

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

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

II ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Казань, 18–19 марта 2020 года

Материалы конференции

В 2-х томах

Том II

Казань
2020

УДК 621.3

ББК 31.2

П78

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «КГЭУ» И.В. Ившин

доктор технических наук, профессор филиала ФГБОУ ВО УГНТУ

в г. Салавате Р.Г. Вильданов

Редакционная коллегия:

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

П78 Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. II Всерос. науч.-практ. конф. (Казань, 18–19 марта 2020 г.): в 2 т. / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – Т. 2. – 436 с.

ISBN 978-5-89873-562-3 (т. 2)

ISBN 978-5-89873-560-9

Опубликованы материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники» по следующим научным направлениям:

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

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

Как правило, сохранена авторская редакция. Ответственность за содержание материалов докладов возлагается на авторов.

УДК 621.3

ББК 31.2

ISBN 978-5-89873-562-3 (т. 2)

ISBN 978-5-89873-560-9

© Казанский государственный
энергетический университет, 2020

СЕКЦИЯ 3. ЭНЕРГОСИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 621.311-5:510.5

ПРИМЕНЕНИЕ ZET-АЛГОРИТМА ДЛЯ МОДУЛЯ «ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ» ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ

¹Бацева Наталья Ленмировна, ²Фоос Юлия Алексеевна,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет», г. Томск
¹batsevan@tpu.ru, ²JuliaAlekseevna6797@gmail.com

В качестве исходных данных для работы блока оценивания состояния энергосистем централизованной системы противоаварийной автоматики используют телеизмерения, полученные от устройств телеметрии, установленных на энергообъектах. Из-за неисправностей в системе сбора и передачи данных, использования устаревшего измерительного оборудования возникают грубые ошибки в массивах телеизмерений, и телеизмерения отбраковываются. Это приводит к потере данных в массиве, что снижает качество оценивания состояния. Авторами предложено применение Zet-алгоритма для восстановления телеизмерений в массиве и повышения качества оценивания состояния энергосистем.

Ключевые слова: оценивание состояния энергосистем, Zet-алгоритм, централизованная система противоаварийной автоматики, телеизмерения, параметры режима.

ZET-ALGORITHM APPLICATION FOR PACKAGED BLOCK “STATE ESTIMATION” OF CENTRALIZED EMERGENCY CONTROL SYSTEM

¹Batseva Natalia Lenmirovna, ²Foos Julia Alekseevna,
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk
¹batsevan@tpu.ru, ²JuliaAlekseevna6797@gmail.com

Telemetry is commonly used for power system state estimation in the cognominal packaged block of centralized emergency control system. Telemetry assets are collected from remote terminal units installed at power system facilities, and they frequently contain appreciable errors due to troubles in collector systems and outmoded measurement equipment usage. This telemetry is rejected therefore data have been partly lost, and state

estimation quality is reduced. Authors propose Zet-algorithm to recover telemetry in assets for improvement power system state estimation quality.

Keywords: power system state estimation, Zet-algorithm, centralized emergency control system, telemetry, regime parameters.

Централизованная система противоаварийной автоматики (ЦСПА) представляет собой программно-технический комплекс (ПТК), который на основе полученной информации о состоянии энергосистемы (ЭС) в режиме реального времени осуществляет оценку запаса устойчивости в послеаварийном режиме, производит расчёт управляющих воздействий и их передачу на устройства локальной автоматики предотвращения нарушения устойчивости (ЛАПНУ) [1].

Структурная схема ЦСПА включает четыре основных технологических модуля. Одним из них является модуль «Оценивание состояния» (ОС), в котором выполняется сборка расчетной схемы: удаление отключенных ветвей и узлов, фильтрация грубых ошибок в телеизмерениях (ТИ), проверка наблюдаемости ЭС, расчет электрического режима. Качество работы модуля ОС зависит как от качества получаемых наборов ТИ и телесигналов (ТС), так и от количества измерений в массивах ТИ, так как задача минимизации взвешенной суммы квадратов отклонений рассчитанных и измеренных параметров электрического режима, решаемая в модуле ОС с помощью формулы:

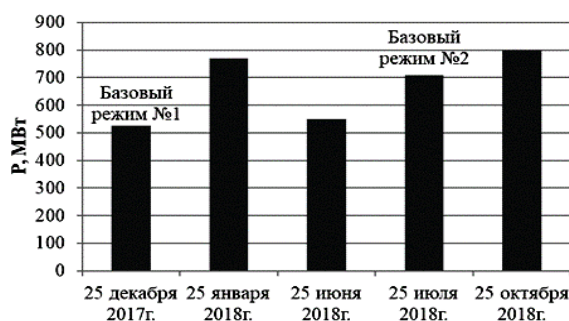
$$\varphi(U) = \sum_{i=1}^N c_i [R_i(U) - R_i]^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

помимо измеренных параметров режима R_i и рассчитываемых параметров режима $R_i(U)$, которые зависят от вектора состояния \underline{U} , содержит и количество измерений N , а также формирует диагональную матрицу весовых коэффициентов c_i размером $N \times N$, характеризующих степень доверия к ТИ.

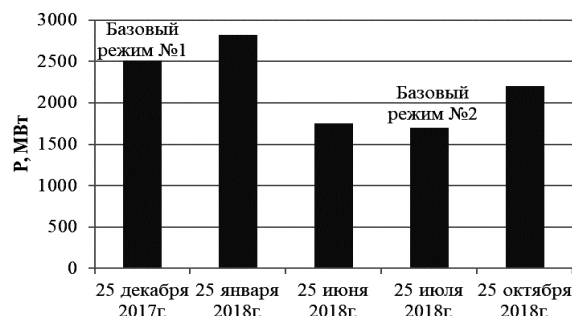
Причины отбраковки ТИ связаны с появлением в массивах грубых ошибок из-за использования устаревшего измерительного оборудования на энергообъектах, чувствительного к температуре окружающего воздуха, неисправностей в системе сбора и передачи данных, неодновременностью фиксации ТИ [2]. В результате ТИ, имеющие признак недостоверности, исключаются из массива, что приводит к снижению количества ТИ в массиве и, следовательно, к снижению качества ОС [3]. Восполняют отбракованные ТИ за счет псевдоизмерений (ПИ).

Выделяют три способа восполнения ТИ в массивах за счёт ПИ, реализованных в ПТК ЦСПА. В первом способе ПИ берутся из базового режима, который отражает показатели ЭС в определённое время года. Второй способ базируется на расчёте суммарного потребления активной мощности узлов в базовом режиме каждого из энергорайонов. Для каждого энергорайона определяют коэффициент, представляющий собой отношение измеренного потребления энергорайона к рассчитанному. Затем для каждого узла с номером j , входящего в состав i -го энергорайона, рассчитывают ПИ потребления активной мощности. Расчет ПИ потребления реактивной мощности выполняют, полагая, что соотношение между активной и реактивной мощностями каждого из узлов в текущем режиме сохраняется таким же, как и в базовом режиме [4]. При использовании третьего способа расчет ПИ заключается в том, что на основе анализа топологических свойств сети выделяют энергорайоны с минимальным числом узлов, в которых можно определить суммарное потребление на основе измеренных перетоков активной мощности [3]. Практика показывает, что в большинстве случаев второй и третий способы работают лучше первого, однако их недостаток состоит в незащищенности от влияния грубых ошибок в массивах ТИ перетоков по ветвям, поэтому величина измеренного потребления энергорайона может быть определена неверно, и ПИ будут рассчитаны с погрешностями [3].

На рисунке представлены графики зависимости перетока активной мощности в сечении и потребления активной мощности энергорайона от дня года. За базовые режимы приняты режимы 25 декабря 2017 г. и 25 июня 2018 г.



а)



б)

Зависимости перетока активной мощности (а)
и потребления энергорайона (б) от дня года

Из графиков видно, что в течение года параметры текущего режима могут значительно отличаться от параметров базового режима, поэтому применение ПИ может затруднить процесс ОС, так как чем больше разность между ПИ и настоящим значением ТИ, тем сильнее происходит распространение ошибки определения ПИ по всем узлам ЭС. Поэтому задача оптимизации алгоритма восполнения ТИ в массивах является актуальной.

Алгоритмы восполнения данных в массивах, отличающиеся друг от друга как необходимым для расчета объемом информации, так и их применением проанализированы в [4].

Выбор ZET-алгоритма обусловлен гипотезами, которые лежат в его основе, а также возможностью его применения к восполнению данных в динамических рядах типа «время-свойство», какими и являются массивы ТИ [5]. Эффективность работы ZET-алгоритма была подтверждена ранее на примере массивов синхронизированных векторных измерений [6] и данных прогнозирования электропотребления [7].

ZET-алгоритм основан на трёх гипотезах:

1) избыточности, проявляющейся в наличии похожих между собой строк в массиве данных и зависящих друг от друга столбцов данных;

2) локальной компактности – для восполнения ТИ в массиве нет необходимости использовать весь массив, а только его «компетентную» часть, состоящую из строк, совпадающих со строкой i , и столбцов, совпадающих со столбцом j ;

3) линейной зависимости между строками и столбцами.

Работа ZET-алгоритма состоит из предварительного этапа и трех основных этапов.

На предварительном этапе столбцы массива данных нормируются по дисперсиям для приведения свойств объекта к единой шкале:

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij} - \underline{a}_j}{A_j}, \quad (1)$$

где a'_{ij} – приведённое значение измерения; a_{ij} – первоначальное значение измерения; \underline{a}_j – математическое ожидание; A_j – среднеквадратичное отклонение.

На первом этапе для восполнения ТИ из нормированного по дисперсиям массива выбирается подмножество «компетентных» строк, затем для этих строк – «компетентных» столбцов, составляющих «компетентную» матрицу.

«Компетентность» строк определяется по формуле:

$$L_{iy} = \frac{t_{iy}}{r_{iy}}, \quad)$$

где i – номер «компетентной» строки; y – номер строки, содержащей пробел после отбраковки ТИ (далее – пробел); x – позиция пробела в строке y ; t_{iy} – комплектность – число значений известных для строк i и y ; r_{iy} – декартово расстояние между строками. «Компетентная» строка i не должна содержать пробел на позиции x .

«Компетентность» столбцов без пробела на позиции y определяется по формуле:

$$L_{jx} = |k_{jx}| \cdot t_{jx}, \quad (3)$$

где j – номер «компетентного» столбца; t_{jx} – комплектность столбцов x и j – число значений, известных для строк i и y ; k_{jx} – коэффициент корреляции между столбцами x и j . «Компетентный» столбец j не должен содержать пробел на позиции y .

На втором этапе подбирают коэффициент a , регулирующий влияние «компетентности» L на результат прогнозирования значения ТИ таким образом, чтобы функция, описывающая ожидаемую ошибку прогнозирования, достигла минимума.

На третьем этапе рассчитывают значение ТИ по «компетентным» строкам:

$$b'_{xy} = \frac{\sum b_{xi} L_{iy}^a}{\sum L_{iy}^a}, \quad (4)$$

где b_{xi} – известное значение в строке i ;
по «компетентным» столбцам:

$$b''_{xy} = \frac{\sum b_{jy} L_{jx}^a}{\sum L_{jx}^a}. \quad (5)$$

Восстановленное значение рассчитывают по формуле:

$$b_{xy} = \frac{b'_{xy} + b''_{xy}}{2}. \quad (6)$$

Ошибку вычисления определяют по формуле:

$$e_{xy} = \frac{|B_{xy} - b_{xy}|}{|b_{xy}|}, \quad (7)$$

где B_{xy} – известное значение величины; b_{xy} – восстановленное значение.

Проверка работоспособности ZET-алгоритма для восполнения ТИ реализована на массиве, который включал выборки значений напряжения, активной и реактивной мощностей. Каждая выборка содержала 21276 значений ТИ за две недели регистрации. В массивы ТИ были внесены пробелы и создано 4 массива с разным набором пробелов.

С помощью среды *SQL Server Management Studio* по формулам (1–5) пробелы были восполнены. По формуле (7) была рассчитана погрешность восстановления каждого ТИ. Результаты представлены в таблице.

Результаты расчётов

Количество пробелов в массиве	$e_P, \%$	$e_Q, \%$	$e_U, \%$
5 %	0,7543	1,2254	0,1141
10 %	0,7599	1,4607	0,1279
15 %	0,7223	1,3426	0,1259
20 %	0,7233	1,3723	0,2061

Результаты показали достаточную степень точности применения базового ZET-алгоритма для восполнения пропусков в массивах ТИ. Следовательно, алгоритм можно применять для восполнения ТИ в модуле ОС ЦСПА.

