого элемента аккумулятора, распределяет токи между составными аккумуляторной батареей во время зарядного процесса, контролирует ток разряда, определяет потерю емкости от дисбаланса, гарантирует безопасное подключение/отключение нагрузки.

Также система может хранить в памяти такие показатели, как количество циклов заряда/разряда, максимальное и минимальное напряжение ячеек, максимальное и минимальное значение тока заряда и разряда. Именно эти данные и позволяют определять состояние исправности аккумуляторной батареи.

Система управления и контроля выполняет следующие функции:

1. Контроль за состоянием элементов аккумуляторной батареи.
2. Интеллектуально-вычислительная (оценка: максимального допустимого тока заряда/разряда, количества энергии, поставляемой вследствие зарядки или же теряемой при разряде, внутреннего сопротивления ячейки, общего количества циклов работы).
3. Связная (подаёт вышеуказанные данные на внешние управляющие устройства путем проводной или же беспроводной коммуникации).
4. Защитная (защищает батарею, предотвращая её выход за пределы безопасной работы; гарантирует безопасность подключения/отключения нагрузки, гибкое управление нагрузкой, защищает аккумуляторную батарею от перегрузки по току; перенапряжения; падения напряжения; перегрева).
5. Балансировка.

Само устройство контроля и управления аккумуляторной батареи содержит последовательно соединенные аккумуляторные модули, каждый из которых состоит по меньшей мере из двух последовательно соединенных аккумуляторов, модульные зарядные блоки, модульные блоки контроля и управления, датчики температуры модулей, модульные блоки балансировки, состоящие из последовательно соединенных ключа и шунтирующего резистора для каждого литий-ионного аккумулятора модуля, силовой коммутатор и систему контроля и управления [2, 3]. Устройство позволяет ограничить мощность рассеивания при балансировании внутри батареи за счет регулирования тока заряда каждого аккумуляторного модуля.

Процесс балансировки происходит внутри соответствующего аккумуляторного модуля и никак не сказывается на соседних аккумуляторных модулях внутри аккумуляторной батареи. Снижая ток заряда, модульный блок контроля и управления имеет возможность не отключать аккумуляторный модуль от заряда, а производить балансировку и далее при более низком токе заряда. Логическое разбиение на блоки внутри высоковольтной аккумуляторной батареи позволяет заряжать как всю аккумуляторную батарею от высоковольтного внешнего источника (например, 250 В), через выводы всей аккумуляторной батареи, так и, при необходимости, заряжать каждый аккумуляторный модуль в отдельности от своего модульного зарядного блока [4]. В хорошо сбалансированной аккумуляторной батарее все аккумуляторы при разряде должны достигать своего конечного разрядного напряжения при разряде или своего конечного зарядного напряжения при заряде почти одновременно.

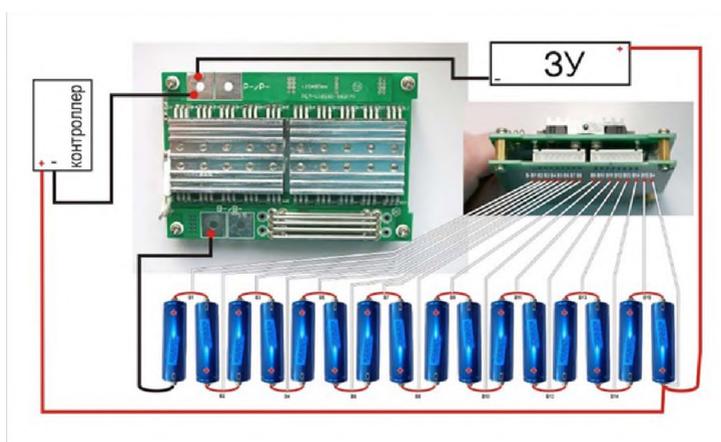


Рис. 2. Устройство интеллектуального управления батареей

Таким образом, добавив к блоку аккумуляторных батарей устройство интеллектуального управления, можно улучшить ее качество работы, обеспечить безопасную работу и равномерный разрядный процесс в отдельных аккумуляторных ячейках, предотвратить чрезмерный перезаряд, а также защитить аккумуляторную батарею от перегрузки по току, перенапряжения, падения напряжения.

### *Литература*

1. Чудновец С.П., Харитонов С.А. Накопители электрической энергии для систем генерирования электрической энергии // Научный вестник НГТУ. – 2013. – № 1 (50). – С. 163–172. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pv.energytrends.com>
2. Рыкованов А. Системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей // Силовая Электроника. – 2009. – № 1. – С. 52–55.
3. Садовников А.В., Макарчук В.В. Литий-ионные аккумуляторы // Молодой ученый. – 2016. – № 23. – С. 84–89.
4. Строев В.А., Гремяков А.А., Надеждин С.В., Араччиге К.У. Оптимизация размещения накопителей энергии в электрической системе // Вестник МЭИ. – 2000. – № 1. – С. 53–58.

УДК 332.14

## **ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТА «УМНЫЙ ГОРОД» В МИРЕ**

*О.В. Федяй*

*Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти*

Одна из проблем, стоящих сегодня перед городами, – увеличение нагрузки на городские системы и ресурсы вследствие процесса урбанизации. По данным Организации Объединенных Наций, в 2019 году 54 % населения планеты проживало в городах, к 2050 году эта цифра возрастет до 66 %. Необходимость более эффективно управлять городскими системами стимулирует интерес к инновационным технологиям. В настоящее время все более широко реализуются возможности сбора и анализа данных в режиме реального времени для управления городами. Это можно рассматривать как реализацию «системы интернет-управления устройствами» (IoT) в контексте города.

Глобальная аналитическая фирма IHS отслеживает примерно 400 проектов «Умный город» по всему миру. Все эти проекты используют интегрированные системы информационно-коммуникационных технологий (ICT) для повышения эффективности управления множеством составляющих и повышения качества жизни населения. Из отслеживаемых проектов около 27 % ориентированы на мобильность и транспортные решения, 26 % – на физическую инфраструктуру (включая уличное освещение и контроль за утилизацией отходов), 25 % – на рациональное использование энергии

и ресурсов, 11 % – на управление, 8 % – на меры защиты и обеспечение безопасности, 3 % – на здравоохранение. 40 % проектов находятся в Европе, 31 % – в Азиатско-Тихоокеанском регионе, 25 % – в Северной и Южной Америке и 4 % – на Ближнем Востоке и в Африке. Большинство проектов – это испытания или ранняя стадия реализации, и пройдут годы, прежде чем они смогут полностью функционировать.

Ряд стран в Европе приступили к внедрению технологии интеллектуальных сетей в рамках развития «умных городов». Одним из примеров является город Асперн, где энергоэффективный «умный город» разрабатывается на месте бывшего аэродрома недалеко от Вены. Проект «Умный город» стоимостью в 40 миллионов евро финансируется Веней, совместно с коммунальными компаниями Wien Energie и Wiener Netze и компанией Siemens.

Как и в Европе, несколькими странами Азии были объявлены инвестиционные пакеты для развития «умного города», где ключевая цель – повышение рациональности использования энергии и ресурсов. Наиболее заметными среди них являются Китай, Япония и Южная Корея. Япония и Южная Корея не имеют внутренних энергоресурсов, поэтому исторически зависят от импорта энергии.

Япония преследовала стратегию инвестирования в ядерную энергетику до землетрясения в Тохоку и ядерной катастрофы в 2011 году. С тех пор Япония рассматривает альтернативные источники энергии и технологии интеллектуальных сетей. В дополнение к необходимости найти безопасное и надежное энергоснабжение Япония заинтересована в технологии интеллектуальных сетей для защиты городов от массовых отключений электроэнергии, которые затронули Токио и многие другие районы страны после землетрясения 2011 года.

Китай также объявил инвестиционные пакеты для развития «умного города» и в настоящее время участвует в обмене знаниями с Европейским союзом. 15 китайских городов сотрудничают с 15 городами Европы, делясь знаниями и техническими возможностями интеллектуальных городских решений, и содействуют глобальному развитию «умных городов».

В Северной и Южной Америке Соединенные Штаты занимают первое место по количеству проектов. Программа Envision America будет вносить существенный вклад в рост числа «умных городов»

в Соединенных Штатах. По состоянию на май 2019 года корпоративными партнерами, участвующими в программе, являются Itron, GE, Landis+Gyr, Qualcomm и Microsoft.

Однако несмотря на увеличение активности, проекты «умных городов» сталкиваются с рядом проблем, прежде чем получается реализовать их полный потенциал. Камнем преткновения становится тот факт, что многие города не имеют достаточной гибкости в своих годовых бюджетах, чтобы позволить инвестировать в широкомасштабное развертывание новых технологий и инфраструктуры.

И хотя ряд стран взяли на себя обязательства по инвестированию в умные городские технологии, это крупномасштабные долгосрочные проекты, которые требуют постоянных инвестиций, чтобы полностью реализовать свой потенциал. Во многих случаях суммы, выделенные правительствами, к сожалению, недостаточны.

#### *Литература*

UNITED SMART CITIES: Smart urban solutions for transition and developing countries [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/projects/SMART\\_CITIES/United\\_Smart\\_Cities\\_Project\\_Document.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/projects/SMART_CITIES/United_Smart_Cities_Project_Document.pdf) (дата обращения: 07.07.2019).

УДК 621.31

### **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*Х. Хамроев*

*Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти*

Метрологические характеристики автоматизированной системы контроля и учета электрической энергии определяются параметрами входящих в нее средств измерения, оказывающих влияние на результат и погрешность измерений электрической энергии и мощности.

По влиянию на средства измерения погрешности делятся на случайные и систематические. При определении предела допускаемой относительной погрешности измерительного комплекса (измерительного канала) (ИИК) все составляющие погрешности компонентом ИИК принимаются случайные.

В качестве характеристик используются среднеквадратические отклонения взаимно некоррелированных случайных составляющих погрешности измерений с неизвестными законами распределения, условно принятыми равномерными. Они и представляют собой нормируемые метрологические характеристики компонентов системы.

Характеристику суммарной погрешности измерительного канала нормируют путем установления предела допускаемой относительной погрешности измерительного канала в предусмотренных рабочих условиях применения и при доверительной вероятности, равной 0,95.

Суммарная погрешность измерительного канала складывается из погрешностей, вносимых его отдельными элементами (трансформаторами тока, трансформаторами напряжения, счетчиками, линиями связи между трансформаторами и счетчиками).

Предел допускаемой относительной погрешности измерительного комплекса при измерении электрической энергии вычисляют согласно РД 153-34.0-11.209-99 [1, 2].

Для активной энергии:

$$\delta_w = \pm 1,1 \sqrt{\delta_J^2 + \delta_U^2 + \delta_\theta^2 + \delta_{\Delta}^2 + \delta_{co}^2 + \sum \delta_{ci}^2 + \delta_T^2};$$

$$\delta_\theta = 0,029 \sqrt{\theta_J^2 + \theta_U^2} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} / \cos \varphi,$$

Для реактивной энергии:

$$\delta_\theta = 0,029 \sqrt{\theta_J^2 + \theta_U^2} \cos \varphi / \sqrt{1 - \cos^2 \varphi},$$

где  $\delta_J$  – предел допускаемой токовой погрешности трансформатора тока;  $\delta_U$  – предел допускаемой погрешности напряжения трансформатора напряжения;  $\delta_\theta$  – погрешность трансформаторной схемы подключения счетчика за счет угловых погрешностей трансформатора тока  $\theta_J$  и трансформатора напряжения  $\theta_U$ ;  $\delta_{\Delta}$  – погрешность из-за потери напряжения в линии присоединения счетчика к трансформатору напряжения;  $\delta_{co}$  – основная относительная погрешность счетчика;  $\delta_{ci}$  – дополнительная погрешность счетчика от  $j$ -й влияющей величины;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности контролируемого присоединения;  $\delta_T$  – погрешность рассинхронизации при измерении текущего астрономического времени. Точность хода встроенных энергонезависимых часов электронного счетчика составляет  $\pm 5,0$  с в сутки.

Расчет дополнительных погрешностей счетчика проводится для следующих влияющих величин: температура окружающей среды; первичное напряжение; частота тока.

Индукция внешнего магнитного поля является пренебрежимо малой.

Общая формула расчета дополнительных погрешностей

$$\delta_{ej} = k_j \cdot \xi_j,$$

где  $k_j$  – функция (коэффициент) влияния  $j$ -й влияющей величины;  $\xi_j$  – максимальные отклонения соответствующих влияющих величин.

В нашем случае  $k_U$  – коэффициент влияния от изменения первичного напряжения присоединения,  $k_t$  – коэффициент влияния от изменения температуры и  $k_f$  – от изменения частоты тока.