Литература

1. Аржанников С. Г., Вторушин А. С., Захаркин О. В., Ландман А. К., Петров А. Э., Попова Е. Ю. Алгоритмическое обеспечение ПТК верхнего уровня ЦСПА ОЭС Сибири и перспективы его развития // Известия НТЦ Единой энергетической системы. 2013. № 68. С. 91–98.

2. Кочнева Е. С. Достоверизация измерений электрической энергии методами теории оценивания состояния: дис. ... канд. тех. наук: 05.14.02. Екатеринбург, 2015.

3. Николаев А. В., Прихно В. Л. Задача оценивания состояния в комплексе централизованного противоаварийного управления ОЭС Востока // Известия НТЦ Единой энергетической системы. 2013. № 68. С. 25–40.

4. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: Изд-во ин-та математики, 1999. 180 с.

5. Раскулов С. Н. Разработка и исследование новых версий алгоритма ZET заполнения пробелов в эмпирических таблицах [Электронный ресурс]. URL: <http://zetbraid.narod.ru> (дата обращения: 27.01.2020).

6. Емельянова Ю. А. Применение базового ZET-алгоритма для восполнения пробелов в массивах данных, полученных от системы мониторинга переходных режимов // Электроэнергетика глазами молодежи – 2018: сб. тр. IX Междунар. науч.-техн. конф. Казань, 2018. Т. 2. С. 49–52.

7. Калинин А. В., Ченцов С. В. Алгоритм восстановления пропусков на поле “плохих” данных // Сибирский журнал науки и технологий. 2008. Т. 18. № 2. С. 91–95.

УДК 620.179.14

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ

¹Баширов Мусса Гумерович, ²Хуснутдинова Ильвина Гамировна,
³Алтынбаев Адель Миннурович,

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате, г. Салават

¹eapp@yandex.ru, ²ilvina011@mail.ru, ³Ad7_7_7_7_7@mail.ru,

Повышение безопасной эксплуатации электроэнергетического оборудования посредством совместного применения электромагнитно-акустического эффекта и метода динамической идентификации напряженно-деформированного состояния металла.

Ключевые слова: электромагнитно-акустический эффект, методы оценки технического состояния.

PRACTICAL USE OF ELECTROMAGNETIC-ACOUSTIC EFFECT IN TASKS OF ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION AND RESOURCE OF EQUIPMENT

¹Bashirov Mussa Gumerovich, ²Khusnutdinova Ilvina Gamirovna,
³Altynbaev Adel Minnurovich

Branch of USPTU in Salavat, Salavat

¹ilvina011@mail.ru, ²Ad7_7_7_7_7@mail.ru, ³eapp@yandex.ru

Increase of safe operation of electric power equipment by means of joint application of electromagnetic-acoustic effect and method of dynamic identification of stress-strain state of metal.

Keywords: electromagnetic-acoustic effect, methods for assessing the technical condition.

Множество современных предприятий энергетической отрасли относятся к объектам, характеризующимся высоким уровнем взрыво-пожароопасности и обладающим повышенными показателями риска возникновения аварийных ситуаций. Отказы электрооборудования на производственных объектах могут привести к серьёзным ущербам производства, аварийным и опасным ситуациям для человека.

Применяемые в настоящее время методы оценки технического состояния энергетического оборудования, основанные на идентификации параметров уже развившихся дефектов, непригодны при наличии дефектов на ранних стадиях их развития, когда в структуре металла начинают происходить процессы деградации, также способные стать причиной внезапного разрушения электрооборудования [1]. Поэтому для обеспечения безопасности энергетического оборудования при проведении экспертизы промышленной безопасности необходим переход от использования традиционных методов неразрушающего контроля к методам диагностики, позволяющим количественно оценивать напряженно-деформированное состояние, выявлять зарождение дефектов структуры металла и отслеживать их развитие на фоне напряженно-деформированного состояния [2].

В последние годы уделяется значительное внимание разработке и применению неразрушающих методов оценки технического состояния изделий, основанных на электромагнитно-акустическом (ЭМА) эффекте, которые позволяют генерировать в объекте контроля акустические волны

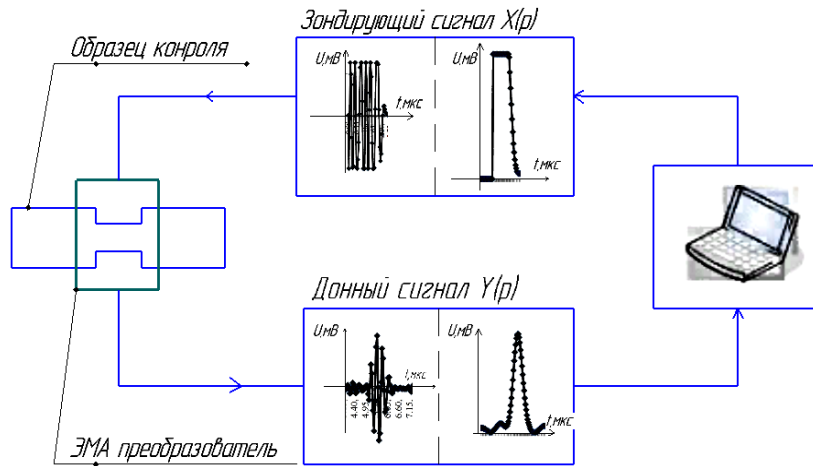
и считывать информацию о его техническом состоянии. Информативный потенциал ЭМА эффекта реализуется не в полной мере. Кроме того, ЭМА эффект применяют в основном в толщинометрии и при выявлении дефектов типа несплошностей.

В настоящее время устройства для контроля структуры материала и напряженно-деформированного состояния изделий на основе использования электромагнитно-акустического эффекта пока серийно не выпускаются, но рядом зарубежных и отечественных научных центров ведутся интенсивные исследования и разработки в этой области. Рассмотрим некоторые ЭМА устройства, разработанные для контроля структуры материала и напряженно-деформированного состояния изделий в различных отраслях промышленности:

– структуроскоп электромагнитно-акустический СЭМА. Руководитель проекта д.т.н., проф. В.В. Муравьев, кафедра «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики» (ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск). Разработан опытный образец прибора для контроля железнодорожных колес;

– аппаратное средство бесконтактной акустической тензометрии АСБАТ. Разработчик МГ ФГАУ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана (руководитель проекта академик РАН Алешин Н.П.). Устройство предназначено для оценки значений механических напряжений при одно- и двухосном напряженно-деформированном состоянии по толщине объекта [3].

В результате воздействия на объект контроля электромагнитного поля формируется ЭМА сигнал отклика, содержащий информацию об объекте контроля в виде изменения частотных и временных параметров (см. рисунок). В качестве интегрального параметра, отражающего совокупность электрических, магнитных, акустических и механических свойств металла, характеризующих его эксплуатационные свойства, предложено использовать его передаточную функцию, получаемую с использованием электромагнитно-акустического эффекта [4]. Изменения в структуре металла, зарождение и развитие повреждений вызывают изменение параметров его передаточной функции, поэтому анализ параметров передаточной функции позволяет идентифицировать эти изменения, оценить техническое состояние и ресурс безопасной эксплуатации электрооборудования [5, 6].



Структурная схема системы «ЭМА-преобразователь – объект контроля»

В связи с изложенным, представляется перспективным проведение исследований, направленных на совместное применение ЭМА эффекта и математических моделей динамики напряженно-деформированного состояния металла элементов электрооборудования, что позволило бы существенно повысить безопасность данных объектов на основе более достоверной и точной экспертизы их технического состояния и остаточного ресурса работы [7].

Литература

1. Шабанов В. А., Баширов М. Г., Хлюпин П. А., Лунева Н. Н., Калимгулов А. Р., Миронова И. С., Юмагузин У. Ф., Юсупов Р. З. Диагностика технического состояния электрооборудования систем электроснабжения // Открытое акционерное общество «ТНК-ВР Холдинг», ФГБОУ Высшего профессионального образования Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2012.
2. Баширов М. Г., Хуснутдинова И. Г., Хафизов А. М. Метод оценки состояния металлических конструктивных элементов электроэнергетического оборудования // Федоровские чтения: сб. тр. XLIV междунар. науч.-практ. конф. 2014. С. 113–115.
3. Алешин Н. П. Современные информационные автоматизированные системы акустического контроля сварки // Сварка и родственные технологии. 2013. № 10-11. С. 66–71.
4. Хуснутдинова И. Г. Разработка метода оценки ресурса безопасной эксплуатации технологических трубопроводов на основе электромагнитно-акустического эффекта: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. Уфа, 2019. 24 с.

5. Усманов Д. Р., Хуснутдинова И. Г. Разработка электромагнитно-акустического метода оценки состояния металлических конструктивных элементов электроэнергетического оборудования // Наука. Технология. Производство – 2015: тезисы докл. Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа, 2015. С. 56–58.

6. Хуснутдинова И. Г., Баширов М. Г. Оценка степени поврежденности оболочковых конструкций с использованием электромагнитно-акустического метода контроля // Механика предельного состояния и смежные вопросы: матер. Всерос. науч. школы-конференции, посв. 85-летию профессора Д. Д. Ивлева. 2015. С. 202–207.

7. Khusnutdinova I. G., Bashirov M. G. The use of electromagnetic-acoustic method for estimating the stress-strain state of the metallic elements of power equipment // Key Engineering Materials. 2017. Т. 743. С. 463–467.

УДК 621.311

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ
ПАРАМЕТРОВ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКОВ
И НАПРЯЖЕНИЙ ДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА
С ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ И РЕЖИМАМИ РАБОТЫ
АГРЕГАТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ
ЧАСТОТНЫХ МОДЕЛЕЙ**

¹Баширов Мусса Гумерович, ²Чурагулов Данис Гаязович, ³Шлейников Иван Сергеевич
Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате, г. Салават
¹eapp@yandex.ru, ²danis.ch.g@mail.ru, ³elronddk@yandex.ru

На предприятиях нефтегазового производства отказ машинных агрегатов может привести к созданию аварийных ситуаций, сопровождающихся значительным экономическим и экологическим ущербом. В современных условиях задача обеспечения промышленной безопасности на предприятиях отрасли требует использования интегральных критериев, позволяющих идентифицировать текущее техническое состояние и прогнозировать остаточный ресурс машинных агрегатов с электрическим приводом. Оценка технического состояния машинных агрегатов в настоящее время осуществляется с использованием целого комплекса диагностических параметров. Для создания современных интеллектуальных систем управления техническим состоянием, энергетической эффективностью и безопасностью эксплуатации машинных агрегатов необходимы создание базы данных частотных моделей.

Ключевые слова: машинные агрегаты, электрический привод, оценка технического состояния, высшие гармонические составляющие, интегральный критерий, частотная модель.

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE PARAMETERS OF HARMONIC COMPONENTS CURRENTS AND VOLTAGES OF THE ELECTRIC DRIVE MOTOR WITH THE TECHNICAL CONDITION AND OPERATING MODES OF THE UNIT TO CREATE A DATABASE OF FREQUENCY MODELS

¹Bashirov Moussa Gumerovich, ²Churagulov Danis Gayazovich, ³Shleynikov Ivan Sergeevich

Branch of USPTU in Salavat, Salavat

¹eapp@yandex.ru, ²danis.ch.g@mail.ru, ³elronddk@yandex.ru

At the enterprises of oil and gas production failure of machine units can lead to the creation of emergency situations, accompanied by significant economic and environmental damage. In modern conditions, the task of ensuring industrial safety at the enterprises of the industry requires the use of integrated criteria that allow to identify the current technical condition and predict the residual life of machine units with an electric drive. Assessment of the technical condition of machine units is currently carried out using a whole range of diagnostic parameters. To create modern intelligent control systems of technical condition, energy efficiency and safety of operation of machine units, it is necessary to create a database of frequency models.

Keywords: machine units, electric drive, technical condition assessment, higher harmonic components, integral criterion, frequency model.

Оценка технического состояния машинных агрегатов в настоящее время осуществляется с использованием целого комплекса диагностических параметров. Все существующие на сегодняшний день системы автоматической диагностики машинных агрегатов основаны на автоматическом отслеживании изменения параметров вибраций, смещений, скорости, температуры отдельных элементов агрегата, а также параметров технологических процессов, в которых задействованы эти агрегаты [2].