Определим функции влияния с учетом ГОСТ 30206-94. При  $\cos \varphi = 1$ :  $k_U = 0,2$ ,  $k_t = 0,03$  на интервале от  $0,05I_{\text{ном}}$  до  $I_{\text{max}} = 1,2I$ ,  $k_f = 0,2$  на интервале от  $0,1I_{\text{ном}}$  до  $I_{\text{max}}$ . При  $\cos \varphi = 0,5$ :  $k_U = 0,4$ ,  $k_t = 0,05$  на интервале от  $0,1I_{\text{ном}}$  до  $I_{\text{max}}$ ,  $k_f = 0,2$  на интервале от  $0,1I_{\text{ном}}$  до  $I_{\text{max}}$ .

Определим функции влияния для  $\cos \varphi = 0,8$  методом линейной интерполяции:

$$y(x) = y(x_0) + (x - x_0) \cdot \frac{y(x_1) - y(x_0)}{x_1 - x_0},$$

где  $x_0, x_1$  – начальное и конечное значения, между которыми изменяется переменная  $x$  (интервал интерполяции). У нас интервал интерполяции переменной  $\cos \varphi \in [0,5; 1]$ . Подставляя соответствующие значения в общую формулу, получаем:  $k_U(0,8) = 0,28$ ;  $k_f(0,8) = 0,2$ ;  $k_t(0,8) = 0,038$  на интервале от  $0,1I_{\text{ном}}$  до  $I_{\text{max}}$ .

Для напряжения (с учетом нормативов качества поставляемой электроэнергии) в нормальных рабочих условиях максимальное отклонение не превышает 3 % от номинального значения. В таком случае  $\delta_{cu} = 0,6$  при  $\cos \varphi = 1$ ;  $\delta_{cu} = 0,84$  при  $\cos \varphi = 0,8$ .

Для частоты такая же оценка дает наибольшее значение отклонения в 2 %. Исходя из этого,  $\delta_{cf} = 0,4$ .

Температура в помещениях, где будут располагаться счетчики электрической энергии, отклоняется от нормального значения (20 °С) не более чем на 5 °С. Тогда  $\delta_{ct} = 0,15$  при  $\cos \varphi = 1$ ;  $\delta_{ct} = 0,19$  при  $\cos \varphi = 0,8$ .

В итоге получаем:

$$\delta_{ср1} = 0,84 \text{ при } \cos \varphi = 1 \text{ и на интервале от } 0,05I_{\text{ном}} \text{ до } I_{\text{max}};$$

$$\delta_{ср2} = 0,84 \text{ при } \cos \varphi = 0,8 \text{ и на интервале от } 0,1I_{\text{ном}} \text{ до } I_{\text{max}}.$$

Нормы относительной погрешности измерения по каждому ИИК ТУ в соответствии с требованиями технического задания не должны превышать:

1. Для значений  $\cos \varphi \in [0,8; 1]$ :

- для области нагрузок до 2 % (относительная величина нагрузки ТТ) не нормируется;
- для области малых нагрузок (2–20 % включительно) не хуже 2,9 %;
- для диапазона нагрузок 20–120 % не хуже 1,7 %.

2. Для значений  $\cos \varphi \in [0,5; 0,8]$ :

- для области нагрузок до 2 % (относительная величина нагрузки ТТ) не нормируется;
- для области малых нагрузок (2–20 % включительно) не хуже 5,5 %;
- для диапазона нагрузок 20–120 % не хуже 3,0 %.

Значения предела допускаемых относительных погрешностей информационно-измерительного канала рассчитаны для значений первичного тока, равного 100 % от  $I_{\text{ном}}$ . Расчет значений погрешностей ведется при  $\cos \varphi = 1$ . В расчетах взята максимальная допустимая (по требованиям ПУЭ [3]) погрешность из-за потери напряжения в линии присоединения счетчика к трансформатору напряжения – 0,25 %. Реальная погрешность будет значительно меньше из-за небольшой длины линий присоединения.

Значения класса точности выбранных средств измерений: 0,5s для всех ТТ; 0,5 для всех ТН; 0,5s для всех счетчиков.

Полученные для разработанной системы автоматизированного учета электрической энергии промышленного предприятия результаты укладываются в заданные ограничения, что свидетельствует о корректном учете потребления электрической энергии промышленным предприятием. Введённая автоматизированная система будет выводить достоверную информацию, что позволит эффективно управлять электропотреблением: составлять планы потребления, распределять нагрузки внутри предприятия, отслеживать потребление вторичных абонентов.

### *Литература*

1. РД-153-34.0-11.209-99. Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии и мощности. Типовая методика выполнения измерений электроэнергии и мощности.
2. ГОСТ Р 8.596-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Изд. 7-е. – М. : Главгосэнергонадзор, 2018.

УДК 621.31

## **АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*Д.Ю. Хрипунов, Д.А. Кретов*

*Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти*

Интеллектуальная сеть определяется как сеть, основанная на новых технологиях с применением датчиков и оборудования для того, чтобы управлять передачей и распределением электрической энергии, а также повышать уровень надежности электроснабжения потребителей. При этом применение новых технологий в процессе передачи и распределения электрической энергии оказывает существенное влияние на безопасность системы электроснабжения, а также влияет на стоимость электрической энергии.

Основное преимущество интеллектуальной сети – это способность лучше интегрировать электрические станции, работающие на возобновляемых источниках энергии, в единую электроэнергетическую систему и контролировать потребление и производство электрической энергии благодаря возможностям создания и управления двунаправленными потоками энергии и данных между объектами генерации, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Инфраструктура интеллектуальной сети состоит из нескольких слоев, взаимодействующих между собой.

Первый слой – это компонентный уровень. В него входят физические устройства, он непосредственно принимает на себя информацию от других уровней и формирует отклик по соответствующим показателям.

Второй слой – это коммуникационный уровень. Этот слой, используя различные методы и протоколы передачи данных, связывает уровни сети и компоненты уровней между собой.

Третий слой – это информационный уровень. В нем непосредственно описаны модели данных и системы связи, используемые в сети для обмена информацией. Слой определяет логические функции или приложения, независимо от физической архитектуры сети.

Четвертый слой – это бизнес-уровень. В нем определены бизнес-модели и нормативные требования.

Для обеспечения управления энергией и передачи данных все слои связываются между собой, и каждый уровень связан с большим количеством систем для выполнения своей задачи.

Использование интеллектуальных сетей повышает качество электрической энергии, которое является основным фактором в электрических сетях. Концепция интеллектуальных сетей гарантирует эффективное управление качеством электроэнергии на основе интеллектуальной передачи и распределения электрической энергии. Управление качеством электроэнергии осуществляется за счет обеспечения быстродействующей связи между потребителями и распределительными сетями. Отклонение напряжения оказывает негативные последствия на режимы работы оборудования потребителя и может привести к выходу оборудования из строя. Использование интеллектуальных сетей позволит улучшить представление и эффективность электроэнергетической системы за счет оптимизации уровней напряжения.

Интеллектуальная сеть позволит, используя полученные данные, повысить эффективность управления электроэнергетической системой, принимая правильные, просчитанные решения в нужное время. Для того чтобы принимать взвешенные решения, интеллектуальные системы электроснабжения используют методы и модели оптимизации и управления. Получение достоверных данных о состоянии энергосистемы обеспечивается интегрированными системами мониторинга оборудования, которые позволяют диспетчерским и оперативным службам получать подробную информацию о работе сети в режиме реального времени.

С точки зрения предоставления электрической энергии как коммунальной услуги преимущества интеллектуальных сетей могут быть определены следующим образом:

- 1) совершенствование системы управления производством, передачей, распределением и потреблением электрической энергии;
- 2) повышение энергетической независимости за счет интеграции возобновляемых источников энергии в электроэнергетическую систему;
- 3) оптимизация режимов управления установленной мощностью в соответствии с реальными и/или спонтанными событиями в сети;
- 4) поддержание баланса мощности путем управления отклонениями напряжения в режиме реального времени;
- 5) повышение надежности систем электроснабжения и снижения воровства электрической энергии;
- 6) повышение качества предоставляемых услуг и обслуживания потребителей.

Потребитель в интеллектуальной сети является пользователем, при этом он может выступать как заказчик, который имеет возможность сам производить и продавать электрическую энергию, производимую альтернативными источниками энергии, в сеть. Применение в управлении режима реального времени для обмена информацией между самой системой управления и системами мониторинга позволяет выполнять измерения и оптимизацию потребления электрической энергии в системе электроснабжения. Кроме того, используя интеллектуальные приборы и оборудование, потребители смогут контролировать собственный расход в режиме реального времени и иметь возможность избежать режима максимальной нагрузки. Для этого они смогут использовать бытовые электрические приборы – стиральные машины, сушилки и посудомоечные машины – не в пиковый период времени суточного графика нагрузки, а в тот, когда цена на электрическую энергию самая низкая.

В результате потребители экономят не только собственные деньги, но и участвуют в режиме управления производством электрической энергии.

Важным компонентом интеллектуальной сети является информационная система. Она обеспечивает связь между различными компонентами всей интеллектуальной сети. Информационная система собирает значения по загрузке линий электропередачи, состоянии оборудования, потерях в сети, режимах потребления, которые

приходят с трансформаторных подстанций. Информационные системы включают в себя несколько компонентов:

1. Система диспетчерского контроля и сбора данных. Обеспечивает сбор данных от коммунальных служб, а затем использует полученные данные в процессе управления электросетевой инфраструктурой. Эта система связана с другими информационными системами: информация о потребителях, геоинформационная система (ГИС), развитая система учета, в которой информация от приборов учета передается как в саму систему, так и между приборами учета.

2. Система контроля и управления доступом и система управления отключениями. Эти системы являются основными, так как они взаимодействуют со всеми другими системами и совместно гарантируют надежность сети и удовлетворительное обслуживание потребителей.

#### *Литература*

1. Automatic Electrical Meter Reading System and Remote Monitoring Using Zigbee., January 2015, [http://www.irdindia.in/journal\\_ijeecs/pdf/vol2iss10/6](http://www.irdindia.in/journal_ijeecs/pdf/vol2iss10/6) (дата обращения: 09.09.2019).
2. Explain about 3 Basic Types of Energy Meters?, 8 March, 2014 <https://www.edgefx.in/introduction-on-energy-meter-different-types-of-energy-meters> (дата обращения: 09.09.2019).
3. Visualising urban energy use: the use of LiDAR and remote sensing data in urban energy planning, 29 December 2017, <https://link.springer.com/article/10.1186/s40327-017-0060-3> (дата обращения: 09.09.2019).

УДК 621.316.9

### **ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЗАЩИТЫ БЛИЖНЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ АВТОТРАНСФОРМАТОРА**

*Ф.Р. Сиразутдинов*

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань*

Отказ релейной защиты в отключении оборудования при коротких замыканиях является наиболее опасным нарушением, приводящим к обесточиванию потребителей, повреждению силового оборудования и устройств вторичной коммутации. Избежать или значительно уменьшить последствия подобных событий позволяют системы дальнего и ближнего резервирования релейной защиты.

Осуществление дальнего и ближнего резервирования релейной защиты линий электропередачи и трансформаторов относится к наиболее сложным решениям.

Накопленный опыт эксплуатации, расчетов уставок и обслуживания микропроцессорных защит автотрансформаторов дает понять, что система дальнего резервирования междуфазных КЗ на стороне НН АТ 220–500 кВ, действующей РЗ в голове питающих линий, неэффективна, а также позволяет выделить проблему, которая возникает при выборе параметров настроек резервных защит автотрансформаторов и требует решения.

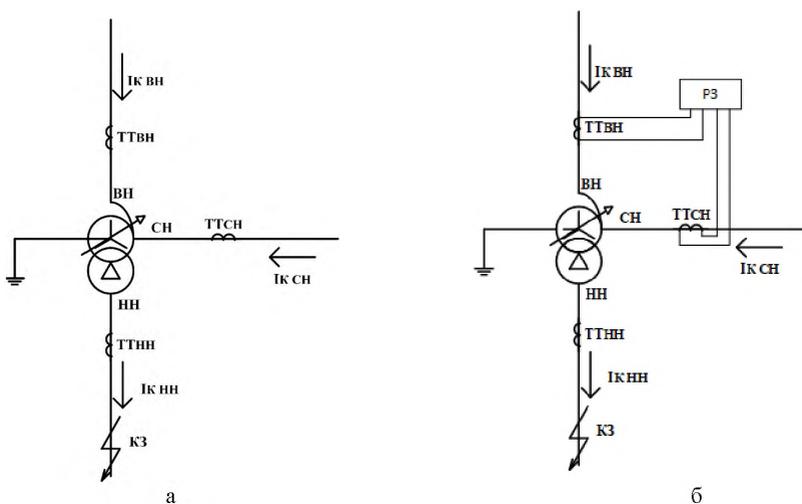


Рис. 1 а) КЗ на НН АТ; б) включение защит на сумму токов

Эта проблема заключается в сложности обеспечения чувствительности защит ближнего резервирования автотрансформаторов при междуфазных КЗ на стороне низкого напряжения АТ, что подтверждается конкретными расчетами уставок на большинстве объектов ОЗ РДУ Татарстана. Например, согласно рис. 1, а ликвидация междуфазных КЗ на стороне НН или на вводах НН АТ происходит только в каскаде (а в некоторых случаях 2 ступень ДЗ не чувствительна к междуфазным КЗ), что при неисправности или выводе из работы основной защиты может привести к серьезным повреждениям АТ.

Как известно, основным условием выбора уставок МТЗ и 2 ступени ДЗ АТ является обеспечение чувствительности к междуфазным КЗ в АТ и на шинах смежного напряжения.

Однако при выборе уставок по условию чувствительности к междуфазным КЗ на стороне НН АТ уставки по току или сопротивлению срабатывания невозможно отстроить от нагрузочного режима в сети смежного напряжения.

Решить данную проблему можно, подключив защиты на сумму токов, как показано на рис. 1, б.

Однако реализация такого рода защиты в большинстве случаев невозможна. Это объясняется отсутствием свободных кернов ТТ, встроенных во вводы автотрансформаторов на действующих объектах, которые можно было бы подключить на сумму токов, а также тем, что большинство резервных защит АТ не имеют возможности подключения дополнительных токовых цепей.

В таком случае решением организации защит ближнего резервирования на стороне низкого напряжения автотрансформаторов может стать установка дополнительного комплекта защит. Это ненаправленная одноступенчатая или двухступенчатая токовая защита от междуфазных КЗ на стороне низкого напряжения (НН) автотрансформаторов АТ-220 кВ (500 кВ) с двумя выдержками времени: на отключение ввода НН и на отключение всего АТ. Данная защита включена на трансформаторы тока общих (нейтральных) выводов обмоток АТ (косвенно на сумму токов сторон ВН и СН АТ), рис. 2. Защита является резервной к МТЗ на стороне НН АТ и к дифференциальной защите АТ при КЗ на стороне НН (элемент ближнего резервирования).

Основными условиями выбора уставки по току должна быть надёжная отстройка защиты ближнего резервирования от тока нагрузки, а также обеспечение необходимой чувствительности в зоне резервирования к междуфазным КЗ на стороне НН АТ в минимальном режиме.

Также для повышения эффективности защиты в условиях отказа или вывода из работы дифференциальной защиты автотрансформатора одним из решений может стать совершенствование работы микропроцессорной релейной защиты производства

ООО НПП «ЭКРА», установленной на большинстве объектов операционной зоны РДУ Татарстана, путем разработки новых алгоритмов работы релейной защиты и изменение ее логики (рис. 3). В качестве резервной защиты для АТ с высшим напряжением 220 кВ служит шкаф ШЭ2607 072 (071). Данный шкаф устанавливается на сторонах высшего и среднего напряжения АТ и содержит один комплект, реализующий функции ДЗ, ТНЗНП, МТЗ, ТО и АРПТ.

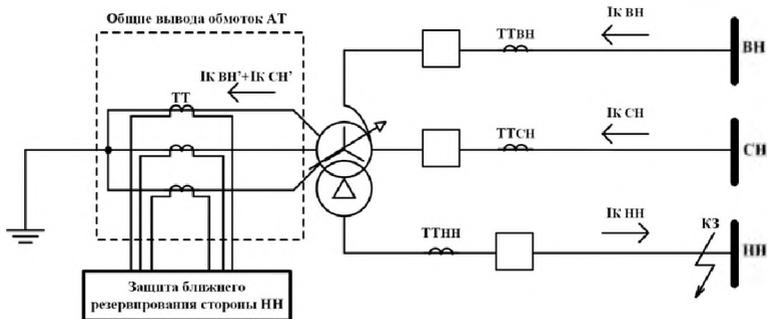


Рис. 2. Защита ближнего резервирования

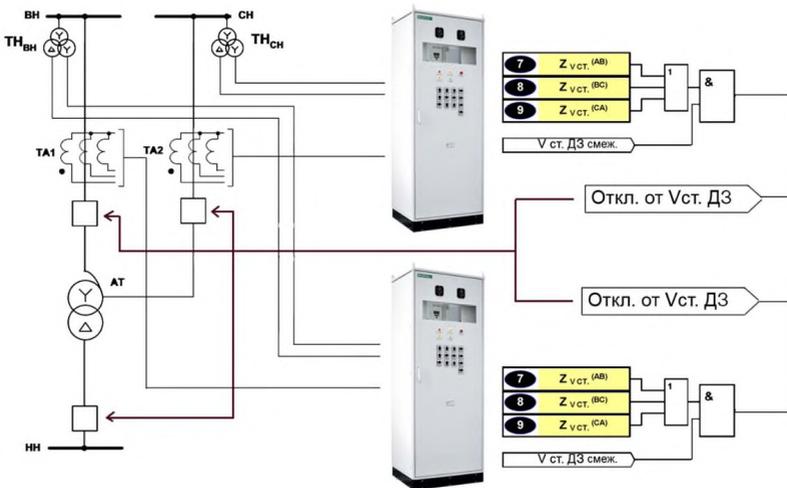


Рис. 3. Логика работы 5 ступени ДЗ

Для обеспечения быстрого отключения КЗ на стороне НН предлагается использовать 5 ступеней ДЗ (либо выделить дополнительную 6 ступень) с большими уставками по сопротивлению и выдержками времени, с включением на фазные токи и фазные напряжения с направлением их в АТ и действием на отключение АТ без выдержки времени или с  $t = 0,2$  с в случае КЗ на стороне НН или в АТ. При срабатывании реле сопротивления (РС) данной ступени и одновременном срабатывании РС 5(6) ступени ДЗ резервной защиты АТ смежной стороны или отключенного состояния выключателя смежной стороны (таким образом определяется факт КЗ в АТ или в сети НН АТ) защита действует на отключение. При пуске МТЗ НН, сигнал которой приходит на дискретные входы шкафов резервной защиты АТ стороны ВН и СН, защита ближнего резервирования действует с 1-й выдержкой времени на отключение выключателя НН АТ и далее со 2-й выдержкой времени на отключение всего АТ с запретом АПВ, т. е. резервирует действие МТЗ НН. При этом время срабатывания ЗБР согласовывается с временем срабатывания МТЗ НН. Если пуска МТЗ НН не было или защита отсутствует (АТ не ошинован по стороне НН), то защита ближнего резервирования действует на отключение всего АТ с запретом АПВ с минимальной выдержкой времени  $t = 0,2$  с – ЗБР с ускорением.

*Выводы.* Установка дополнительного комплекта ЗБР и изменение логики МП защит позволяет обеспечить надежную защиту автотрансформатора резервными защитами, а также существенно уменьшить время ликвидации короткого замыкания на стороне низкого напряжения автотрансформатора в условиях отказа на срабатывание основных защит АТ и повысить чувствительность защит ближнего резервирования.

#### *Литература*

1. Сиразутдинов Ф.Р. Повышение надежности защиты автотрансформатора с учетом ближнего и дальнего резервирования // Материалы докладов XII Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения» / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. В 3 т. – Казань : Казан. гос. энерг. ун-т., 2017. – Т. 1. – С. 335–336.
2. Руководящие указания по релейной защите Вып. 13А. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110–500 кВ: Схемы. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 112 с.

**Секция 4. ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ В ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

---

УДК 542.05

**СПОСОБ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДА  
ПРОИЗВОДСТВА КАПРОЛАКТАМА**

*Б.В. Важенин, П.А. Глухов*

*Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти*

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем химической промышленности является вторичная переработка промышленных отходов и рациональное использование природных ресурсов.

Особое внимание стоит обратить на процессы, протекающие с большим количеством побочных продуктов, такие как производство капролактама.

На сегодняшний день перед исследователями стоит важная задача разработки технологии вторичной переработки отходов вышеуказанного производства, позволяющей минимизировать объем затрачиваемой энергии, с возможностью получения наиболее востребованных продуктов. Это позволит расширить сферу применения получаемых в процессе синтеза капролактама побочных продуктов с наименьшими затратами и наибольшей выгодой для производителя.

Одним из наиболее крупнотоннажных отходов производства капролактама является ЩСПК (щелочной сток производства капролактама), представляющий собой водный раствор солей моно- и дикарбоновых кислот с различными примесями, ограничивающими его область применения. ЩСПК является результатом разделения продуктов окисления циклогексана на стадиях омыления, экстракции и ректификации. ЩСПК применяется в качестве добавки к сыпучим строительным материалам с целью снизить выдувание и пыление в процессе транспортировки и хранения, а также используется в нефтедобывающей промышленности.

Состав ЩСПК представлен в таблице [1].

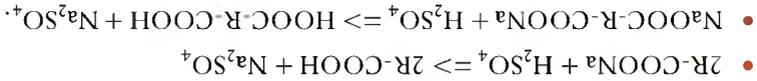
— высокая вязкость смолы, приводящая к снижению возможности ее дальнейшего применения;

Существенными недостатками данного метода являются:

того преимущественно входят основные продукты реакции.

ми карбоновыми кислотами (смола) и водным слоем, в состав кото-

В результате образуется двухфазная смесь с высокомолекулярны-



боновых кислот:

ный) с применением серной кислоты для получения моно- и дикар-

Известен [3] способ переработки (промышленно не реализован-

к кальцинированной соде.

рентабельностью и широкой областью применения по отношению

и сопутствующих продуктов [2], которые облагают гораздо больше

мышленного получения из ШСПК моно- и дикарбоновых кислот

В данном исследовании предлагается разработка способа про-

отраслях промышленности, например в пищевой.

получения ограничивает ее дальнейшее применение в некоторых

лизовывать ее практически без напленки. Кроме того, такой способ

ции (кальцинированной соды), что вынуждает производителя реа-

затраты, которые значительно увеличивают себестоимость продук-

расход природного газа и, соответственно, высокие энергетические

цинированной соды. Данная технология предполагает высокий

работки ШСПК является его сжигание с получением плава каль-

Единственным промышленно реализованным способом пере-

Компоненты (наименование)	Массовая доля, %
Пиктоксанол	Не более 0,8
Пиктоксанон	Не более 0,2
Натриевые соли органических кислот (в пересчете на алюминат натрия)	Не более 35
Смола	Не более 10
Гидроксид натрия	Не более 1,4
Вода	Не более 52,6

Качественный состав ШСПК

- низкая востребованность получаемого сульфата натрия;
- тепловой эффект реакции;
- высокая токсичность серной кислоты.

Предлагаемый к исследованию способ переработки отличается применением ортофосфорной кислоты. Это дает ряд следующих преимуществ:

- низкая вязкость смолы, ведущая к увеличению возможности ее дальнейшего применения;
- широко применяемые в промышленности фосфаты натрия (в частности для водоподготовки и производства удобрений);
- менее интенсивное (экзотермичность, пенообразование) протекание реакции в сравнении с применением серной кислоты;
- меньшая токсичность в сравнении с серной кислотой.

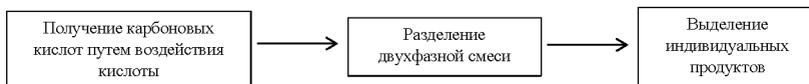
В рамках лабораторного исследования был проведен ряд опытов воздействия ортофосфорной кислоты на образец ЩСПК с различными мольными соотношениями компонентов кислота/ЩСПК. В результате чего было выявлено оптимальное соотношение – 3/1 (по скорости образования двухфазной смеси и наиболее четкой границе раздела фаз).

Далее водный слой был отделен и проанализирован на качественный состав методом ГЖХ (газожидкостной хроматографии). Результаты анализа представлены в таблице.

*Качественный состав водного слоя*

Определяемый компонент	Массовая доля, %
Муравьиная кислота	2,93
Пропионовая кислота	0,80
Масляная кислота	1,31
Валериановая кислота	9,60
Капроновая кислота	7,37
Малоновая кислота	0,06
Янтарная кислота	0,23
Глутаровая кислота	0,72
Адипиновая кислота	1,75
Оксикапроновая кислота	3,07
Сумма всех кислот	29,53

## Предполагаемые стадии промышленного процесса:



Рассматриваемый способ вторичной переработки позволяет существенно сократить затраты энергии и природных ресурсов (за счет исключения процесса сжигания ЩСПК), а также получить максимально востребованные широко применяемые продукты (карбоновые кислоты и фосфаты натрия).

### *Литература*

1. ЩСПК Щелочной сток производства капролактама. ТУ 2433-039-00205311-08.
2. Леванова С.В. Актуальные проблемы химии и нефтехимии. Сборник материалов «Научная школа с международным участием молодых ученых». Казань. 15–20 сентября 2011 г. С. 79–94.
3. Дружинина Ю.А., Глазко И.Л., Леванова С.В. Переработка капролактамосодержащих стоков в адипиновую кислоту // Экология и промышленность России. – 2008. – С. 7–9.