Проведённые исследования показали эффективность и целесообразность использования в автоматических системах диагностики машинных агрегатов в качестве основных диагностических показателей параметров гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателем электропривода. Информация о техническом состоянии машинных агрегатов из автоматической системы диагностики поступает

в интеллектуальную систему управления техническим состоянием, энергетической эффективностью и безопасностью эксплуатации машинных агрегатов [3].

Одной из причин, сдерживающей широкое применение автоматизированных систем диагностики машинных агрегатов, является необходимость создания обширной базы данных по характерным повреждениям машинных агрегатов, возникающих в процессе эксплуатации, а затем научить интеллектуальную систему распознавать эти дефекты. Причем надо знать значения диагностических параметров, соответствующие исходному, заведомо исправному состоянию агрегата и знать значения этих параметров, соответствующие предельному состоянию агрегата, а также уметь оценивать текущее техническое состояние агрегата между этими двумя крайними значениями.

Решением проблемы в данном случае является разработка моделей машинных агрегатов с учетом их конструктивных особенностей на основании паспортных и каталожных данных с использованием стандартных пакетов программ для компьютерного моделирования [4, 5].

Двигатель электропривода машинного агрегата можно рассматривать как высокочувствительный электромагнитный активный датчик, преобразующий все изменения технического состояния как самого электродвигателя, так и всех остальных элементов машинного агрегата в параметры генерируемых высших гармонических составляющих фазных токов и напряжений.

В данной работе предлагается использование программно-аппаратного комплекса для оценки технического состояния машинных агрегатов по параметрам высших гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателями электропривода [1].

Программно-аппаратный комплекс состоит из анализатора спектра гармоник токов и напряжений в комплекте с трехфазными измерительными преобразователями тока и напряжения, персонального компьютера типа ноутбук со специально разработанным программным обеспечением [2, 3]. На рис. 1 представлена структурная схема программно-аппаратного комплекса.

В качестве анализатора спектра гармоник токов и напряжений предлагается использовать Ресурс-UF2М – измеритель показателей качества электроэнергии.

Для обработки диагностических данных используется программа «Оценка технического состояния машинных агрегатов с электрическим приводом», разработанная на кафедре ЭАПП филиала ФГБОУ ВО Уфимского государственного нефтяного технического университета в городе Салават.

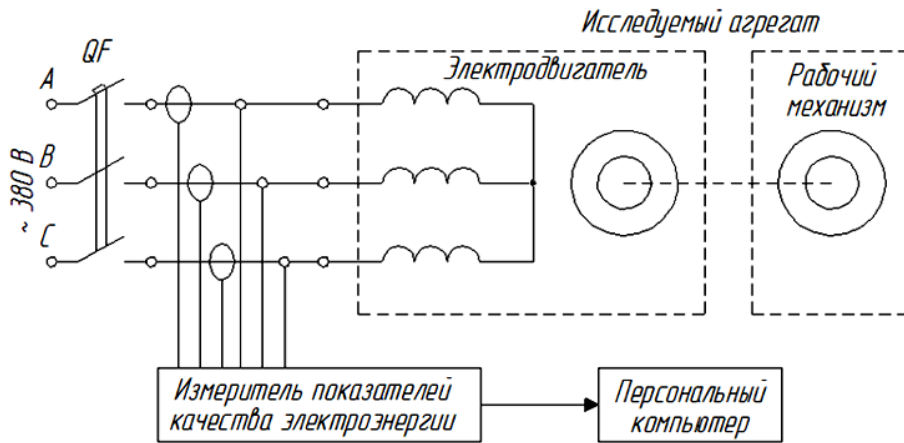


Рис. 1. Схема лабораторной установки для исследования гармонического состава тока и напряжения электродвигателей машинных агрегатов

Внешний вид установки для проведения исследований представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид установки для проведения исследования

Алгоритм идентификации технического состояния машинного агрегата основан на использовании значения интегрального критерия I . Работа алгоритма следующая: исследуемые токи, напряжения и температура элементов оборудования с помощью аналого-цифрового преобразователя преобразуются в цифровой код. Последовательность цифровых кодов, характеризующих сигнал за определенный период времени, поступает в центральный компьютер и обрабатывается.

Блок дискретного преобразования Фурье раскладывает исследуемый сигнал в ряд Фурье. Определяются действующие значения коэффициентов, гармонических составляющих тока K_{In} и напряжения K_{Un} , угол между данными величинами $\varphi_{ui(n)}$, а также температурный коэффициент. Для фильтрации гармонических составляющих фазных токов и напряжений, поступающих из сети, применяют углы сдвига по фазе $\varphi_{ui(n)}$: если угол сдвига меньше $+90^\circ$ или больше -90° , то данная гармоническая составляющая поступает из сети и из анализа исключается. Далее происходит обучение нейронной сети. Определяются K_{In} , K_{Un} , $\varphi_{ui(n)}$, $T_{\text{подш}}$ и $T_{\text{изол}}$ исследуемого агрегата, по значениям которых искусственная нейронная сеть формирует соответствующий числовой бинарный код. Если полученному коду соответствует известный дефект, то цикл идентификации заканчивается, если не соответствует, то пользователю предлагается ввести в режиме «ручного ввода дефекта» наименование возможного повреждения. Далее данные поступают в искусственную нейронную сеть 2, которая определяет уровень поврежденности машинного агрегата в целом – значение интегрального диагностического параметра поврежденности D_Σ [6].

По результатам экспериментального исследования взаимосвязи режимов работы и характерных дефектов электродвигателей параметрами генерируемых высших гармонических составляющих токов и напряжений, формируется база данных частотных моделей машинных агрегатов с электрическим приводом.

Литература

1. Баширов М. Г., Прахов И. В. Современные методы оценки технического состояния и прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации насосно-компрессорного оборудования с электрическим приводом // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2010. № 3 (11). С. 7-14.
2. Баширов М. Г., Прахов И. В., Габбасов Р. Ш. Исследование спектра гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых трехфазным силовым трансформатором // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2013. № 2. С. 25–28.
3. Баширов М.Г., Самородов А.В., Чурагулов Д.Г., Абдуллин А.А. Разработка программно-аппаратного комплекса для оценки технического состояния машинных агрегатов с электрическим приводом //

Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 6 [Электронный ресурс]. URL: http://www.ogbus.ru/authors/SamorodovAV/SamorodovAV_1.pdf (дата обращения: 27.01.2020).

4. Чурагулов Д. Г., Буляккулов А. М., Баширов М. Г. Разработка электромагнитного спектрального метода оценки технического состояния машинных агрегатов с электрическим приводом // Тинчуринские чтения: матер. докл. XI Междун. молод. науч. конф. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. С. 150–151.

5. Баширов М. Г., Чурагулов Д. Г., Филиппов В. Н., Насыров Э. М. Программное средство диагностики электродвигателя машинного агрегата методом спектрального анализа высших гармонических составляющих тока и напряжения // Кибернетика и программирование. 2015. № 6. С. 6–20. DOI: 10.7256/2306-4196.2015.6.17625. [Электронный ресурс]. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_17625.html (дата обращения: 27.01.2020).

6. Баширов М. Г., Чурагулов Д. Г., Хафизов А. М. Разработка программного обеспечения для прогнозирования остаточного ресурса машинных агрегатов // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – 2014: матер. Междунар. науч.-метод. конф. Уфа, 2014. С. 258–260.

УДК 004.942

РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ПОДСТАНЦИИ 110 КВ

¹Веремеев Артем Анатольевич, ²Петров Вячеслав Владимирович

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

¹art-veremeev@yandex.ru, ²pvv56@mail.ru

В статье выделяются и описываются особенности создания имитационной 3D-модели подстанции 110 кВ с целью повышения качества подготовки кадров электроэнергетического профиля. Особое внимание акцентируется на создании обучающих алгоритмов.

Ключевые слова: 3D-моделирование, тренажер, подстанция 110 кВ, алгоритмы, тренировка, энергетика, специалист, виртуальная реальность, интерактивное обучение.

DEVELOPMENT OF TRAINING ALGORITHMS FOR A VIRTUAL SIMULATOR OF THE SUBSTATION 110 KV

¹Veremeev Artem Anatolevich, ²Petrov Vjacheslav Vladimirovich

Orenburg State University, Orenburg

¹art-veremeev@yandex.ru, ²pvv56@mail.ru

The article highlights and describes the features of creating a 3D simulation model of a 110kV substation in order to improve the quality of training for personnel in the electric power industry. Particular attention is paid to the creation of training algorithms.

Keywords: 3D modeling, simulator, 110kV substation, algorithms, training, energy, specialist, virtual reality, interactive training.

В современных реалиях производственные процессы требуют большего объема контроля и автоматизации, подготовка кадров требует инновационных подходов и сокращения времени на обучение. Используемые методы должны быть безопасными и максимально приближенными к производственному процессу. Одним из решений может быть применение имитационных компьютерных 3D-моделей.

В связи с тем, что эффективность обучения напрямую зависит от таких факторов, как насыщенность восприятия 3D-среды и простое управление симуляцией, которое не внесет дискомфорт в образовательный процесс персонала, к созданию таких интерактивных сред обучения выдвигаются строгие требования по точности детализации 3D-моделей и обучающих алгоритмов, созданных в рамках обучающего тренажера. Также в основе этих требований лежит то, что достаточно часто виртуальные тренажеры используются для имитирования опасных и аварийных ситуаций, которое в рамках обучения обеспечивает должный уровень безопасности.

При реализации подобных программных продуктов преследуется цель создания эффективного, экономичного и безопасного метода обучения персонала технического профиля. 3D-визуализация алгоритмов выполнения заложенных заданий в тренажере позволяет не только обеспечить обучающегося необходимыми теоретическими знаниями, но и выработать на психологическом уровне такой навык, как стрессоустойчивость при оперативном реагировании на внештатные ситуации, требующие от персонала четкого, последовательного выполнения алгоритма. Примечательно, что отработка действий в виртуальном тренажере позволяют не только имитировать сам сценарий, но

и адаптировать поведенческую модель человека в ней. Сам тренажер также может обладать возможностью оценивания действий, обучающихся пользователя с последующим составлением протокола.

Реализация имитационных компьютерных тренажеров сопряжена с задействованием большого количества экспертов в сфере VR (виртуальная реальность, virtual reality) технологий. Реализация алгоритма требует интегрирования информационной и энергетической отраслей, чтобы конечный продукт мог удовлетворять поставленным техническим заданиям. Соответственно прикладываются достаточно большие усилия и затраты для выполнения проекта, который на современном рынке становится все более и более востребованным.

В имитационной модели реализуется возможность использования как стандартных принципов управления с использованием привычных нам девайсов (компьютерная клавиатура, джойстик и прочее), так и более инновационных, например шлемов VR в сочетании с беспроводными контроллерами, основное достоинство использования которых – это эффект погружения: пользователь полностью погружается в виртуальное окружение и начинает воспринимать его как настоящее. Виртуальная реальность путем симуляции чувственных данных формирует некий реальный опыт и создает эффект присутствия, и пользователь относится к происходящим вокруг него событиям, как к реальным.

В качестве базисного направления для создания программных продуктов была выбрана область электроэнергетики для создания эффективного и экономичного способа обучения с применением виртуальных технологий в трехмерной среде, весьма детализировано отражая на ПК используемый в дальнейшем, энергетический объект или оборудование.

Основным фактором для образовательного процесса служит зачастую экономический фактор. Обновления технического парка тренажеров не всегда успевают за изменениями в промышленных отраслях, и по факту остается только отрабатывать навыки на оборудовании, которое подлежит замене. Немалую роль играет удаленность учебных центров, так как нередко крупные учебные центры находятся на значительном расстоянии от обучающихся, а в случае виртуальных тренажеров обновления могут быть доступны по сети интернет, что является бесспорным плюсом.

Сам тестовый проект содержит несколько составных блоков:

– электроснабженческий – электрическая схема подстанции на 110 кВ с расположением на ней основного силового энергетического оборудования;

– трехмерная виртуальная среда – адаптированные и выполненные в 3D-модели, представлена на рис. 1 и 2;

– ремонтный предполагает наличие цеха, в котором производится ремонт электрооборудования представлен на рис. 2;

– тестирующая система – математическая модель, действующая как по базовым сценариям, так в дальнейшем по специальным.