УДК 681.5

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОГРЕШНОСТИ ДОЗИРОВАНИЯ**

*А.Д. Ибатуллин, М.Г. Баширов*

*Филиал Уфимского государственного нефтяного технического  
университета, г. Салават*

Качество продукции и энергоэффективность технологического процесса являются важнейшими составляющими эффективности и рентабельности предприятия, поэтому этим показателям необходимо уделять должное внимание. Производство полиэтилена высокой плотности является одним из приоритетных направлений нефтеперерабатывающей промышленности. Дозирование стабилизаторов и добавок требует высокой точности, от этого зависят как качество продукции, так и энергозатраты, связанные с проведением

технологического процесса и переработкой продукции, не соответствующей установленным требованиям [1].

Точное регулирование компонентов смеси при дозировании сыпучих веществ обуславливает применение в промышленности дозировочных систем, различных по способу измерения и конструкции. Устройства должны иметь высокую точность и стабильность измерений. Данным требованиям в достаточной степени отвечают центробежные расходомеры при условии повышения их точности на базе более полного анализа степени влияния факторов различной физической природы на погрешность измерения.

При дозировании скорость вращения ротационного питателя регулируется в соответствии со скоростью подачи порошка. Соответственно, весовой расход порошка полиэтилена регулируется в зависимости от значения весового расхода, установленного на дозировочных весах. Расход добавок регулируется контуром каскадного управления. Главный контроллер регулирует требуемое количество добавок в соответствии с рецептурой, определяющей соотношение количества добавок и порошка полиэтилена.

Математической моделью называется совокупность математических соотношений, уравнений, неравенств и т. п., описывающих основные закономерности, присущие изучаемому процессу, объекту или системе [2]. Построение математических моделей объектов может производиться аналитическим или экспериментальным методом. В первом случае уравнения статики и динамики составляются на основе анализа физико-химических процессов, происходящих в объекте, и применения законов сохранения энергии и вещества. Для определения коэффициентов уравнения требуется постановка специальных трудоемких лабораторных исследований, но полученные математические модели могут быть распространены на целый класс объектов. Экспериментальные методы требуют минимальных сведений о сущности процессов, протекающих в исследуемых объектах, однако позволяют с приемлемой для практики точностью определять коэффициенты дифференциальных уравнений динамики. Эти методы просты в применении и позволяют сравнительно быстро получить математическое описание объекта.

Дозирование порошка полиэтилена является ответственным технологическим процессом. В зависимости от расхода главного продукта регулируются потоки стабилизаторов, необходимых для придания порошку необходимых свойств. Это обуславливает необходимость поддержания оптимальных параметров системы. Однако возмущения, связанные с качеством поступающего порошка, вносят погрешность в измерение действительного расхода, в связи с чем возникает рассогласование между заданным и рассчитанным значениями расхода. Об этом свидетельствует масса гранулированного полиэтилена в силосах гомогенизации, заполнение которых производилось на основе вычисления расхода, наблюдается нелинейная зависимость прироста массы гранулированного полиэтилена от уровня заполнения конкретного силоса, в который происходит отгрузка.

Для выявления параметров, влияющих на точность измерений, был проведен анализ с учетом следующих характеристик сыпучих материалов:

- гранулометрический состав (количественное распределение составляющих частиц по линейным размерам);
- насыпная плотность (масса материала, находящаяся в единице занимаемого им объема);
- влажность (отношение веса влаги, содержащейся в сыпучем материале, к весу влажного материала);
- нагрузка экструдера;
- коэффициент внутреннего трения и коэффициент трения о твердые несущие поверхности;
- текучесть (текучесть сыпучих материалов характеризует их способность вытекать с той или иной скоростью из отверстий);
- адгезия (способность частиц прилипать к твердым поверхностям);
- слеживаемость (способность частиц уплотняться, слеживаться, теряя сыпучесть);
- угол естественного откоса (угол, образуемый линией естественного откоса сыпучего материала с горизонтальной плоскостью).

Ввиду того, что гранулометрический состав, коэффициенты трения, адгезия, слеживаемость и угол естественного откоса остаются неизменными на всем протяжении ведения технологического процесса, было принято исключить данные параметры из уравнения модели объекта.

При анализе принципа работы центробежных расходомеров было выявлено, что скорость вращения крыльчатки зависит от плотности и влажности дозируемого порошка полиэтилена. Данные параметры вносят погрешность в систему дозирования. Связь между ними была установлена с помощью корреляционного анализа на основе статистических данных процесса.

$$y = -366,0129 + 403,538 \cdot x_1 + 180,3996 \cdot x_2.$$

Возможна экономическая интерпретация параметров модели: увеличение  $x_1$  (плотность полиэтилена) на 1 ед. изм. приводит к увеличению  $y$  в среднем на 403,538 ед. изм.; увеличение  $x_2$  (влажность полиэтилена) на 1 ед. изм. приводит к увеличению  $y$  в среднем на 180,4 ед. изм. Разработанная модель погрешности системы дозирования позволяет повысить качество выпускаемого полиэтилена благодаря возможности обеспечения оптимальных соотношений смешиваемых компонентов в соответствии с рецептурой (рис. 1).



Рис. 1. Показатели погрешностей (фактической и смоделированной)

Важной задачей оптимизации энергопотребления является обеспечение непрерывности технологического процесса, достигаемой применением современных методов и средств диагностики энергетического и технологического оборудования [3–5].

### *Литература*

1. Хафизов А.М., Фомичев С.С., Аслаев Р.Р., Баширов М.Г. Разработка автоматизированной системы мониторинга технологических процессов и электрооборудования предприятий нефтегазовой отрасли // Тинчуринские чтения. – 2015. С. 24–25.
2. Кузеев И.Р., Баширов М.Г., Прахов И.В., Баширова Э.М., Самородов А.В. Способ диагностики механизмов и систем с электрическим приводом // патент на изобретение RUS 2431152 23.11.2009.
3. Баширов М.Г., Хуснутдинова И.Г. Разработка электромагнитно-акустического метода диагностики электроэнергетического оборудования // Наука. Технология. Производство – 2014 : тезисы докладов Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2014. – С. 68–70.
4. Хуснутдинова И.Г., Баширов М.Г., Усманов Д.Р., Хуснутдинова Л.Г. Оценка степени поврежденности оболочковых конструкций с использованием электромагнитно-акустического метода контроля // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10–3. – С. 538–541.
5. Bashirov M.G., Minlibayev M.R., Hismatullin A.S. Increase of efficiency of cooling of the power oil transformers // Нефтегазовое дело. – 2014. – № 2. – С. 358–367.

УДК 628.316.6

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УФ-ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ПАО «ТОЛЬЯТТИАЗОТ»**

*Е.М. Кажаява, В.С. Гончаров*

*Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти*

В работе дана характеристика процесса ультрафиолетового обеззараживания сточных вод. На сегодняшний день ультрафиолетовое (УФ) обеззараживание воды считается одним из наиболее распространенных методов. Но проблема состоит в том, что ультрафиолет недостаточно хорошо уничтожает патогенные микроорганизмы, так как взвешенные частицы, присутствующие в очищенной сточной воде, выступают в роли своеобразного щита для этих организмов, что препятствует их уничтожению ультрафиолетом. Для решения данной проблемы необходимо усовершенствование технологии ультрафиолетового обеззараживания.

УФ-обеззараживание воды представляет собой электромагнитное излучение при длине волны от 10 до 400 нм. При обеззараживании питьевой воды используется длина волны 200–400 нм («ближняя область»). В современных УФ-установках излучение проводят при длине волны 253,7 нм.

Под воздействием УФ-лучей происходят фотохимические реакции в структуре молекул ДНК и РНК, которые составляют универсальную информационную основу механизма наследственности живых организмов. В результате этой реакции ДНК и РНК повреждаются. Также УФО нарушает структуру клеточных стенок и мембран микроорганизмов, что ведет их к гибели [1].

Ультрафиолетовое обеззараживание воды стало широко распространяться из-за отсутствия реагентной основы. Таким образом, исключается попадание в воду побочных продуктов и реагентов, и абсолютно не меняются физико-химические свойства воды.

Установка обеззараживания состоит из следующих частей (рис. 1):

- шкаф управления, предназначенный для управления и контроля работы установки, с напряжением питания 380/220 В и частотой питающего тока 50 Гц;
- камера обеззараживания, в состав которой входят 324 бактерицидные УФ-лампы (со сроком службы 12000 часов) с защитными кварцевыми чехлами, для облучения ультрафиолетом воды;
- блок промывки — для химической промывки кварцевых чехлов, защищающих лампы.

Очищенные сточные воды, которые прошли механическую, биологическую и доочистку на аэрируемых зернистых фильтрах, подаются на обеззараживание. Подаваемые сточные воды не должны содержать механических предметов и масляных веществ, приводящих к значительному загрязнению внутреннего объема камеры обеззараживания и разрушению углов камеры, ламп. Показатели поступающих сточных вод должны соответствовать средним показателям физико-химического качества, согласно нормативу водоотведения по составу сточных вод ПДС (предельно допустимый сброс) или ВСС (временно согласованный сброс, установленный лицензией на водопользование). В табл. 1 приведены показатели,

которым должны соответствовать поступающие на установки ультрафиолетового обеззараживания [4].

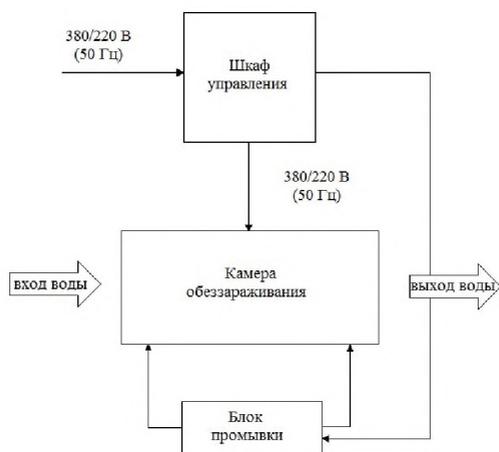


Рис.1. Схема установки обеззараживания воды УФ-излучением

Доза УФ-облучения должна быть не менее 30 мДж/см<sup>2</sup>. При приготовлении промывного раствора для установки используется раствор хлорной извести в случае обеззараживания установки и щавелевая кислота – в случае химической промывки [2].

Таблица 1

Критерии качества сточных вод, поступающих на обеззараживание УФ-излучением

№ п/п	Показатели	Допустимые уровни (не более)
1	Взвешенные вещества, мг/л	10
2	БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л	10
3	ХПК мгО/л	50
4	Число термотолерантных колиформных бактерий в 1 л	5 · 10 <sup>6</sup>
5	Колифаги БОЕ/л	5 · 10 <sup>4</sup>

УФ-обеззараживание воды не влияет на физико-химические свойства воды и при этом обезвреживает огромное количество вредных микроорганизмов. Применение обеззараживания воды ультрафиолетом можно считать оптимальным экономичным методом по сравнению с другими дорогостоящими методами обеззараживания.

Ультрафиолетовое обеззараживание воды происходит в считанные секунды даже при использовании минимальной дозы облучения [3].

УФ-обеззараживание воды в силу своей безреагентной основы допускает использование любых высоких доз облучения, что невозможно в других методах обеззараживания воды. Очищенная сточная вода, подвергнутая излучению ультрафиолетом, не несет вреда обитателям водоемов, в которые будут сброшены данные стоки. Это можно доказать с помощью кратковременного биотестирования (до 96 часов), определив острое токсическое действие очищенной сточной воды (после ультрафиолетового воздействия) на дафний по их выживаемости по методике ГОСТ Р 56236-2014 (ИСО 6341:2012) «Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных *Daphnia magna* Straus».

В ходе эксперимента было взято два стакана (для параллельного исследования образца) со 100 мл исследуемой воды и один стакан со 100 мл контрольного образца (культивационной водой). В каждый стакан поместили по 10 дафний возрастом 6–24 часа. И проводили наблюдение за количеством выживших дафний в течение 96 часов с интервалами 1 час, 2 часа, 6 часов, 24 часа, 48 часов, 72 часа и 96 часов [2]. Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Результаты эксперимента

Время от начала биотестирования, час	Количество выживших дафний				Среднее значение исследуемого образца	Смертность дафний в опыте, %
	Контрольный образец	Исследуемый образец 1	Исследуемый образец 2			
1	10	10	10	10	10	0
2	10	10	10	10	10	0
6	10	10	10	10	10	0
24	10	10	10	10	10	0
48	10	10	10	10	10	0
72	10	10	10	10	10	0
96	10	9	10	9,5	9,5	5
Среднее значение:					9,9	1

В результате эксперимента выявлено, что исследуемая вода нетоксичная.

Результат параллельных опытов показал, что лишь 1 % дафний элиминировали, что является очень хорошим показателем качества воды. Дафнии прекрасно себя чувствуют в данной воде, а значит, и более крупные организмы могут жить в такой воде.

Обеззараживание воды ультрафиолетом также можно использовать в качестве предварительной меры обеззараживания. При применении УФ-обеззараживания за счет высокой способности к дезинфекции возможно существенно сократить расходы химических реагентов-дезинфекторов или энергетические расходы на обеззараживание воды озонированием и другими способами [1].