Последние два блока находятся на стадии разработки.

В работе рассмотрена альфа версия виртуального 3D-тренажера с использованием игровой специализированной платформы *Unity 3D*. Для создания обучающих и фундаментальных алгоритмов тренажера использовался объектно-ориентированный скриптовый язык программирования *C#* рис. 3 и 5.

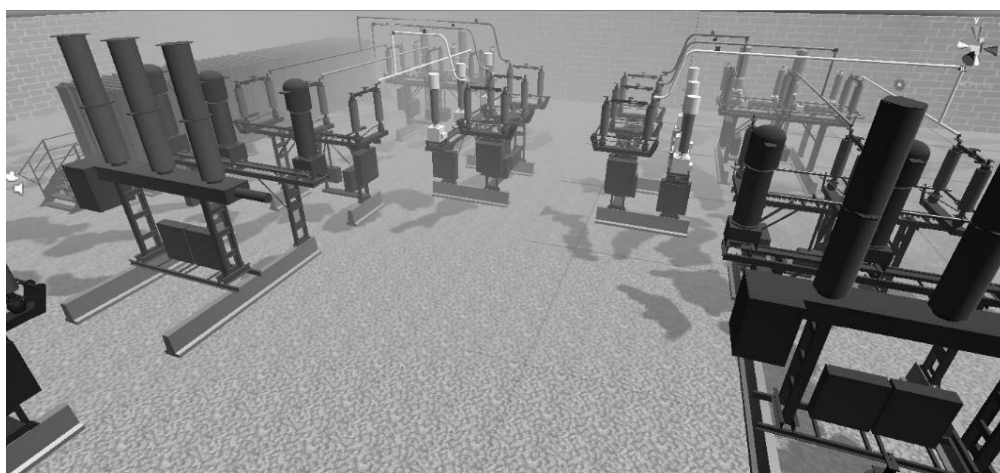


Рис. 1. Вид исследуемой подстанции 110 кВ в альфа версии виртуального 3D тренажера



Рис. 2. Вид основного блока по сборке-разборке асинхронного двигателя ремонтного цеха

```

1  using UnityEngine;
2  using UnityEngine.SceneManagement;
3  using System.Collections;
4
5  public class InsideHouse : MonoBehaviour
6  {
7
8      void OnTriggerEnter(Collider other)
9      {
10         if (other.gameObject.tag == "Player")
11         {
12             if (SceneManager.GetActiveScene().name == "Inside1")
13                 SceneManager.LoadScene("main1");
14             else
15                 SceneManager.LoadScene("Inside1");
16         }
17     }
18 }
19
20
21
22
23

```

Рис. 3. Программный код фундаментального алгоритма входа в ЗРУ



Рис. 4. Помещение ЗРУ

```

1  using UnityEngine;
2  using System.Collections;
3
4  public class missionInside : MonoBehaviour
5  {
6      // Start is called before the first frame update
7      void Start()
8      {
9
10     }
11
12     // Update is called once per frame
13     void OnGUI ()
14     {
15         GUI.Label (new Rect (50, 50, 200, 100), "Исследуйте закрытое распределительное устройство");
16     }
17 }
18

```

Рис. 5. Программный код постановки текущей задачи

В заключение стоит отметить, что была получена имитационная обучающая 3D-модель подстанции 110 кВ. Модель позволяет совершить экскурсию по территории подстанции, ознакомиться с внешним устройством основного силового энергетического оборудования и ЗРУ (рис. 4). В дальнейшем планируется доработка тренажера для создания сценариев и экзаменационных карт для обучения и принятия экзамена. Примечательно, что дополнительно в программе реализован обучающий протокол по сборке и разборке асинхронного двигателя.

Литература

1. Смирнов С. 3-D моделирование на взлете // Наука и жизнь, 2012. № 12. С. 77.
2. Землянов Г. С., Ермолаева В. В. 3D-моделирование // Молодой ученый. 2015. №11. С. 186–189.
3. Мищеряков С. В. Проблемы, перспективы развития и оценка эффективности тренажерной подготовки // Использование современных тренажеров для повышения уровня образования и практических навыков работников энергосистемы и студентов энергетических специальностей: тезис. докл. науч.-прак. конф. Минск, 2017.
4. Петров В. В., Веремеев А. А. Разработка виртуального 3D-тренажера подстанции 110 кВ // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: труды X Всерос. науч.-техн. Оренбург: ОГУ, 2019. С. 299–303.
5. Фёдоров К. А., Никоноров А. Л. Гибридная виртуальная реальность в обучении // Профессиональное образование и рынок труда. 2016. №2 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibridnaya-virtualnaya-realnost-v-obuchenii> (дата обращения: 26.04.2019).

УДК 621.311.22

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДЕАЭРАЦИИ ОСНОВНОГО КОНДЕНСАТА В КОНДЕНСАТОРАХ ПАРОВЫХ ТУРБИН

¹Гаевая Ангелина Анатольевна, ²Водениктов Артем Дмитриевич,
³Минибаев Азамат Ильшатович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹gaevaya.angelina@icloud.com, ²vodhan@mail.ru, ³minibaev-a@list.ru

Целью работы является изучение барбатажных вставок в конденсатосборники паровых турбин. Приводится сравнительный анализ существующих конструкций.

Ключевые слова: конденсационная установка, деаэрация, барбатажная вставка, паровая турбина, концентрация кислорода, коррозия.

DEVELOPMENT OF DEVICES FOR THE MAIN CONDENSATE DEAERATION IN STEAM TURBINE CONDENSERS

¹Gaevaya Angelina Anatolevna, ²Vodenictov Artem Dmitrievich,
³Minibaev Azamat Ilshatovich
KSPEU, Kazan
¹gaevaya.angelina@icloud.com, ²vodhan@mail.ru, ³minibaev-a@list.ru

The issue of the article is to study the sparging inserts in the steam turbines condensate collectors. A comparative analysis of existing structures is given.

Keywords: condensation unit, deaeration, sparging insert, steam turbine, oxygen concentration, corrosion.

Кондесационная установка является одной из важнейших составляющих паровой турбины, влияющих на условия работы турбины и её экономичность. Конденсаторы паровых турбин, в которых поддерживается глубокий вакуум (до 97 %), являются мощными вакуумными деаэраторами. Поэтому они используются для деаэрации питательной воды паровых котлов [1].

Через неплотности в соединениях корпуса в паровой объем конденсатора поступает воздух. Если присосы воздуха превышают норму, то это приводит к ухудшению вакуума и ухудшению качества основного конденсата. Согласно правилам технической эксплуатации количество кислорода, поступающего с воздухом, не должно превышать 20 мкг/л. Концентрация кислорода в основном конденсате является одним из главных показателей, характеризующих эффективность работы конденсатора. Превышение данного значения приводит к интенсификации коррозии элементов регенерации низкого давления, что, в свою очередь, может привести к выходу из строя оборудования [2].

Согласно исследованиям, применение в современных конденсаторах трубных пучков регенеративного типа обычно позволяет обеспечить установленное содержание кислорода в конденсате. Однако возникает необходимость в дополнительной деаэрации конденсата в конденсаторе из-за при присосов воздуха, превышающих норму, а также малых паровых нагрузках и низких температурах охлаждающей воды.

Анализ конструкций показал, что такая возможность предусмотрена в конденсаторах паровых турбин К-300-240, К-800-240 Ленинградского металлического завода, Т-250/300-240, Т-175/210-130 Уральского турбинного завода и К-500-240-1 Харьковского турбогенераторного

завода. Деаэрирующий конденсатосборник предназначен для сбора и деаэрации конденсата и, тем самым, защиты от коррозии тракта основного конденсата. В зависимости от системы организации потоков деаэрационные устройства подразделяются на пленочные, насадочные, струйные (при движении воды в паре) и барботажные (при движении пара в воде).

При струйном типе (рис. 1) образующийся конденсат через отверстия сливается с водораспределительных тарелок 3 на неохлаждаемые стержни 4, разбиваясь на капли и пленки. Пар для деаэрации просачивается между стержнями 4 к воздухоохладителю 2. Деаэрированный конденсат попадает на сборную тарелку 6 и с нее отводится в конденсатосборник.

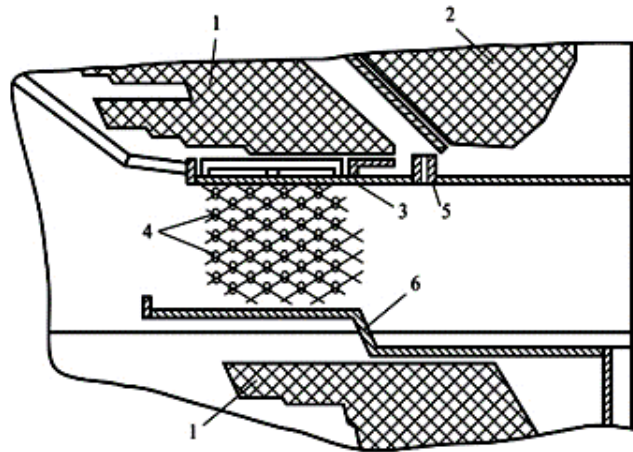


Рис. 1. Конструктивная схема струйного деаэрационного конденсатосборника:
1 – трубный пучок, 2 – воздухоохладитель, 3 – водораспределительная тарелка,
4 – неохлаждаемые стержни, 5 – отверстие отвода паровоздушной смеси,
6 – сборная тарелка

При барботажном типе (рис. 2) конденсат, сливаемый из конденсатора 1, попадает на барботажный перфорированный лист 2. Пар барботируется в виде пузырей через слой конденсата. Часть пара конденсируется, остальной пар проходит через слой конденсата и отводится в конденсатор, прежде подогреваясь на распределительном водосливе 10.

На Шатурской ГРЭС установлены 5 паровых турбины К-200-130 с конденсаторами КЦС-200 (введены в эксплуатацию во второй половине 60-х гг. XX века). На сегодняшний день вакуумная система находится в неудовлетворительном состоянии: увеличенные присосы (свыше 21 кг/ч) и повышенное содержание кислорода (более 20 мкг/кг) диктуют острую необходимость по разработке решений, направленных на улучшение работы конденсационной установки.

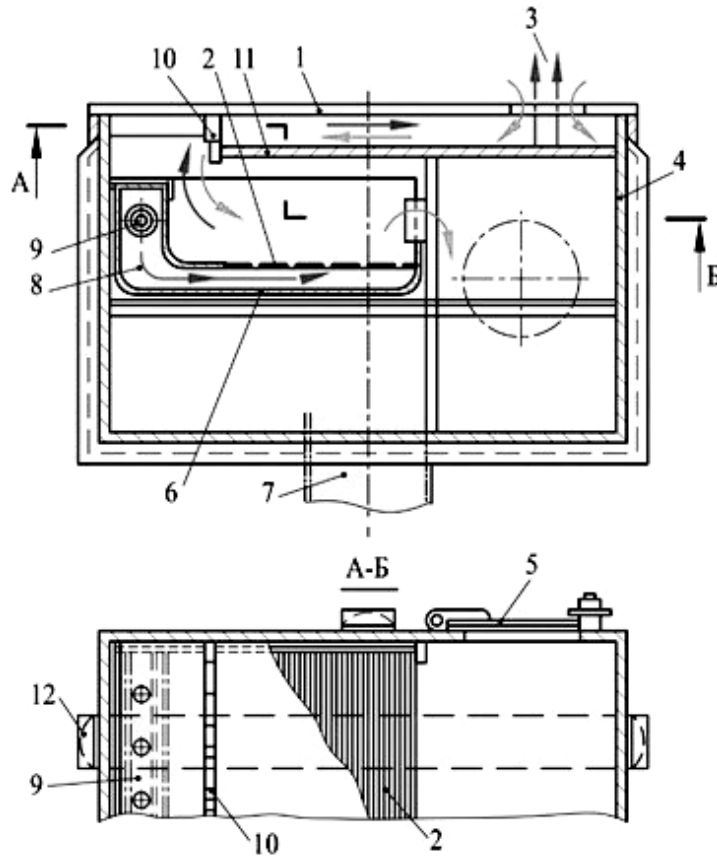


Рис. 2. Схема барботажного деаэриационного конденсатосборника:
 1 – конденсатор, 2 – барботажный лист, 3 – подвод конденсата и отвод выпара,
 4 – корпус конденсатосборника, 5 – лаз (люк), 6 – перегородки (порог),
 7 – отвод конденсата к насосам, 8 – паровая камера, 9 – паровой коллектор,
 10 – зубчатый порог (распределительный водослив), 11 – лист, 12 – пояса жесткости

Для повышения качества вакуумной системы и увеличения эффективности работы конденсатора отечественные инженеры предлагают дополнительно устанавливать выношной конденсатосборник. Однако подобная мера имеет крайне мало мест для потенциальной реализации. Установка имеет сложности в конструкции и большие габариты, требующие дополнительной площади для размещения.