Немалым недостатком УФ-обеззараживания воды является отсутствие последствий дезинфицирующих мер, так как действие ультрафиолетового обеззараживания одноразовое и после потери контакта с водой прекращается.

На эффективное функционирование бактерицидной установки, работающей по принципу обеззараживания воды ультрафиолетом, значительное влияние оказывает присутствие в воде взвешенных веществ. Взвешенные вещества играют роль щита для болезнетворных микробов, которые не смогут получить необходимую уничтожающую дозу облучения. Чем выше уровень содержания в воде взвешенных веществ, тем выше вероятность неэффективного воздействия УФ-излучения на микроорганизмы.

Следовательно, для полноценного функционирования обеззараживающей установки необходимым условием является применение дополнительных стадий водоочистки, предшествующих ультрафиолетовому обеззараживанию, в результате чего из воды будут удалены разного рода механические примеси.

Еще в середине 90-х годов XX века стал известен комбинированный метод обеззараживания воды, в котором используется одновременное действие на воду ультрафиолета и ультразвука. На основе этого метода была разработана новая технология «Лазурь», которая характеризуется непрерывной обработкой воды ультрафиолетовым излучением и ультразвуковым воздействием, с плотностью потока не менее  $40 \text{ мДж/см}^2$  и около  $2 \text{ Вт/см}^2$ , длиной волны 253,7 нм и 185 нм соответственно. Предлагаемая технология «Лазурь» для обеззараживания питьевых и сточных вод была успешно реализова-

на и апробирована в бактерицидных установках модульного исполнения серии «Лазурь-М» [6].

В корпусе камеры ультрафиолетового обеззараживания при обработке ультразвуком проходящего водного потока происходит образование короткоживущих парогазовых «каверн», появляющихся в момент локального разряжения в воде, которые схлопываются при сжатии с частотой в несколько десятков килогерц на неоднородностях в объеме установки. Роль неоднородностей играют бактерии и споры грибов. Из-за резкого изменения параметров воды, таких как температура и давление, происходит полное уничтожение патогенных микроорганизмов. Под воздействием ультразвукового излучения в объеме обрабатываемых сточных вод в камере установки возникает такой процесс, как объемная дегазация — появление множества микроскопических воздушных пузырьков. Основным преимуществом установок ультрафиолетового обеззараживания с ультразвуком являются более низкие требования к количеству взвешенных частиц в воде (до 20 мг/л), а также нет необходимости проводить очистку защитных чехлов ламп от биологического обрастания.

Также разработаны источники ультрафиолетового света высокой интенсивности, которые можно использовать для дезинфекции воды, сточных вод, воздуха и т. д. Термин «УФ-свет» или просто «УФ» применяется к электромагнитному излучению, испускаемому из области спектра, лежащей за пределами видимого света и перед рентгеновскими лучами. Верхний предел длины волны составляет 400 Нм (1 нм = 10 м), а нижний предел длины волны — 100 Нм, ниже которого излучение ионизирует практически все молекулы. Узкая полоса ультрафиолетового света, лежащая между длинами волн 200 и 300 Нм, часто называется бактерицидной областью, потому что ультрафиолетовый свет в этой области смертелен для микроорганизмов, включая бактерии, простейшие, вирусы, плесень, дрожжи, грибы, яйца нематод и водоросли. Наиболее разрушительная длина волны составляет 260 Нм, что очень близко к длине волны 254 Нм, создаваемой бактерицидными УФ-лампами низкого давления. Ультрафиолетовое излучение вызывает молекулярные перестройки в генетическом материале микроорганизмов, что

препятствует их размножению. Если микроорганизм не может размножаться, то он считается мертвым.

В итоге усовершенствовать процесс ультрафиолетового обеззараживания можно при помощи плоского построения камеры установки для сквозного просвечивания воды и одновременного применения ультразвука на очищенные сточные воды, тем самым сэкономив на промывном растворе для защитных чехлов ламп, но самое главное – повысив эффективность уничтожения различных бактерий даже при наличии взвешенных веществ.

#### *Литература*

1. Владимиров Ю.А. Действие УФ-излучения на мембранные структуры клеток / Ю.А. Владимиров, Д.И. Рошупкин // Биологическое действие ультрафиолетового излучения. – М. : Наука, 1975. – С. 32–38.
2. ГОСТ Р 56236-2014 (ИСО 6341:2012) «Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных *Daphnia magna* Straus». Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 ноября 2014 г. № 1627-ст. // Национальный стандарт Российской Федерации.
3. Зарубин Г.П. Современные методы очистки и обеззараживания питьевой воды / Г.П. Зарубин, Ю.В. Новиков. – М. : Медицина, 1976. – 192 с.
4. Потапченко Н.Г. Использование УФ-излучения в практике обеззараживания воды / Н.Г. Потапченко, О.С. Славук // Химия и технология воды. – 1989. – Т. 13. – № 12. – С. 1117–1129.
5. Соколов В.Ф. Обеззараживание воды бактерицидными лучами / В.Ф. Соколов. – М., 1961. – 276 с.
6. Ульянов А.Н. Обеззараживание питьевой воды и сточной воды ультрафиолетовым излучением и ультразвуком // Вода: химия и экология. – 2009. – № 3. – С. 11–15.

## ПОДХОДЫ К КАЧЕСТВЕННОМУ АНАЛИЗУ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД С ЦЕЛЬЮ ИХ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*М.В. Кравцова, Т.А. Захарова*

*Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти*

В результате очистки сточных вод на промышленных предприятиях образуется большое количество избыточного ила, илового осадка (осадка сточных вод). Одной из основных проблем при эффективной очистке становится утилизация осадков сточных вод. В результате биологической очистки сточных вод на ПАО «Тольяттиазот», основанной на способности микроорганизмов питаться находящимися в сточных водах органическими веществами (белками, углеводами, органическими веществами и т. п.), образуется приблизительно 15,8 т/сутки [8].

На очистных сооружениях и сооружениях водопереработки сточных вод систематически образуются осадки сточных вод, иловый осадок и активный ил, которые в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО) относятся к группе «9676800000 отходы от водоподготовки, обработки сточных вод и использования воды» [2].

Основными способами переработки и утилизации осадков сточных вод в России являются следующие: захоронение непосредственно на иловых площадках; метод прямого сжигания; анаэробное сбраживание; компостирование; стабилизация известью; установки сжигания и т. д.

Органическая часть осадков сточных вод быстро гнивает, выделяя неприятный запах, при этом увеличивается количество коллоидных и мелкодисперсных частиц, вследствие чего снижается водоотдача осадков. Основной составной частью сырого осадка, избыточного и уплотненного активного ила, а также сброженного осадка является вода, которая достаточно плохо отделяется от минеральных и органических частиц [3]. Почти во всех видах осадка (кроме отбросов с решеток и осадки из песколовок) содержится 90–99 % влаги, которая состоит из свободной, коллоидно-связанной и гигроскопической воды [1].

Уменьшение объема осадков сточных вод — это начальная стадия их обработки и предназначена для уплотнения. Наиболее распространены гравитационный и флотационный методы уплотнения. Гравитационное уплотнение осуществляется в отстойниках-уплотнителях; флотационное — в установках напорной флотации. Применяется также центробежное уплотнение осадков в гидроциклонах, центрифугах и сепараторах. Перспективно вибрационное уплотнение путем фильтрования осадка сточных вод через фильтрующие перегородки или с помощью погруженных в осадок вибрационных устройств [7].

Обезвоживание осуществлялось в основном сушкой осадков на иловых площадках. Однако низкая эффективность такого процесса, дефицит земельных участков в промышленных районах и загрязнение воздушной среды обусловили разработку и применение механического обезвоживания: вакуум-фильтрование, центрифугирование, фильтропрессование, термическая сушка. При проектировании цеха механического обезвоживания иловые площадки предусматриваются как аварийные [7].

На ПАО «Тольяттиазот» предусмотрена установка центрифугирования осадка, которая предназначена для снижения влажности сбреженного осадка с 97–98 до 70 % в целях уменьшения объема. Имеет производительность до 30 м<sup>3</sup>/час уплот.

Среднестатистический состав осадка очистных сооружений: состав осадка очистных сооружений колеблется в больших пределах (табл. 1).

Таблица 1

Среднестатистический состав осадка очистных сооружений

	Состав сырого осадка (% массы сухого вещества осадка)	Состав ила очистных сооружений (%)
Углерод (С)	35,4–87,8	44–75,8
Водород (Н)	4,5–8,7	5–8,2
Сера (S)	0,2–2,7	0,9–2,7
Азот (N)	1,8–8	3,3–9,8
Кислород (O)	7,6–35,4	12,5–43,2

В осадке присутствуют также и другие соединения. Активный ил – это суспензия, которая содержит аморфные хлопья. Складировается ил на шлам-накопителях. Влажность осадка 64–88 %. В осадке присутствуют как минеральные, так и органические вещества. Содержание органических веществ – 69 %, а содержание минеральных – 36 % [9].

В зависимости от сооружения состав отхода очистных сооружений различается. Химический состав осадков сточных вод (на сухое вещество) [6] с биологических очистных сооружений указан в табл. 2.

Таблица 2

Состав осадка очистных сооружений

Показатели	Москва (Курьяновская станция аэрации)	С-Пе- тербург (Пуш- кинская станция аэрации)	С-Пе- тербург (станции аэрации)	Сочи (после городских очистных сооруже- ний)	Шекино, Тюльская обл. (очист- ные соору- жения АО «Шекиноа- зот»)
1	2	3	4	5	6
Влажность, %	70,0	–	–	89,0	44,0
Органическое вещество, %	45,0	74,0	56,0	–	49,0
рНсол.	7,0	–	–	–	7,2
Азот общий, %	1,5	4,3	2,0	3,4	3,0
Zn, мг/кг	5000,0	960,0	1671,0	1669,0	52,0
Cd, мг/кг	50,0	26,0	7,0	6,0	0,9
Ni, мг/кг	400,0	130,0	33,0	100,0	10,0
Cr, мг/кг	4200,0	260,0	–	–	2,5
Pb, мг/кг	360,0	52,0	57,0	70,0	–
Cu, мг/кг	1100,0	445,0	276,0	406,0	3,0
Mn, мг/кг	520,0	825,0	97,0	760,0	–

Таблица 3

**Нормативные требования к осадкам сточных вод и методы  
определения их состава [6]**

Показатель	Норма	Метод
1	2	3
Влага, % не более	82	ГОСТ 26713-86*
* Вероятно, ошибка оригинала. Следует читать: ГОСТ 26713-85. Примечание изготовителя базы данных.		
Органическое вещество, % на сухой продукт, не менее	20	ГОСТ 26714-85
Кислотность, рН (КСl)	5,5–8,5	Установленная техническая документация
<b>Валовое содержание</b>		
Свинец (Pb), мг/кг не более	1000	Атомно-абсорбционный метод
Мышьяк (As), мг/кг не более	20	Атомно-абсорбционный метод
Ртуть (Hg), мг/кг не более	15	Атомно-абсорбционный метод
Кадмий (Cd), мг/кг не более	30	Атомно-абсорбционный метод
Никель (Ni), мг/кг не более	400	Атомно-абсорбционный метод
Хром (Cr <sup>3+</sup> ), мг/кг не более	1200	Атомно-абсорбционный метод
Марганец (Mn), мг/кг не более	2000	Атомно-абсорбционный метод
Цинк (Zn), мг/кг не более	4000	Атомно-абсорбционный метод
Медь (Cu), мг/кг не более	1500	Атомно-абсорбционный метод
Колититр, г не менее	0,01	Оценочные показатели санитарного состояния почвы населенных мест № 173/9-77, М., 1977
Яйца гельминтов (жизнеспособные), шт.	0	Оценочные показатели санитарного состояния почвы населенных мест № 173/9-77, М., 1977
Патогенные энтеробактерии клеток (по эпидпоказаниям)	0	Оценочные показатели санитарного состояния почвы населенных мест № 173/9-77, М., 1977

Накопление отходов в хранилищах на данный момент является одним из экологически опасных и экономически нецелесообразных способов. Поэтому иловый осадок очистных сооружений рекомендуют перерабатывать. Переработка осуществляется в три этапа.

1 этап. Обеззараживание. Производится дезинфицирующим средством «АлкоПерит» или другим, в котором основным компонентом является перекись водорода. Процесс обработки необходимо проводить в закрытом вентилируемом помещении в связи с выделением газа.

2 этап. Детоксикация. Вносится сорбент «Агроионит» и выдерживается около 2 часов.

3 этап. Обезвоживание.

«После обработки ил используют:

1. Как источник топлива.
2. В производстве кормовых белков.
3. Как органоминеральное удобрение.
4. На свалках и полигонах ТБО, в качестве подстилающего грунта.
5. Для плодородия песчаных почв – в качестве мелиоранта.
6. При производстве хлореллы – как питательная среда» [9].