Помимо проведения традиционных мероприятий, таких как поиск и устранение мест присосов, оптимизации работы эжекторов и т.п. Мы хотим предложить интенсифицировать процесс деаэрации в конденсаторе с помощью барботажной вставки.

Барботажный тип считается наиболее эффективным с точки зрения деаэриационной способности. Для подвода пара в конденсатосборник был разработан проект по установке перфорированного раздающего коллектора в конденсатосборник.

Данная вставка обладает отличительной особенностью – центральное расположение в конденсаторе оригинальной конструкции. Устройство имеет достаточно удобную форму-круг с радиально сходящимися трубами (рис. 3). Данная конфигурация позволяет осуществлять барботажную деаэрацию и подогрев конденсата. Достоинствами такой конструкции являются простота изготовления, относительно быстрый монтаж и универсальность.

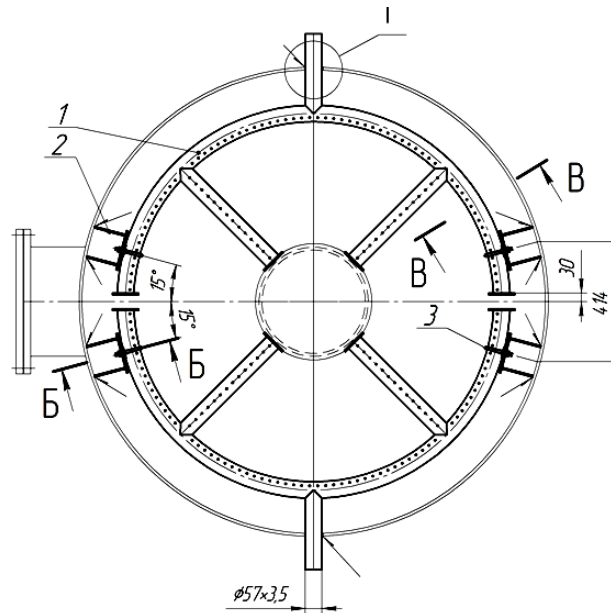


Рис. 3. Чертеж барботажного устройства

При проведении испытаний удалось увидеть, что включение данного устройства позволяет снизить содержание кислорода в основном конденсате и уменьшить переохлаждение конденсата на низких нагрузках.

В заключение хочется отметить, что данный вариант позволяет повысить надежность энергоблока и служит технологичным способом для реконструкции старых конденсаторов.

Литература

1. Лосев С. М. Паровые турбины / 9-е изд., перераб. Л.: Госстройиздат, 1959. 384 с.
2. Бродов Ю. М., Савельев Р. З. Конденсационные установки паровых турбин: учеб. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1994. 288 с.

УДК 621.316

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ДЛЯ УЧЕБНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

¹Глазырин Глеб Владимирович, ²Кравченко Владимир Алексеевич,
³Фёдорова Виктория Александровна

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,
г. Новосибирск

¹vladimir.kravch98@gmail.com, ²win.victoria08@mail.ru

Система синхронизации имеющейся в НГТУ учебной электростанции выполнена на базе электромеханических реле. Она введена в эксплуатацию в 1975 г. и на данный момент устарела морально и физически. Требуется модернизация этой системы с переходом на базу современных интеллектуальных устройств. Разработка и внедрение общестанционной системы синхронизации должны быть согласованы с общей программой модернизации учебной электростанции, которая на данный момент уже выполняется с применением терминалов КПА-М (производство АО «ИАЭС»).

Ключевые слова: синхронизация, учебная электростанция, микропроцессорные устройства, шкаф КПА-М, автоматические синхронизаторы, АС-М2.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A MICROPROCESSOR SYNCHRONIZATION SYSTEM FOR EDUCATIONAL POWER PLANT

¹Glazyrin Gleb Vladimirovich, ²Kravchenko Vladimir Alekseevich,
³Fyodorova Viktoria Alexandrovna

FSBEI of HE “Novosibirsk State Technical University”, Novosibirsk

¹vladimir.kravch98@gmail.com, ²win.victoria08@mail.ru

The synchronization system of NSTU’s educational power plant is based on electromechanical relays. It was commissioned in 1975 and is currently outdated morally and physically. Modernization of the existing synchronization system is required with the transition to the base of modern intelligent devices. The development and implementation of a plant-wide synchronization system should be consistent with the general program for the modernization of the educational power plant, which is currently being implemented using KPA-M terminals (manufactured by INPP JSC).

Key words: synchronization, educational power station, microprocessor devices, relay panel KPA-M, automatic synchronizer, AC-M2.

Включение синхронного генератора на параллельную работу с другими генераторами электростанции или электроэнергетической системой (ЭЭС) можно выполнять следующими способами [2]:

- 1) точной синхронизацией;
- 2) самосинхронизацией.

Точная синхронизация – это основной способ включения синхронных генераторов в сеть. При таком способе включение выключателя Q (рис. 1) допускается при выполнении следующих условий:

- 1) равенство амплитуд ЭДС генератора и системы;
- 2) равенство частот вращения генератора и системы;
- 3) совпадение фаз ЭДС генератора и системы в момент включения выключателя.

Перечисленные требования обеспечивают оптимальные условия для включения и позволяют добиться минимальных значений уравнивающих токов после включения.

Для включения генераторов небольшой мощности допускается применение способа самосинхронизации при необходимости быстрого ввода мощностей в аварийных режимах [2]. Самосинхронизация – тяжелый режим для генераторов, так как при включении в противофазе токи и динамические усилия в обмотках практически такие же, как в режиме короткого замыкания.

Включение выключателя способом точной синхронизации может осуществляться как вручную персоналом электростанции, так и автоматически под действием специальных устройств – автоматических синхронизаторов (АС) [3]. Данные устройства позволяют воздействовать на регулятор скорости для изменения частоты вращения, а также на систему возбуждения для регулирования напряжения.

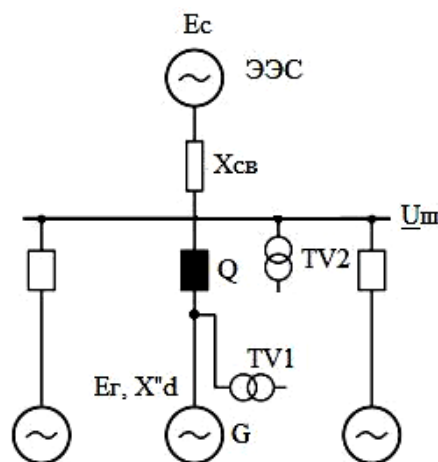


Рис. 1. Упрощенная электрическая схема электростанции с синхронными генераторами и ее связи с электроэнергетической системой

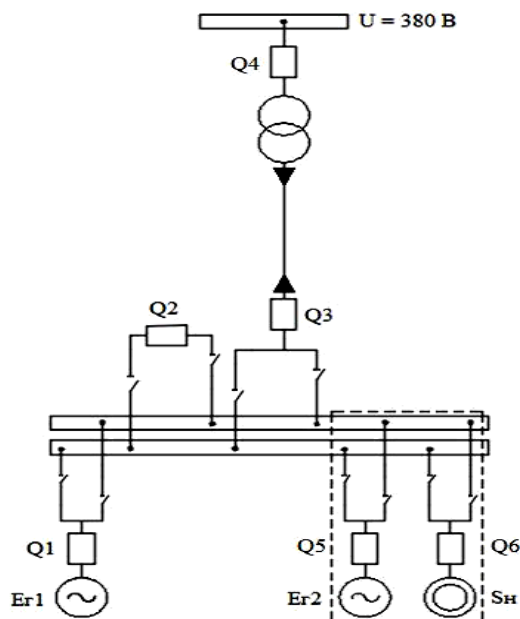


Рис. 2. Электрическая схема учебной электростанции (планируемые объекты выделены пунктиром)

На схеме (рис. 2) изображена электрическая схема имеющейся в НГТУ учебной электростанции, а также планируемые к введению дополнительные объекты (обозначены пунктиром). После подключения к шинам электростанции второго генератора и нагрузки потребуются возможность синхронизации как на генераторных выключателях ($Q1$ и $Q5$), так и на выключателе трансформатора ($Q3$ или $Q4$). Установка отдельного синхронизатора на каждом выключателе является экономически невыгодным решением. Использование одного стандартного синхронизатора (существующего или нового, например АС-М2) потребовало бы установки переключателей в цепях напряжения, чтобы обеспечить возможность подключения синхронизатора к различным трансформаторам напряжения. Такое решение снижает надежность вторичных цепей и неудобство в эксплуатации. Актуальной задачей является создание системы синхронизации, позволяющей выполнять автоматическую синхронизацию на нескольких выключателях.

Поскольку модернизация учебной электростанции выполняется с использованием микропроцессорных терминалов автоматики КПА-М (производство АО «ИАЭС»), целесообразно выполнить синхронизатор в виде одной из подсистем в составе КПА-М. Такое исполнение согласуется с одной из задач энергетической отрасли – цифровизация объектов энергетики [1].

Целью работы является разработка алгоритмов микропроцессорной системы синхронизации на базе КПА-М, а также проведение проектных,

монтажных и пуско-наладочных работ по модернизации синхронизатора учебной электростанции. Рассматривается также возможность установки резервного синхронизатора на одном из генераторных выключателей для повышения надежности и использования в учебных целях.

Для достижения поставленной цели выделены следующие задачи, требующие решения:

1. Установка шкафа КПА-М и монтаж цепей измерения и управления, необходимых для реализации функций синхронизации.

2. Разработка алгоритмов регулирования частоты и напряжения генераторов учебной электростанции.

3. Разработка и отладка программного обеспечения для шкафа КПА-М, реализующего алгоритмы ручной точной синхронизации, автоматической синхронизации.

4. Проверка функционирования системы синхронизации имитацией сигналов напряжения от установки РЕТОМ-61 и рабочими напряжениями.

На данный момент первая задача выполнена: шкаф КПА-М подключен к вторичным цепям учебной электростанции, произведена проверка рабочими токами и напряжениями. В рамках второй задачи реализован алгоритм нахождения угла сдвига фаз между ЭДС генератора и системы, а также фильтр скользящего среднего, позволяющий получать действующие значения напряжений.

Практическая значимость работы заключается в необходимости цифровой системы синхронизации для проведения научно-исследовательских работ (экспериментальной проверки новых алгоритмов релейной защиты и противоаварийной автоматики, исследования переходных процессов в ЭЭС) и учебного процесса. Кроме того, разрабатываемые решения могут быть использованы на реальных объектах электроэнергетики.

Литература

1. Епифанов А. М. В цифровых подстанциях мы видим огромный потенциал // Электроэнергия. Передача и распределение. 2016. № 1. С. 6–9.
2. Овчаренко Н. И. Автоматика энергосистем: учебник для вузов / под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. 476 с.
3. Романов Ю. В., Воронов П. И. Устройство точной автоматической синхронизации синхронного генератора // Релейщик. 2017. № 2. С. 14–15.

УДК 621.314

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОТЕРИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИЛОВОМ АВТОТРАНСФОРМАТОРЕ ПРИ ПРОТЕКАНИИ КВАЗИПОСТОЯННОГО ТОКА В ОБМОТКЕ

Горохов Илья Васильевич

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти

alf19888@gmail.com

Разработан метод расчёта дополнительных потерь активной мощности в силовом автотрансформаторе при квазипостоянном токе в обмотке. Для однофазного силового автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 получена зависимость дополнительных потерь активной мощности от квазипостоянного тока. Показано, что при характерном для сильных геомагнитных бурь квазипостоянный ток 65 А дополнительные потери возрастают в 700000 раз. Суммарные дополнительные потери активной мощности на поверхности бака достигают 949,7 кВт и ограничивают время работы исследуемого автотрансформатора 5 мин. При квазипостоянном токе 100 А увеличение дополнительных потерь активной мощности ограничивает время работы до 1 мин.

Ключевые слова: силовой автотрансформатор, квазипостоянный ток, насыщение, тока намагничивания, высшие гармоники тока, дополнительные потери, удельная мощность.

ADDITIONAL LOSSES OF ACTIVE POWER IN A POWER AUTOTRANSFORMER WHEN A QUASI-CONSTANT CURRENT FLOWS IN A WINDING

Gorokhov Ilya Vasilevich

Togliatti State University, Togliatti

alf19888@gmail.com

A method has been developed for calculating additional losses of active power in a power autotransformer with a quasi-constant current in the winding. For a single-phase power autotransformer АОДЦТН-267000/500/220, the dependence of the additional active power losses on the quasi-constant current is obtained. It is shown that at a quasi-constant current of 65 A, which is characteristic of strong geomagnetic storms, the additional losses

increase by a factor of 700,000. The total additional losses of active power on the tank surface reach 949.7 kW and limit the operation time of the investigated autotransformer to 5 minutes. With a quasi-constant current of 100 A, an increase in additional losses of active power limits the operating time to 1 minute.

Keywords: power autotransformer, quasi-constant current, saturation, magnetization current, higher current harmonics, additional losses, specific power.

Квазипостоянные токи (КПТ) появляются в обмотках силовых трансформаторов (СТ) и автотрансформаторов (АТ) при геомагнитных бурях и мощных взрывах [1, 2]. Они создают магнитный поток, смещающий рабочую кривую намагничивания магнитопровода в область насыщения, когда на токе намагничивания, характерного для нормального режима работы, появляются импульсы большой амплитуды. Форма тока намагничивания автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 [3] при квазипостоянном токе $i_{\text{КПТ}} = 60 \text{ A}$ представлена на рис. 1, а. Зависимость амплитуды тока намагничивания $i_0(t)$ от $i_{\text{КПТ}}$ иллюстрируется кривыми, приведёнными на рис. 1, б.

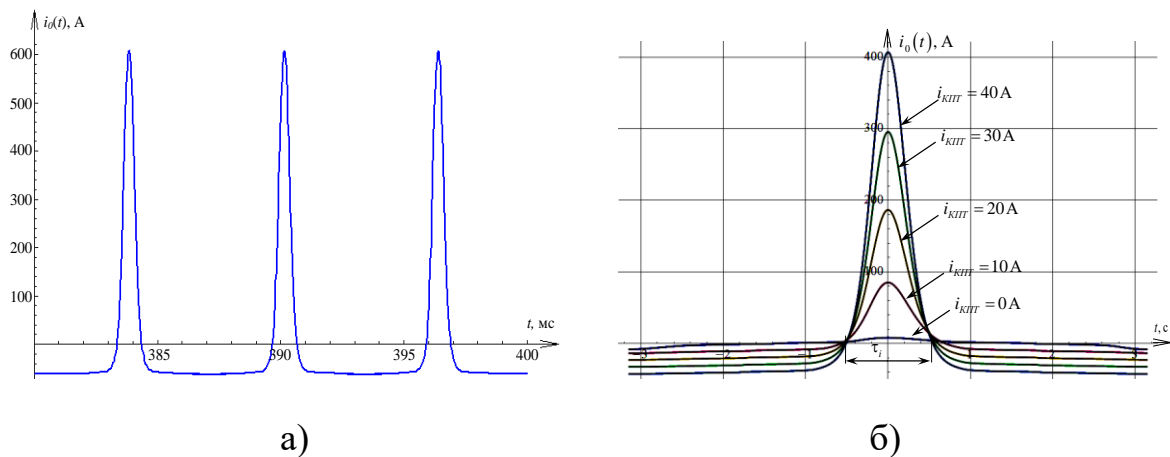


Рис. 1. Ток намагничивания силового автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 при квазипостоянном токе в обмотке высокого напряжения:

а) при $i_{\text{КПТ}} = 60 \text{ A}$; б) один период при разных $i_{\text{КПТ}}$

Резкое возрастание тока намагничивания возникает один раз за период рабочего тока, имеет форму полупериода синусоиды и почти постоянную длительность τ_i [3]. Рабочий ток АТ становится несинусоидальным (рис. 2, а), в его спектре появляются высшие гармоники (рис. 2, б).

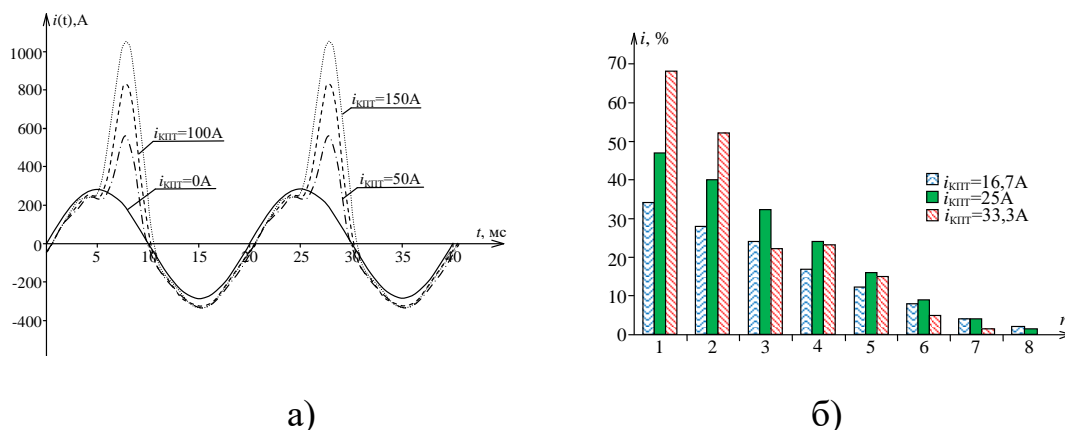


Рис. 2. Рабочий ток автотрансформатора при протекании КПТ (а), спектр рабочего тока (б) [2]

Расчётная зависимость амплитуды тока намагничивания автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 от i_{KPT} приведена на рис. 3.

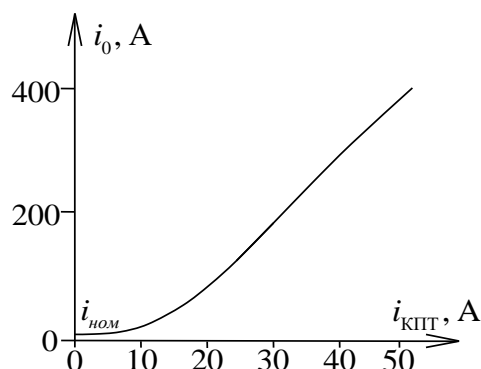


Рис. 3. Зависимость амплитуды тока намагничивания от i_{KPT}

При интенсивных гармониках тока расчеты дополнительных потерь активной мощности (ДПАМ) в проводниках и конструктивных элементах однофазного силового автотрансформатора усложняются. В этом случае удельные ДПАМ удобнее определить как сумму потерь от каждой гармоники. Дополнительные потери от n -ой гармоники составляют:

$$p_n = v_n \frac{\mu\mu_0}{2} H_{\tau n} \sum_{n=1}^N H_{\tau n}, \quad (1)$$

где $H_{\tau n}$ – тангенциальная компонента напряжённости магнитного поля n -ой гармоники, N – учитываемое число гармоник, $v_n = 2 \sqrt{\frac{\pi r n f}{\mu\mu_0}}$ – скорость

распространения электромагнитного поля частотой nf [3], $f = 50$ Гц – рабочая частота, ρ – удельное электрическое сопротивление, μ и μ_0 – относительная и абсолютная магнитные проницаемости.

Напряженность магнитного поля рассеяния пропорциональна току намагничивания [4], следовательно

$$\frac{H_{\tau n}}{H_{\tau 1}} = \frac{i_n}{i_1}, \quad (2)$$

где $H_{\tau 1}$ – тангенциальная компонента напряжённости магнитного поля рабочей частоты при токе i_1 , i_n – амплитуда тока n -ой гармоники.

Выбирая $i_1 = 1$ А, после подстановки (2) в (1) получим амплитудное значение удельных ДПАМ n -ой гармоники

$$p_n = r_1 \sqrt{n} H_{\tau 1}^2 \left(i_n \sum_{n=1}^N i_n \right), \quad (3)$$

где $r_1 = \sqrt{2\pi\mu_0\rho f}$ – поверхностное сопротивление проводника [4].

Суммарный вклад N гармоник, соответственно, равен:

$$p = r_1 H_{\tau 1}^2 \sum_{n=1}^N \sqrt{n} i_n \sum_{n=1}^N i_n. \quad (4)$$

Амплитуда n -ой компоненты тока i_n зависит только от квази-постоянного тока и конструкции АТ, поэтому произведение сумм является функцией $i_{\text{КПТ}}$. Обозначим эту функцию как:

$$g_d = \sum_{n=1}^N \sqrt{n} i_n \cdot \sum_{n=1}^N i_n, \quad (5)$$

тогда выражение для мгновенного значения удельной мощности (3), можно записать в виде:

$$p = r_1 \cdot g_d \cdot H_{\tau 1}^2. \quad (6)$$

Среднее значение удельной мощности будет в два раза меньше амплитудного. Кроме того, следует учесть, что распространение

электромагнитной волны через границу раздела сред создает отражённую волну. С учётом этого из (6) окончательно получим:

$$p_s = \frac{\eta_1 \cdot g_d \cdot H_{\tau 1}^2}{2k_\varphi} = g_d \cdot p_{so}, \quad (7)$$

где $p_{so} = \frac{\eta_1 \cdot H_{\tau 1}^2}{2 \cdot k_\varphi}$ – ДПАМ при $i_{\text{КПТ}} = 0$, k_φ – коэффициент, учитывающий

отражение электромагнитной волны [4].

Таким образом, для вычисления ДПАМ достаточно знать потери в автотрансформаторе при нормальном режиме работы и найти зависимость функции g_d от квазипостоянного тока. Расчётная зависимость g_d от $i_{\text{КПТ}}$ для автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 приведена на рис. 4.

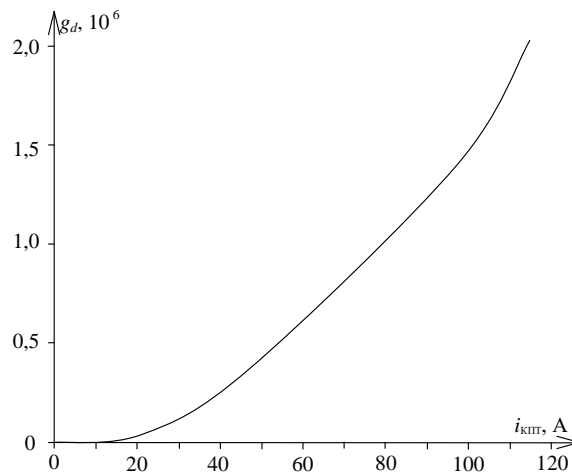


Рис. 4. Зависимость g_d от $i_{\text{КПТ}}$ для АОДЦТН-267000/500/220

В результате расчётов получено, что для силового автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 при $i_{\text{КПТ}} = 65$ А удельные потери возрастают примерно в 700000 раз, в наиболее нагретой точке (ННТ) поверхности бака достигают $41,2 \text{ кВт/м}^2$, а суммарные – 949,7 кВт.

В маслонаполненных СТ и АТ тепло, обусловленное дополнительными потерями активной мощности, прежде всего, идет на нагрев масла. Значительное увеличение ДПАМ может привести к превышению предельно допустимой температуры трансформаторного масла в ННТ. Достижение предельной допустимой температуры ограничивает время работы силового автотрансформатора при квазипостоянном токе.

Расчеты зависимости времени t_0 , за которое температура в ННТ достигнет предельно допустимого значения ($180\text{ }^\circ\text{C}$), выполнены для силового однофазного автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220. При этом, согласно рекомендации ГОСТ-11677-85 температура окружающего воздуха выбиралась равной $40\text{ }^\circ\text{C}$, а превышение температуры масла над температурой воздуха – $60\text{ }^\circ\text{C}$. Полученная зависимость t_0 от $i_{\text{КПТ}}$ представлена на рис. 5.