#### *Литература*

1. Благоразумова А. М. Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод : учебное пособие. – СПб. : Лань, 2014. – 208 с.
2. ГОСТ Р 56226-2014. Осадки сточных вод. Методы отбора и подготовки проб.
3. ГОСТ Р 8.563–2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений (утв. и введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 15.12.2009 № 1253–ст). Введ. 2010–04–15. – М. : Стандартинформ, 2010. – 17 с.
4. Кичигин В.И. Обработка и утилизация осадков природных и сточных вод : учебное пособие / В.И. Кичигин, Е.Д. Палагин. – Самара : СГАСУ, 2008. – 204 с.
5. ПНД Ф 12.1:2.2:2.3:3.2-03. Методические рекомендации . Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления.
6. СанПиН 2.1.7.573–96. Санитарные нормы и правила. 2.1.7. Почва, очистка, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения.
7. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Введ. 01.01.2013. – М. : Минрегион России, 2012. – 97 с.

8. Харьковская национальная академия городского хозяйства методические указания [Электронный ресурс] // Методические указания / Харьковская национальная академия городского хозяйства. – URL <http://sg-pro.ru/articles/ochistka-stokov/sostav-osadka-ochistnykh-sooruzheniy/> (дата обращения: 15.05.2019).
9. Харьковская национальная академия городского хозяйства методические указания [Электронный ресурс] // Методические указания / Харьковская национальная академия городского хозяйства. – URL : <http://zavantag.com/docs/index-4409005.html> (дата обращения: 12.05.2019).

УДК 546.11:621.039(075.8)

## **СИСТЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

*О.В. Попов, В.С. Гончаров*

*Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти*

В работе дана характеристика получения электроэнергии на водородных топливных элементах с достижением максимального эффекта от применения комплекса альтернативных источников энергии. В данном докладе предлагаются гибридные схемы получения электроэнергии для обеспечения дома и автомобиля с электроприводом.

Рассмотрим предлагаемые схемы установок получения электроэнергии.

На рис. 1 показана упрощенная схема обеспечения дома электроэнергией.

В данной схеме авторы работы представляют комплекс альтернативных источников энергии и собственное предложение по удешевлению затрат на получение электролитического водорода и увеличению срока службы данной гибридной установки снабжения дома электроэнергией.

Начальными источниками получения электроэнергии являются солнечные батареи, расположенные на крыше дома, и ветрогенераторы на неодимовых магнитах, расположенные на мачтах вокруг дома. Получаемая на них электроэнергия накапливается в блоке аккумуляторов. Солнечные батареи и ветрогенераторы будут дополнять друг друга, а плюсом к данным источникам добавлена идея

авторов работы – применение генераторов на неодимовых магнитах, описанная далее.

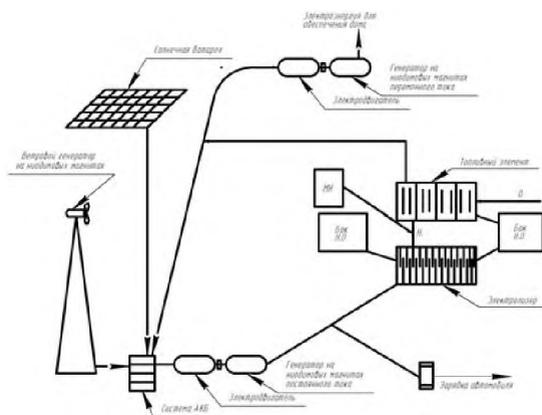


Рис. 1. Схема обеспечения дома электроэнергией

Получаемая электроэнергия накапливается в блоке аккумуляторов и направлена на электродвигатель привода генератора на неодимовых магнитах, который выдает постоянный электрический ток и усиливает силу тока, получаемую от блока аккумуляторных батарей. Электроэнергия от аккумуляторных батарей подается на привод электродвигателя (рис. 3), который вращает генератор на неодимовых магнитах, серии ВЭЛМА – 005 с габаритами  $180 \times 110 \times 121$  (рис. 2).



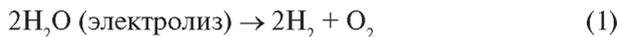
Рис. 2. Генератор на неодимовых магнитах [3]



Рис. 3. Электродвигатель серии МП – PENTA 5x [6]

В данной схеме можно предложить электродвигатель, работающий на постоянном электрическом токе (серия МП, выпускает компания «Сервомеханизмы», г. Челябинск) (рис. 3). Габаритные размеры такого электродвигателя серии МП – PENTA 5x: диаметр – 84 мм, длина – 145 мм; развивает до 3000 оборотов в минуту.

Генератор на неодимовых магнитах увеличивает силу тока и количество электроэнергии, что достаточно для работы блока электролизеров с ионообменной мембраной (рис. 5), где происходит следующая реакция [4]:



Получаемый электролитический водород поступает через систему металлгидридных аккумуляторов хранения водорода на блок водородных топливных элементов (рис. 4), где происходит следующая химическая реакция с использованием водорода и кислорода воздуха:

– водород  $\text{H}_2$  поступает на анодную часть топливных элементов (рис. 4), где происходит реакция, отражаемая уравнением



– соответственно, катодный процесс может быть представлен в виде



На топливном элементе снимается примерно 0,8 V постоянного электрического тока, а для работы электродвигателя достаточно 16 V, поэтому нам достаточен блок из двадцати сегментов топливных элементов.

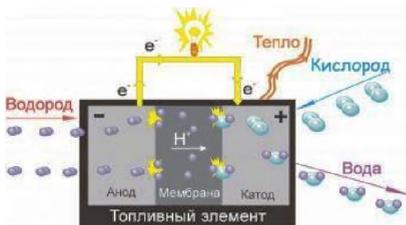


Рис. 4. Схема работы топливного элемента [5]

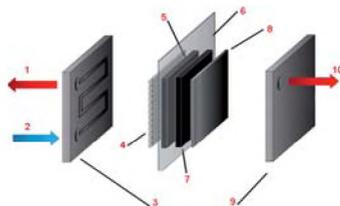


Рис. 5. Схема компонентов ячейки электролизера

Описание компонентов ячейки: 1 – выход кислорода; 2 – вход воды; 3 – поточная плата; 4 – титановый газоразрядный элемент; 5 – иридиевый катализатор; 6 – нафионовая ионообменная мембрана; 7 – платиновый катализатор; 8 – углеродный газоразрядный элемент; 9 – поточная плата; 10 – выход водорода.

Получаемая электроэнергия направляется на работу электродвигателя, связанного с генератором на неодимовых магнитах с получением переменного электрического тока, который обеспечивает потребление электроприборов в доме, а излишняя электроэнергия постоянного электрического тока направляется на зарядку блока аккумуляторных батарей.

Снабжение дома электроэнергией происходит даже ночью в безветренную погоду за счет работы блоков топливных элементов, которые обеспечиваются запасом водорода от системы хранения в металлгидридных аккумуляторах, а также есть возможность подключения для запуска процесса из баллона с газообразным водородом с редуцирующей системой подачи водорода.

Работа электролизера обеспечивается подачей воды из пополняемого резервуара, а также водой, получаемой после топливных элементов.

В предлагаемой гибридной установке обеспечения электроэнергией дома есть отвод постоянного тока для запуска электролитического процесса в автомобиле, схему работы которого мы рассмотрим ниже.

В предлагаемой гибридной схеме привода автомобиля (рис. 6) в отличие от предлагаемой гибридной схемы обеспечения дома нет системы получения электроэнергии от солнечных батарей и ветрогенераторов, хотя можно в данной схеме применить и эти решения. Установка солнечных батарей на крыше автомобиля и ветрогенераторов на крыше или в капоте автомобиля зависит от конструктивных особенностей автомобиля. То есть эта идея может быть реализована и дает дополнительный источник получения энергии электромобиля от возобновляемых альтернативных источников энергии.

Запуск автомобиля происходит от аккумуляторной батареи, которая дает энергию для вращения электродвигателя, приводящего в движение генератор на неодимовых магнитах, с которого берет-

ся энергия, достаточная для проведения электролиза воды, а также привода электродвигателя автомобиля. Электролиз воды происходит в пакете блока электролизера с ионообменной мембраной (рис. 6), где происходит разделение воды  $H_2O$  на водород  $H_2$  и кислород  $O_2$ , аналогично в предлагаемой схеме обеспечения электроэнергией дома.

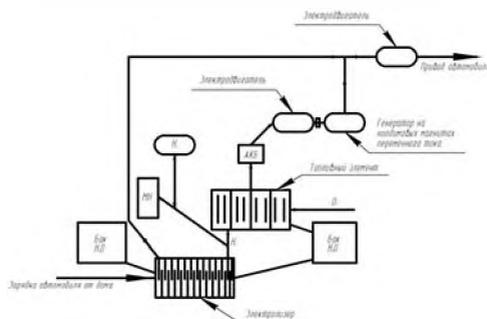


Рис. 6. Схема обеспечения электроэнергией автомобиля

Водород  $H_2$  идет через систему металлгидридных аккумуляторов, для накопления и сохранения водорода, затем к блоку топливных элементов, в которых происходит химическая реакция с получением электроэнергии по формулам (5), (6). Полученная электроэнергия идет на зарядку аккумулятора и далее по описанной схеме.

Блок электролизера, состоящий из ячеек, показанных на рис. 5, обеспечивается водой из заправляемого бака и водой, охлажденной в радиаторе автомобиля, полученной в блоке топливных элементов.

Блок топливных элементов обеспечивается водородом из аккумуляторов металлгидридной системы хранения водорода или предусмотренных для экстренных случаев баллона с газообразным водородом. Дополнительно авторами работы предложен способ включения электролизера автомобиля, используя подпитку от установки обеспечения электроэнергией дома.

Рассмотрим плюсы и минусы предлагаемых схем гибридных установок.

*К положительным аспектам можно отнести:*

1. Существующие источники энергии ограничены. Необходимо переходить к новым источникам энергии и иметь «чистую энергетику». Большая надежда – на водородную энергетику.

2. Экологическая безопасность – так как продуктами отхода являются вода, тепло и кислород.
3. Бесшумность – так как в топливном элементе нет вращающихся деталей, только химическая реакция, от генератора и двигателя почти нет шума.
4. Применение генераторов на постоянных (неодимовых) магнитах позволяет увеличить КПД установки, усиливает и увеличивает количество электроэнергии, получаемой на топливных элементах, а также продлевает срок службы предлагаемой установки, а самое главное – это существенное уменьшение затрат на проведение электролиза воды.
5. Практически неисчерпаемый запас топлива – воды ( $H_2O$ ).

*Но есть и отрицательные аспекты данной установки:*

1. Водородная энергетика требует приложение энергии для ее реализации. Работа топливного элемента обеспечивается водородом, который нужно получать, однако все существующие сейчас способы очень дорогие.
2. Высокая стоимость установки, так как применяются дорогие катализаторы (платина и иридий). Но с развитием современных технологий и науки авторы работы считают эту проблему решаемой.
3. Основные проблемы водородной энергетике заключаются в том, что получение вещества сопряжено с необходимостью траты иных энергоносителей (нефть, электричество, газ), а также высокой угрозой взрывов; водородо-воздушные смеси имеют широкие диапазоны воспламенения (14–75 %) и взрываемости (18,3–74 %) [1]. В данной схеме гибридной установки исключены аппараты с искрообразованием, и можно избежать взрыва, так как не создаются замкнутые пространства для скопления водорода, применяется металлгидридная система хранения водорода, что существенно увеличивает безопасность.

#### *Литература*

1. Радченко Р.В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В. Водород в энергетике : учеб. пособие. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 229 с.
2. Гребеников В.В. Электрогенераторы с постоянными магнитами для ветроустановок и микроГЭС // Гідроенергетика України. – 2011. – № 1. – С. 43–48.

3. <https://w-elma.com/catalog/vsem/> Генераторы на неодимовых магнитах (дата обращения 10.05.2019).
4. Якименко Л.М., Модылевская И.Д., Ткачек З.А. Электролиз воды. – Москва : Химия, 1970. – 264 с.
5. <http://portal-energo.ru/articles/details/id/802> – Виды топливных элементов (дата обращения: 17.03.2019).
6. [www.servomh.ru/elektrodivigateli/postoyannogo-toka/elektrodivigateli-postoyannogo-toka-penta](http://www.servomh.ru/elektrodivigateli/postoyannogo-toka/elektrodivigateli-postoyannogo-toka-penta) – Электродвигатели постоянного тока (дата обращения: 09.09.19.).

УДК 628.477

## **МОДИФИКАЦИЯ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ МЕТОДОМ ПРЯМОЙ ЖИДКОФАЗНОЙ ГИДРОГЕНИЗАЦИИ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

*И.В. Цветкова, К.Ф. Байбакова, Р.Н. Итахунов*

*Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти*

Исследована возможность модификации высокомолекулярных нефтяных остатков методом прямой жидкофазной гидрогенизации.

В качестве объектов исследования выступили высокомолекулярные нефтяные остатки, представляющие собой сложную многокомпонентную систему различных классов соединений, таких как отработанные моторные масла и тяжелые кубовые остатки процессов нефтепереработки.