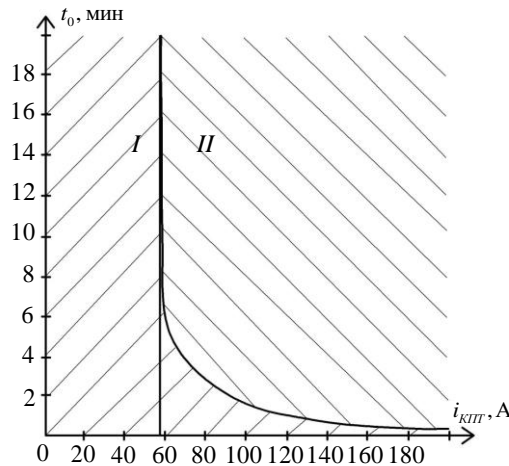


Рис. 5. Зависимость времени достижения температуры $180\text{ }^\circ\text{C}$ в ННТ автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 от $i_{\text{КПТ}}$

Согласно результатам расчётов квазипостоянный ток меньше 57 А в обмотке высокого напряжения силового однофазного автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 не ограничивает время работы. В тоже время, при КПТ, ожидаемых при сильных геомагнитных бурях, допустимое время работы АТ составляет около 1 мин. При геомагнитных бурях длительность значительных КПТ может достигать 5 мин [3], что приведёт к отключению автотрансформатора или его повреждению.

Литература

1. Гершенгорн А. И. Воздействия геомагнитных токов на электрооборудование энергосистем // Электрические станции. 1993. № 6. С. 54–63.
2. Karpenman J. G. Low-Frequency Protection Concepts for the Electric Power Grid: Geomagnetically Induced Current (GIC) and E3 HEMP Mitigation. – Suite E Goleta // Metatech Corporation 358 S. Fairview Ave., 2010. p. 201.

3. Горохов И. В. Расчет дополнительных потерь активной мощности в конструктивных элементах однофазного силового автотрансформатора в присутствии квазипостоянного тока // Энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019). Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2019. С. 163–166.

4. Лейтес Л. В. Электромагнитные расчёты трансформаторов и реакторов. М.: Энергия, 1981. 392 с.

УДК 621.317

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЗА СЧЁТ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОВОЙ САМОДИАГНОСТИКИ

¹Готовкина Елена Евгеньевна, ²Кабаков Павел Александрович

ФГБОУ ВО «ИГЭУ», г. Иваново

¹usful@bk.ru

Сотрудниками ИГЭУ были разработаны и введены в эксплуатацию инновационные конструкции измерительных трансформаторов тока и напряжения (ЦТТН) на основе резистивных делителей, осуществляющих технический и коммерческий учет потребленной электроэнергии, а также участвующих в работе систем релейной защиты и автоматики. В электроэнергетике системы тепловой самодиагностики измерительных трансформаторов, работающие в режиме реального времени, отсутствуют, а тепловое обследование часто проводится по графику обслуживания, что сказывается на надежности работы электрооборудования. Следовательно, разработка и создание новых систем самодиагностики теплового состояния измерительных трансформаторов, выдающих значения температуры по нескольким точкам, в том числе, и по наиболее разогретому элементу, в реальном времени, является важной и актуальной задачей особенно для управления работой «умных» электрических сетей. На основе данных физического и математического моделирования процесса теплообмена трансформатора с окружающей средой при различных значениях температуры воздуха, инсоляции, электрического напряжения в сетях был разработан алгоритм тепловой самодиагностики и тепловой защиты от перегрева измерительного трансформатора. Была разработана система тепловой самодиагностики для ЦТТН 6–220 кВ.

Ключевые слова: система тепловой самодиагностики, цифровой измерительный трансформатор тока и напряжения.

INCREASING THE RELIABILITY OF OPERATION OF MEASURING TRANSFORMERS BY DEVELOPING A HEAT SELF-DIAGNOSTIC SYSTEM

¹Gotovkina Elena Evgenievna, ²Kabakov Pavel Alexandrovich

ISPU, Ivanovo

¹usful@bk.ru

Ivanovo State Power Engineering University (ISPEU) staff have developed and put into operation innovative designs of digital current and voltage instrument transformers (DCVT) based on resistor dividers performing technical and commercial electric power accounting, and also participating in work of relay protection and automation systems. Thermal self-diagnostics systems working in real time for instrument transformers do not exist in electric power engineering, while thermal examination is often conducted according to maintenance schedules, which negatively impacts the reliability of electrical equipment functioning. Development and building of new systems of self diagnostics for instrument transformer thermal state, revealing temperatures at several points, including values for the most heated up part, in real time, is therefore a vital task, especially for controlling operation of "smart" grids. Based on the results of physical and mathematical simulation of the process of heat exchange between a transformer and its environment at different values of ambient temperature, insolation and grid voltage. Algorithm has also been developed for thermal self-diagnostics and thermal protection against overheating of instrument transformers. System of thermal self diagnostics has been developed for 6–220 kV.

Keywords: thermal self-diagnosis system, digital current and voltage measuring transformer.

Сотрудниками ИГЭУ были разработаны и введены в эксплуатацию инновационные конструкции измерительных цифровых трансформаторов тока и напряжения (ЦТН) [1, 2] на основе резистивных делителей, осуществляющих технический и коммерческий учет потребленной электроэнергии, а также участвующих в работе систем релейной защиты и автоматики. Цифровой трансформатор состоит из первичных преобразователей тока и напряжения, а также электронных блоков обработки сигналов. В корпусе первичного преобразователя напряжения расположено несколько резисторов. Конструкция и геометрическая модель цифровых трансформаторов напряжением 6(10) и 110 кВ приведены на рис. 1 и 2.

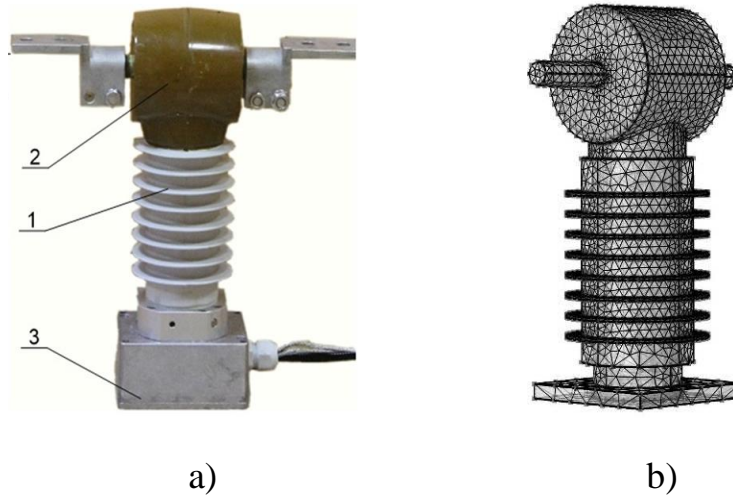


Рис. 1. Внешний вид (а) цифрового комбинированного трансформатора 6(10) кВ и его геометрической модели (б), созданной в программном обеспечении: 1 – первичный преобразователь напряжения; 2 – первичный преобразователь тока; 3 – низковольтный электронный блок

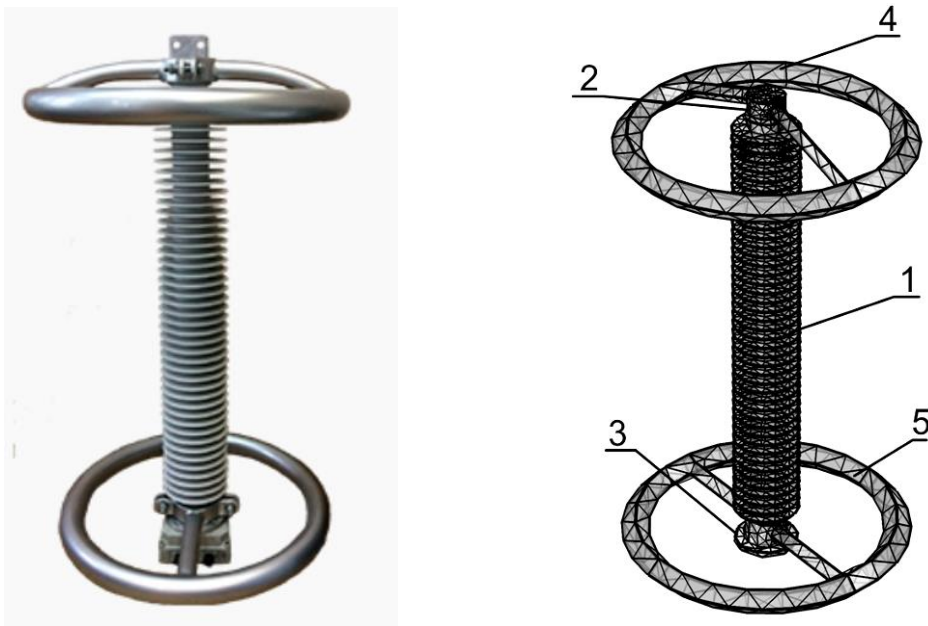


Рис. 2. Внешний вид (фотография и компьютерная модель) первичного преобразователя 110 кВ: 1 – резиновая оболочка; 2, 3 – соответственно верхний и нижний фланцы; 4, 5 – экранные кольца

Несмотря на достаточную проработанность вопросов, связанных с защитой от перегрева силовых трансформаторов напряжения [3] и организацией оптимальной работы «умных» электрических сетей [4, 5], с использованием современного программного обеспечения [6], к сожалению, в электроэнергетике системы тепловой самодиагностики измерительных трансформаторов, работающие в режиме реального времени, отсутствуют.

В соответствии с концепцией «Интеллектуальная электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью» [7] оборудование должно иметь встроенные функции самодиагностики.

Авторами была проведена серия экспериментов по физическому [1] и компьютерному моделированию [2, 8] процесса теплообмена трансформатора с окружающей средой при различных значениях температуры воздуха, инсоляции, электрического напряжения в сетях. Была произведена верификация разработанных имитационных математических моделей ЦТТН 6(10) и 110 кВ [2].

В зависимости от класса напряжения и области применения цифровые трансформаторы могут располагаться как в закрытом помещении, так и на открытом воздухе. В случае расположения на открытом воздухе на трансформатор помимо внутренних тепловыделений от токопроводящих элементов и температуры окружающего воздуха будет действовать и инсоляция.

Резисторы внутри делителя напряжения могут быть в осевом (а), краевом (б) и спиральном (в) расположениях (рис. 3). Наиболее рациональным, с точки зрения отвода теплоты от делителя, является спиральное расположение [2]. При осевом и краевом расположении резисторов Солнце оказывает примерно равное влияние на их тепловое состояние.

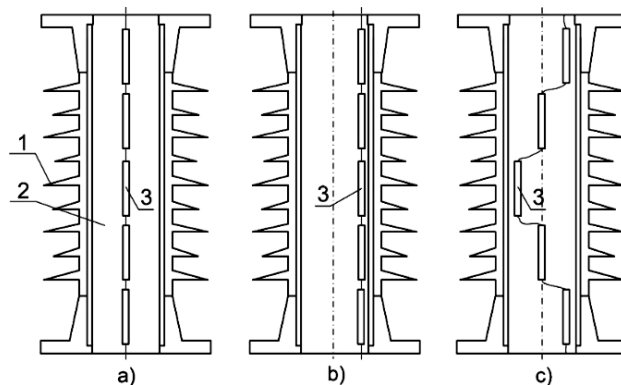


Рис. 3. Осевое (а), граничное (б) и спиральное (с) расположения резисторов в резистивном делителе напряжения: 1 – корпус; 2 – изоляция; 3 – резисторы

Резисторы первичного преобразователя напряжения цифрового трансформатора разогреваются неравномерно по высоте, и на разность температур между нижним резистором и максимально разогретым оказывает влияние как геометрия и используемые материалы в трансформаторе напряжения, так и значения напряжения и силы тока, инсоляция (с учетом геометрического положения Солнца относительно трансформатора), температура воздуха и другие факторы.

В случае расположения трансформатора в помещении температуру наиболее разогретого элемента t_{\max} , °С, можно определить, как:

$$t_{\max} = t_{\text{датч}} + \Delta t_1(U) + \Delta t_2(t_{\text{окр.среды}}), \quad (1)$$

где $t_{\text{датч}}$ – температура датчика, расположенного на нижнем резисторе, °C;
 $\Delta t_1(U)$ – функция аккумулятивной надбавки на разогрев от напряжения и конструкторского решения внутреннего устройства трансформатора, °C;
 $\Delta t_2(t_{\text{окр.среды}})$ – функция надбавки от влияния температуры окружающей среды, °C.