Все исследуемые образцы были подвергнуты центрифугированию с последующим удалением механических примесей методом фильтрации.

После проведения очистки от механических примесей были определены физические характеристики исследуемых образцов (плотность и вязкость). Результаты исследования плотности образцов приведены в табл. 1. Базовое моторное масло имеет стандартную плотность, составляющую 0,850 г/см<sup>3</sup>.

Наличие продуктов окисления, металлов и загрязнений обуславливает высокое значение удельного веса исследуемых образцов.

Вязкость определялась вискозиметром ВПЖ-2 с диаметром капилляра 2,37 мм при 20 и 40 °С согласно методике 7. Результаты определения представлены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты исследования плотности образцов  
(при пробеге 400 мото-часов)

№ п/п	Тип масла	Тип автомобиля	Тип топлива	Условия эксплуатации	Видимая плотность, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	Моторное ММО <sub>1</sub> полусинтетическое	Газель	Газ – пропан-бутановая смесь	400 °С 3–4 атм	0,86199
2	Моторное ММО <sub>1</sub> полусинтетическое	Пикап	Бензин	400 °С	0,86448
3	Моторное специальное МО <sub>2</sub>	–	Дизель	400 °С	0,89962
4	Тяжелый кубовый остаток	–	–	–	0,86677

Таблица 2

Результаты определения кинематической вязкости  
исследуемых образцов

№ п/п	$\nu$ , сСт при 20 °С	$\nu$ , сСт при 40 °С
1	213,36	117,35
2	210,74	115,91
3	215,93	118,87
4	214,67	118,07

Присутствие ненасыщенных соединений устанавливалось методом йодометрии. При определении пользовались избытком спиртового раствора йода с последующим титрованием непрореагировавшего йода стандартным раствором тиосульфата натрия [2]. Результаты определения йодного числа представлены в табл. 3.

Из представленных результатов можно сделать вывод, что образцы № 2, 3, 4 содержат значительное количество непредельных соединений, в основном олефинов, являющихся реакционноспособными веществами, содержащихся в высокомолекулярных нефтяных остатках. С целью снижения количества олефинов в пробах было предложено провести гидрирование в жидкой фазе.

Результаты определения йодного числа  
исследуемых образцов

№ п/п	Объем холостой пробы, мл	Объем пробы № 1, мл	Объем пробы № 2, мл	Объем пробы № 3, мл	Объем пробы № 4, мл
1	8,70	2,80	0,90	0,60	0,90
2	8,60	2,60	0,90	0,60	0,80
3	8,60	2,70	0,80	0,80	0,80
4	8,70	2,80	1,00	0,80	0,90
5	8,60	2,80	0,90	0,60	0,90
6	8,60	2,80	0,90	0,80	0,80
7	9,00	2,30	0,80	0,80	0,80
8	8,60	2,80	1,00	0,60	0,80
Ср. знач.	8,70	2,68	0,90	0,70	0,83
Й. Ч.		23,17	70,70	72,51	71,38

В качестве гидрирующего агента использовался гидразин гидрат. За основу предполагаемой технологии был взят патент RU 2456262 С1 [3].

Процесс гидрирования проводился при соотношении (в мл) ОММ: гидразин гидрат – 50:10. Компоненты загружались в круглодонную колбу в виде спиртовых растворов (растворитель – изопропиловый спирт). Процесс проводили при температуре 90–100 °С при постоянном перемешивании магнитной мешалкой. Кипятили реакционную массу при интенсивном перемешивании в течение 1 часа, после чего отбирали пробу на определение йодного числа. После того как были получены удовлетворительные анализы на содержание непредельных соединений, реакционную массу подвергли разгонке при температуре кипения изопропанола (80–82 °С). Повторный анализ на определение йодного числа провели после отделения растворителя. Результаты приведены на рис. 1.

После модификации образцов повторно определили их вязкость (рис. 2).

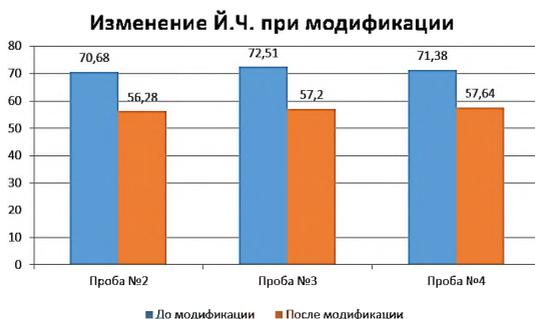


Рис. 1. Диаграмма изменения йодного числа образцов № 2, 3, 4



Рис. 2. Диаграмма изменения кинематической вязкости образцов № 2, 3, 4

Таким образом, из представленных данных можно отметить высокую эффективность применения в жидкой фазе гидразин гидрата как гидрирующего агента непредельных соединений, содержащихся в отработанных маслах и тяжелых высокомолекулярных остатках.

#### *Литература*

1. Сагдеева Г.С., Патракова Г.Р. Переработка отходов производства и потребления с использованием их ресурсного потенциала // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 6. – С. 194–198.
2. Григорьева О.В. Исследование и разработка новых эффективных ингибиторов коррозии на базе отработанного моторного масла. – Тольятти, 2016. – 61 с.
3. Байбакова К.Ф. Разработка способа жидкофазного гидрирования высокомолекулярных нефтяных остатков. – Тольятти, 2019. – 66 с.

## ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАССЕИВАНИЯ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ДИОКСИДА СЕРЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

*С.А. Якунин, А.Р. Шагидуллин, Р.Р. Шипилова  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева, г. Казань  
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань*

Диоксид серы является основной примесью, контроль содержания которой обязателен в атмосферном воздухе городов РФ. Источниками поступления диоксида серы в окружающую среду являются процессы сжигания угля и нефти. Крупнейшими стационарными источниками выбросов диоксида серы являются тепловые электростанции, работающие на твердом и жидком топливе, а также металлургические предприятия. Большинство из этих источников осуществляют выбросы из труб на высоте 100–200 м от поверхности земли, что обеспечивает их рассеивание и разбавление до концентраций ниже ПДК. Передвижные источники загрязнения также обеспечивают поступление диоксида серы в атмосферный воздух городов, причем при условиях, способствующих накоплению данной примеси в приземном слое атмосферного воздуха. Данная примесь подлежит химической трансформации за счет протекания фотохимических реакции с образованием  $\text{SO}_3$ , серной кислоты и сульфатов [1–5].

Для оценки влияния метеорологических параметров на изменчивость концентрации диоксида серы в приземном слое атмосферного воздуха нами проводился корреляционный анализ. По данным АСКЗА максимальная измеренная концентрация диоксида серы составила  $0,0099 \text{ мг/м}^3$ . При этом измерены следующие значения метеопараметров: скорость ветра – 1,1 м/с, атмосферное давление – 738,4 мм рт. ст., температура воздуха –  $22,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . А минимальная концентрация диоксида серы составила  $0,0044 \text{ мг/м}^3$ . При этом метеопараметры имели следующие значения: скорость ветра – 3,5 м/с, атмосферное давление – 756,2 мм рт. ст. То есть, максимальная концентрация диоксида серы формировалась при слабом ветре, низком

атмосферном давлении. При расчете коэффициента корреляции можно установить силу связи между сравниваемыми параметрами. При отрицательном значении коэффициента парной корреляции значения силы связи между переменными меняют на противоположные. В результате расчетов коэффициент парной корреляции (концентрация ( $\text{SO}_2$ ) и значения скорости ветра) получил значение, равное  $(-0,13274)$ . В результате расчетов коэффициент парной корреляции (концентрация ( $\text{SO}_2$ ) и значения температуры атмосферного воздуха) получил значение, равное  $(-0,24908)$ . В результате расчетов коэффициент парной корреляции (концентрация ( $\text{SO}_2$ ) и значения атмосферного давления) получил значение, равное  $(-0,96159)$ . На основе результатов расчета формулируется вывод о том, что параметр (атмосферное давление) по модулю оказывает большее влияние на концентрацию  $\text{SO}_2$  в атмосферном воздухе. Изменчивость концентрации диоксида серы от атмосферного давления показана на точечной диаграмме (рис. 1).

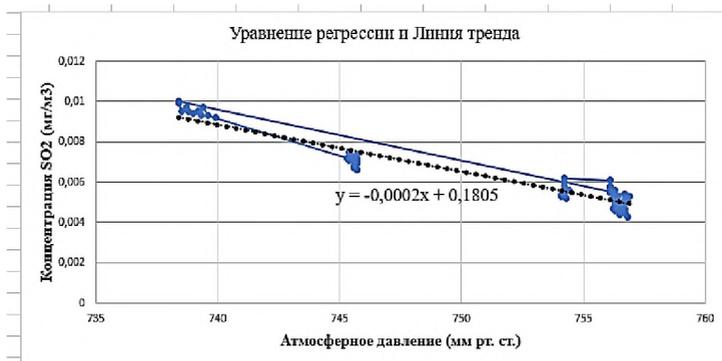


Рис. 1. Зависимость концентрации диоксида серы от атмосферного давления

При уменьшении значения атмосферного давления пропорционально увеличивается концентрация диоксида серы, а при увеличении атмосферного давления идет увеличение концентрации диоксида серы. Таким образом, сила связи концентрации диоксида серы и атмосферного давления является высокой. Коэффициент корреляции близок к 1, что свидетельствует о сильной взаимосвязи, зави-

симось параметров прямо пропорциональная. Прогноз изменчивости атмосферного давления для управлений выбросами диоксида серы является приоритетным.

*Литература*

1. Демиденко Г.А., Жирнова Д.Ф. Экологический мониторинг загрязнения окружающей среды // Вестник КрасГАУ. – 2013. – №10. – С. 109–110.
2. ГОСТ Р 56162-2014 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктов. – М.: Атмосфера, 2014.
3. Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Григорьева И.Г. Учет метеорологических факторов, формирующих уровень загрязнения приземного слоя атмосферы в зонах действия полимерных производств // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – № 19. – С. 75–77.
4. Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Новикова С.В., Шмакова Ю.А. Распознавание групп неблагоприятных метеорологических условий формирования высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха в зонах действия полимерных производств (на примере г. Нижнекамска). Сообщение 3 // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 16. – С. 119–121.
5. Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Шагидуллин А.Р., Новикова С.В. Инвентаризация выбросов от автомобильного транспорта в зонах концентрации полимерных производств // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – № 3. – С. 139–142.

## Содержание

### *Секция 1. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ*

<i>Т.Х. Айсина, А.Г. Сошинов.</i> Анализ и способы снижения влияния нелинейных нагрузок на показатели качества электрической энергии как направление энергоэффективности .....	4
<i>А.А. Андреев.</i> Энергоэффективные мероприятия в системах городского магистрального освещения .....	8
<i>Н.А. Анисимова, А.В. Варганова.</i> Оптимальные режимы работы промышленных источников тепловой и электрической энергии .....	12
<i>К.А. Бардакова, А.Г. Сошинов.</i> Накопители электроэнергии – перспективные энергоэффективные устройства в солнечной и ветровой энергетике .....	16
<i>Э.М. Баширова, А.А. Феоктистов.</i> Повышение эксплуатационной надежности металлических опор воздушных линий электропередачи .....	20
<i>В.В. Бурусов, О.В. Самолина.</i> Нанометровые антенны как угроза энергобезопасности .....	24
<i>А.В. Бычков.</i> Мероприятия по повышению энергоэффективности сетей электроснабжения .....	27
<i>Ю.В. Видулова, И.Е. Болонова, И.С. Бондаренко, О.И. Синичкин.</i> Сравнительный анализ использования вакуумных и элегазовых силовых выключателей в РУ 6–10 КВ .....	30
<i>Ю.В. Видулова, И.Е. Болонова, И.С. Бондаренко, О.И. Синичкин.</i> Анализ применения птицезащитных устройств на линиях электропередачи в г. о. Тольятти .....	33
<i>Н.Е. Данилина, С.В. Андреев.</i> Эколого-энергетическая безопасность при производстве открытых горных работ в АО «Жигулевское карьероуправление» .....	36

<i>Н.Е. Данилина, О.О. Трынова. Пожарная безопасность электроустановок как критерий пожарной безопасности образовательных учреждений .....</i>	40
<i>А.Р. Денисова, Г.А. Аманова. Надежность кабельных линий в арктической зоне .....</i>	44
<i>А.Р. Денисова, З.Р. Закирова. Энергосберегающие технологии в системах освещения .....</i>	48
<i>А.Р. Денисова, А.Р. Фархутдинов. Внедрение систем интеллектуального учета электроэнергии и повышение наблюдаемости в высоковольтных сетях ПАО «Татнефть» .....</i>	53
<i>А.В. Ершов, А.В. Лысов, В.Д. Куликов. Цифровая подстанция как будущее электроэнергетики .....</i>	58
<i>И.В. Жукова, А.Н. Черненко. FMEA-анализ как инновационный метод в энергоменеджменте .....</i>	62
<i>О.А. Зенина, С.Н. Тихонин, К.Н. Бахтияров, В.С. Галушак. Расчет потерь мощности в изоляторах ЛЭП на токи утечки ....</i>	66
<i>В.Р. Иванова, Н.В. Роженцова. Электроснабжение многоэтажных жилых домов с применением автономных комплектов фотоэлектрических модулей .....</i>	70
<i>А.А. Капитанова, Р.Ф. Ахтямов. Сеть датчиков контроля и определения места повреждения для подземных распределительных линий .....</i>	75
<i>Е.К. Козлова, С.М. Чеканаускене. Коммерческие потери в сетях электрической энергии как прямой убыток сетевой компании .....</i>	81
<i>В.А. Коровина. Погодозависимое управление отоплением .....</i>	85
<i>А.В. Космыль, Д.Ю. Романович, С.А. Коростелева, П.А. Чепухина, С.М. Чеканаускене. Применение систем мониторинга ЛЭП .....</i>	89
<i>В.К. Котов. Влияние энергоэффективных систем освещения на показатели качества электрической энергии и мероприятия по повышению энергоэффективности данных систем .....</i>	96

<i>С.М. Крайнов.</i> Применение кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в распределительных кабельных сетях 10 кВ .....	98
<i>Н.Н. Кутырев, А.Ю. Глыга.</i> Модернизация системы учета электроэнергии .....	101
<i>П.И. Ложкин, И.Г. Евдокимов.</i> Анализ электрических сетей 10 кВ Автозаводского района города Тольятти .....	104
<i>Л.Б. Москалев, Д.А. Кретов.</i> Анализ цифровых устройств релейной защиты и автоматики для контроля параметров режима работы электроэнергетических систем .....	107
<i>В.Р. Пехтелева, Н.Ю. Шевченко.</i> Повышение энергетической эффективности воздушных линий электропередачи .....	110
<i>Е.Е. Пульцин, А.В. Неборак, П.Н. Мокеев, Д.С. Пантелеев, О.В. Самолина.</i> Анализ протоколов управления освещением .....	114
<i>Н.Ю. Пуштрынов, Д.А. Нагаев.</i> Влияние неравномерной нагрузки фаз на энергоэффективность .....	118
<i>Н.В. Роженцова, М.В. Пятникова.</i> Энергосбережение и повышение энергоэффективности в сфере ЖКХ .....	120
<i>А.И. Рудаков, И.И. Фаттахов, В.А. Максимова.</i> Повышение энергоэффективности импульсных генерирующих систем за счет использования электромагнитного резонанса .....	124
<i>Д.О. Фадеев, В.И. Платов.</i> Энергоснабжение мобильных группировок .....	128
<i>С.М. Чеканаускене, Е.К. Козлова.</i> Проблема эффективного функционирования организаций электросетевого комплекса и развития интеллектуальных сетей .....	132
<i>А.В. Черниченко, Т.Л. Долгопол.</i> Влияние ветро-дизельных электростанций на окружающую среду .....	137
<i>М.Д. Чивелева, Л.Н. Горина.</i> Методология оценки рисков на объектах энергетики .....	140

<i>В.В. Чиндин, Д.А. Кретов.</i> Использование цифровых устройств релейной защиты для интеграции с системами мониторинга аварийных ситуаций в электроэнергетических системах .....	144
<i>О.Е. Шепилова, А.В. Малафеев.</i> Подход к управлению потерями электроэнергии в территориальной сетевой организации на примере АО «Горэлектросеть» г. Магнитогорска .....	148

*Секция 2. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ  
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ*

<i>Э.М. Баширова, И.Г. Хуснутдинова, Р.Д. Биткулов.</i> Разработка программного обеспечения для электромагнитно-акустического метода диагностики энергетического оборудования .....	152
<i>Д.Г. Вольницев.</i> Выбор закона автоматического регулирования возбуждения синхронного двигателя .....	156
<i>А.В. Гладченко.</i> Влияние экономии финансов и государственной политики на эксплуатацию электрооборудования .....	159
<i>И.В. Горохов.</i> Расчет дополнительных потерь активной мощности в конструктивных элементах однофазного силового автотрансформатора в присутствии квазипостоянного тока .....	163
<i>В.А. Губарев.</i> Способы вибрационного контроля силовых трансформаторов .....	166
<i>В.В. Коваленко, А.Р. Васильковский.</i> Экономически выгодные режимы работы комбинированной электростанции на основе солнечных панелей и топливных элементов .....	171
<i>И.Г. Евдокимов, П.И. Ложкин.</i> Способы регулирования частоты асинхронных двигателей .....	174
<i>Е.М. Коныс, Э.М. Сафин, И.В. Прахов.</i> Некоторые особенности диагностики изоляции электрооборудования .....	178

<i>А.С. Коробец, С.Ф. Степанов.</i> Применение системы утилизации низкопотенциального тепла для генерации электроэнергии с использованием объединенной конструкции турбины-генератора .....	182
<i>Д.М. Кочеганов, А.В. Серебряков.</i> Применение аппарата нечеткой логики для оценки качества функционирования синхронного генератора .....	186
<i>Н.В. Лисин, Д.А. Кретов.</i> Моделирование установившегося режима системы электроснабжения промышленного предприятия для анализа устойчивости работы высоковольтной асинхронной нагрузки .....	189
<i>Е.Ю. Мавлекаев, Р.Ф. Сайфутдинов, Р.Г. Вильданов.</i> Применение искусственной нейронной сети в задачах диагностики маслонаполненного электрооборудования .....	193
<i>А.В. Майоров.</i> Снижение энергозатрат на установке КФК-85 при запуске оборудования в технологический режим .....	196
<i>А.В. Майоров, Н.В. Прокофьев, Д.В. Рябенко.</i> Снижение энергозатрат при индукционном нагреве ферромагнитных заготовок перед пластической деформацией .....	200
<i>М.Р. Минлибаев, Р.А. Давлетишин.</i> Исследование свойств элегазовых пузырьков в трансформаторах .....	204
<i>С.О. Михайлин, Н.Ю. Шевченко.</i> Анализ энергоэффективности распределительных трансформаторов .....	207
<i>П.Н. Мокеев, А.В. Неборак, А.Н. Черненко.</i> Анализ перспектив применения компактных газотурбинных установок в рамках системы распределенной генерации .....	211
<i>Д.С. Пантелеев, Е.В. Лебедев, Е.Е. Пульцин.</i> Частотное регулирование электроприводов .....	215
<i>А.С. Саксонов.</i> Эффективность применения частотно-регулируемого электропривода для циркуляционных насосов ТЭЦ .....	219

<i>Ю.Б. Самигуллина.</i> Преимущества и сфера применения трансформаторной схемы Скотта .....	222
<i>Д.А. Симанчев, Н.В. Лисин.</i> Расчет параметров схемы замещения асинхронной высоковольтной нагрузки для создания компьютерной модели .....	226
<i>А.С. Хисматуллин, И.С. Васильев.</i> Повышение энергетической эффективности силовых трансформаторов .....	229
<i>Д.Г. Чурагулов, И.С. Шлейников.</i> Интеллектуальная система контроля и управления техническим состоянием и энергетической эффективностью электропривода машинных агрегатов .....	233
<i>И.А. Ярмухаметов, Н.В. Роженцова.</i> Разработка стенда для диагностики послеремонтных асинхронных электродвигателей до 1 кв .....	237

*Секция 3. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ  
В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ*

<i>Р.И. Ахметсагиров, С.С. Кибкало.</i> Энергоэффективная индукционная система для технологического нагрева неэлектропроводных жидкостей .....	241
<i>Р.Ф. Ахтямов, А.А. Капитанова, Ю.В. Черненко.</i> Умное уличное освещение .....	245
<i>Э.М. Баширова, И.Д. Гилязетдинов.</i> Энергосбережение в системах обратного водоснабжения нефтегазовых производств .....	248
<i>Е.Е. Вакилова.</i> Интерфейс RS 485 .....	253
<i>И.В. Власов.</i> Обзор функций микропроцессорных терминалов защит серии БЭ2502 НПП «ЭКРА» .....	256
<i>А.В. Дайнеко.</i> Анализ влияния работы статических конденсаторных установок на коэффициент реактивной мощности системы электроснабжения промышленного предприятия .....	260

<i>А.В. Иванов, Ал. С. Власов, Ан. С. Власов.</i> Программно-аппаратное моделирование ветроэнергетической установки .....	264
<i>А.В. Иванов, Н.И. Эрдили.</i> Разработка программно- аппаратного комплекса изолированной системы электропитания с возобновляемыми источниками энергии .....	267
<i>В.Д. Костюков, Д.А. Кретов.</i> Методика технико- экономического анализа периода окупаемости ГПЭС на промышленном объекте .....	271
<i>К.А. Крышко, А.М. Хафизов, Э.М. Баширова.</i> Повышение энергетической эффективности и безопасности трубчатых печей путем совершенствования системы управления на основе использования генетических алгоритмов .....	274
<i>Е.А. Ксенофонтова.</i> АВР на промышленных контроллерах в системах энергоснабжения технологического оборудования для производства автомобилей .....	278
<i>Э.Н. Кулуев, Д.А. Кретов.</i> Анализ тенденций мирового развития распределенной генерации .....	283
<i>Е.В. Лебедев, Д.О. Фадеев, Д.А. Парпишов, О.В. Самолина.</i> Особенности организации систем технического учета электроэнергии на производстве .....	287
<i>М.А. Максимова, Д.В. Сурков, Д.В. Колпаков.</i> Оптимизация параметров индукционного нагревателя для подогрева нефти .....	291
<i>И.А. Малик, М.И. Ващенко.</i> Умные энергосистемы в Испании .....	294
<i>М.А. Назаров, Ю.В. Черненко.</i> Умное освещение жилых и общественных зданий .....	297
<i>А.В. Неборак.</i> Повышение энергетической эффективности центрального кондиционера с секциями подогрева .....	301

<i>А.В. Неборак, А.Н. Черненко.</i> Применение архитектуры виртуальной электростанции в рамках интеллектуальной сети электроснабжения .....	305
<i>Е.Д. Новов, Ю.В. Черненко.</i> Влияние микропроцессорной релейной защиты на энергоэффективность системы электроснабжения .....	309
<i>В.В. Новокрещенов, В.Р. Иванова.</i> Обзор устройств релейной защиты и автоматики и измерительных преобразователей электрического тока, применяемых при проектировании интеллектуальных и активно-адаптивных сетей .....	313
<i>Н.В. Роженцова, Д.П. Спасов, А.Р. Галаутдинова.</i> Кибербезопасность и информационная безопасность в автоматизированных системах управления .....	317
<i>В.Т. Сидорова, Е.Г. Рокина.</i> Выбор регулятора реактивной мощности для эффективной компенсации в воздушных сетях низкого напряжения .....	321
<i>С.Н. Тихонин, О.А. Зенина, В.С. Галушак, А.Г. Сошинов.</i> Основные элементы и экономический расчет солнечно-ветровой электростанции (СВЭ) предприятия .....	323
<i>Е.В. Трутнева, А.Е. Сидоров.</i> Оптимизация аккумуляторной батареи в системе гибридного накопителя энергии за счет снабжения ее устройством интеллектуального управления .....	327
<i>О.В. Федяй.</i> Проблемы проекта «Умный город» в мире .....	330
<i>Х. Хамроев.</i> Методика оценки метрологических характеристик автоматизированной системы контроля и учета электрической энергии промышленного предприятия .....	332
<i>Д.Ю. Хрипунов, Д.А. Кретов.</i> Анализ особенностей работы интеллектуальных сетей электроснабжения .....	336
<i>Ф.Р. Сиразутдинов.</i> Исследование надежности защиты ближнего резервирования автотрансформатора .....	339

*Секция 4. ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ*

<i>Б.В. Важенин, П.А. Глухов. Способ вторичной переработки отхода производства капролактама .....</i>	<i>344</i>
<i>А.Д. Ибатуллин, М.Г. Баширов. Повышение энергоэффективности процесса получения полиэтилена на основе использования математической модели погрешности дозирования .....</i>	<i>347</i>
<i>Е.М. Кажаява, В.С. Гончаров. Совершенствование технологии УФ-обеззараживания сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» .....</i>	<i>351</i>
<i>М.В. Кравцова, Т.А. Захарова. Подходы к качественному анализу осадков сточных вод с целью их вторичного использования .....</i>	<i>358</i>
<i>О.В. Попов, В.С. Гончаров. Системы получения электроэнергии на водородных топливных элементах .....</i>	<i>363</i>
<i>И.В. Цветкова, К.Ф. Байбакова, Р.Н. Итахунов. Модификация высокомолекулярных нефтяных остатков методом прямой жидкофазной гидрогенизации с целью получения вторичных нефтепродуктов .....</i>	<i>369</i>
<i>С.А. Якунин, А.Р. Шагидуллин, Р.Р. Шипилова. Влияние метеорологических условий рассеивания на концентрацию диоксида серы в приземном слое атмосферного воздуха .....</i>	<i>373</i>