При расположении трансформатора на открытом воздухе и дополнительном влиянии инсоляции температуру наиболее разогретого элемента t_{\max} , °C, можно определить, как:

$$t_{\max} = t_{\text{датч}} + \Delta t_1(U) + \Delta t_2(t_{\text{окр.среды}}) + \Delta t_3(t_{\text{инс}}), \quad (2)$$

где $\Delta t_3(\Delta t_{\text{инс}})$ – функция приращения температуры, определяемая исходя из разности показаний датчиков температуры, расположенных на ребре рубашки изоляционной покрышки (рис. 4), отвечающих за определение местонахождения Солнца относительно нижнего резистора и интенсивность инсоляции, °C:

$$\Delta t_{\text{инс}} = t_{\max.\text{руб}} - t_{\min.\text{руб}}, \quad (3)$$

где $t_{\max.\text{руб}}$, $t_{\min.\text{руб}}$ – максимальное и минимальное значение датчиков температур на рубашке изоляционной покрышки, °C. Количество датчиков на рубашке может быть как 4, так и 8, что, в свою очередь, усложняет конструкцию и стоимость резистивного делителя.

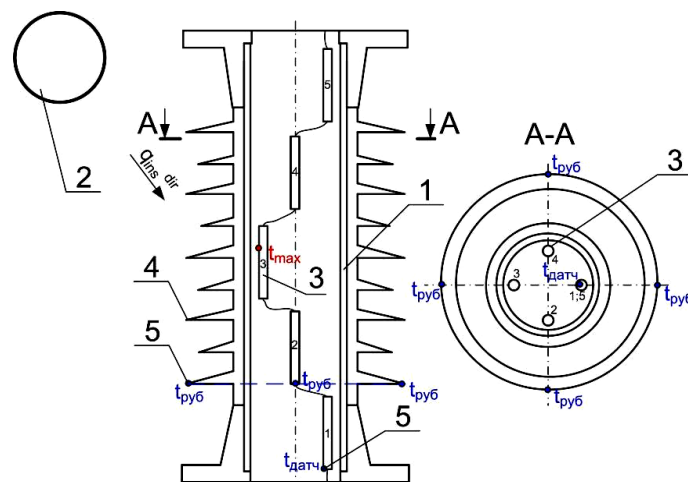


Рис. 4. Вариант размещения датчиков температур в делителе при спиральном расположении резисторов:

1 – корпус; 2 – Солнце; 3 – резисторы; 4 – рубашка изолятора; 5 – датчики температуры

В результате выполненных исследований был разработан алгоритм тепловой самодиагностики цифрового трансформатора на основе резистивного делителя в режиме реального времени (рис. 5), работающий следующим образом.

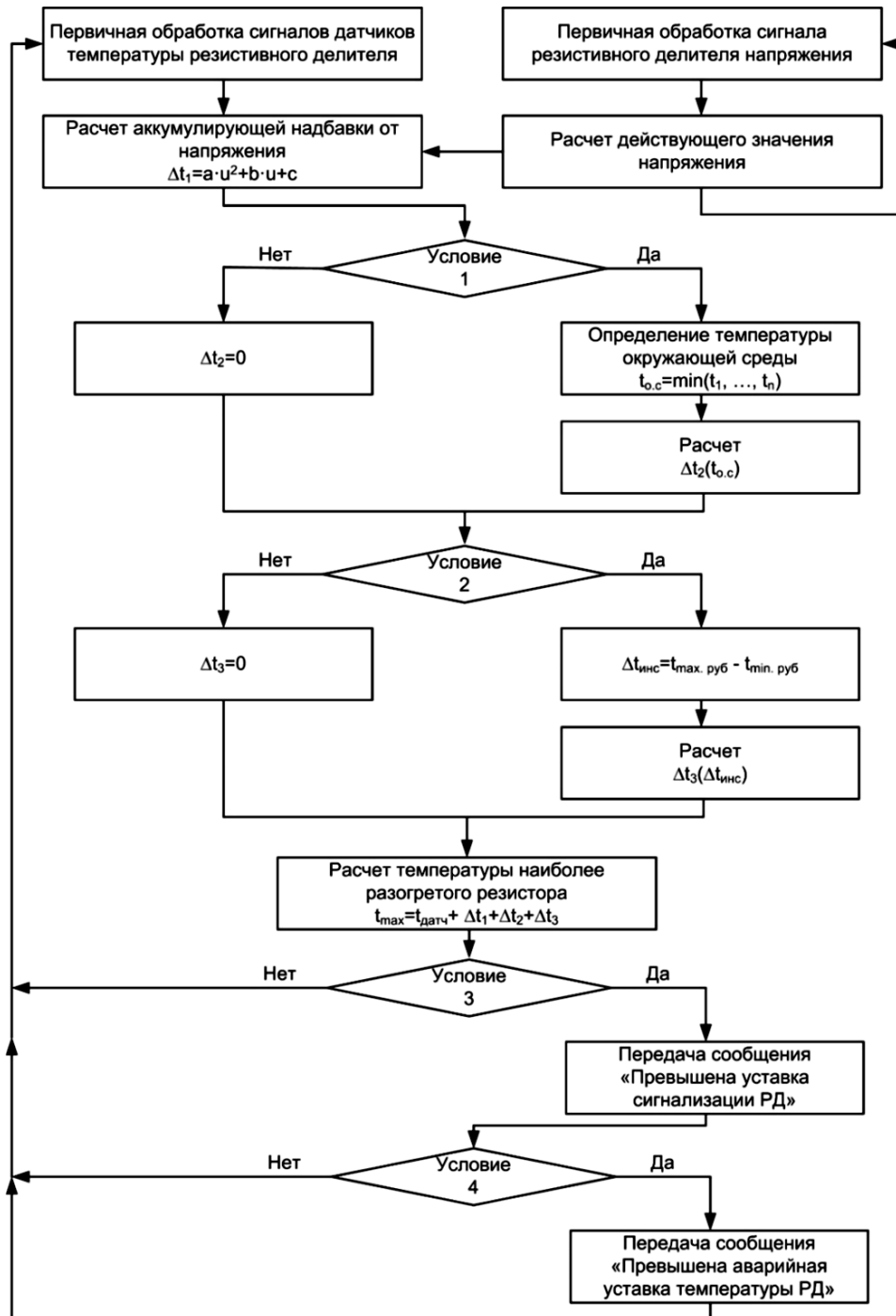


Рис. 5. Алгоритм диагностики теплового состояния первичного преобразователя напряжения на основе резистивного делителя:
 условие 1 – учитывается надбавка от влияния температуры окружающей среды;
 условие 2 – учитывается надбавка от влияния инсоляции; условие 3 – $t_{\max} > t_{\text{уст.сигн}}$;
 условие 4 – $t_{\max} > t_{\text{уст.авар}}$.

На основе созданных алгоритмов была разработана система тепловой самодиагностики для ЦТТН 6-220 кВ. Для работы системы в ЦТТН размещают в определенной последовательности датчики температуры (в зависимости от конструкции трансформатора) и их подключают к электронному блоку, в котором реализуют обработку данных в соответствии с предложенным алгоритмом.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» по теме «Мультифункциональная система на основе цифровых трансформаторов тока и напряжения для цифровой подстанции» (Соглашение № 14.577.21.0276 о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 г., уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57717X0276).

Исследования выполнены с использованием уникальной научной установки №507666 «Многофункциональный испытательный комплекс (МИК) для исследования первичных преобразователей тока и напряжения, устройств цифровой подстанции и устройств релейной защиты и автоматики» в Ивановском государственном энергетическом университете.

Литература

1. Litvinov S., Lebedev V., Smirnov N., Tyutikov V., Shuvalov S. Thermal and aerodynamic tests of a digital combined current and voltage transformer // MATEC Web of Conferences. IManE&E 2018 – Les Ulis, France: EDP Sciences. 2018. № 178. P. 6.
2. Gotovkina E., Tyutikov V., Smirnov N., Lebedev V., Bushuev E. Influence of insolation and ambient temperature on operation of digital voltage transformers in Russia // MATEC Web of Conferences. IManE&E 2018 – Les Ulis, France: EDP Sciences. 2018. № 178.
3. Tenbohlen S., Stirl T., Bastos G. etc. Experienced-Based Evaluation of Economic Benefits of Online Monitoring Systems for Power Transformers // CIGRE Session. Paris, 2002. P. 12–110.
4. Xin Wang, Yun Liu and Yi Sun Research on the method of eliminating new energy in smart grid // 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 382.

5. Solyonyj S., Shishlakov V., Solenaya O. Probability estimation of ignitions formation in the electrical network // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 113.

6. Naveen P., Wong Kiing Ing, Michael Kobina Danquah, Amandeep S Sidhu and Ahmed Abu-Siada Cloud computing for energy management in smart grid - an application survey // 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 121.

7. Бердников Р. Н., Дементьев Ю. А., Моржин Ю. И., Шакарян Ю. Г. Основные положения концепции интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью // Энергия единой сети. 2012. № 4. С. 4–11.

8. Gotovkina E. E., Parfenov G. I., Smirnov N. N., Lebedev V. D., Tyutikov V. V. Mathematical simulation of thermal state of digital current and voltage transformer in unfavourable weather conditions // MATEC Web of Conferences. 2018. №194. P. 6.

УДК 620.178.5

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

¹Денисова Алина Ренатовна, ²Важалин Дмитрий Сергеевич
ФГБОУ ВО «КГЭУТ», г. Казань
¹denisova_ar@mail.ru, ²vazhalin@bk.ru

Целью данной статьи является анализ критериев оценки потенциала энергосберегающих мероприятий с целью принятия решений о эффективности их внедрения.

Ключевые слова: энергоэффективность, критерии оценки, энергосберегающие мероприятия.

INTEGRAL CRITERIA OF EFFICIENCY OF THE ENERGY SAVING PROGRAM OF ELECTRICAL SYSTEMS

¹Denisova Alina Renatovna, ²Vazhalin Dmitrii Sergeevich
KSPEU, Kazan
¹denisova_ar@mail.ru, ²vazhalin@bk.ru

The aim of this article is to analyze the criteria for assessing the potential of energy-saving activities in order to make decisions on their effectiveness.

Keywords: energy efficiency, evaluation criteria, energy-saving activities.

Проблемы энергосбережения относятся к актуальнейшим проблемам глобальной постиндустриальной экономики. Для России они являются особенно важными, потому что расход энергии на единицу валового внутреннего продукта в стране в среднем на 30 % выше, чем в остальных индустриально развитых странах, и составляет 10–25 % от себестоимости российской продукции. С одной стороны, нельзя не учитывать тот факт, что более высокий уровень энергоемкости российской экономики может быть объяснен объективными, существенными причинами, такими как высокая доля энергоемких отраслей в промышленном производстве, суровые климатические условия, огромные масштабы территории страны и другие. С другой стороны, можно действительно говорить о наличии неэффективного, расточительного расходования энергетических ресурсов.

Для того, чтобы охарактеризовать процесс производства, передачи или потребления энергии, оценить потенциал энергосбережения на различных объектах (установка, цех, предприятие, жилой район, регион, государство), обосновать правильность выбора энергосберегающих мероприятий, применяются критерии энергетической эффективности.

Один из таких ориентиров – теоретически необходимое количество энергетических ресурсов для проведения того или иного процесса. Теоретически необходимые затраты тепловой энергии для получения механической энергии можно определить через термический КПД цикла Карно. Затраты тепла на нагрев детали перед термической обработкой вычисляются как произведение разности начальной и конечной температур на теплоемкость и массу материала детали, затраты на плавление металла – как произведение удельной теплоты плавления на его массу и т. д.

Например, в сушильной установке затраты тепла на сушку материала не могут быть всегда выражены только через теплоту парообразования. Известно, что существует энергия связей влаги и материала, которые может иметь различную физическую природу. Влага может удерживаться капиллярными силами, силами сорбции, могут возникать химические связи, как в кристаллогидратах и т.д. Тогда для удаления влаги до конечного состояния могут потребоваться дополнительные затраты энергии, количество которых зависит от вида материала, его первоначальной влажности и т.д. То же касается разделения в ректификационной установке многокомпонентной смеси с неизвестными свойствами.

Тем не менее, поскольку теоретические затраты тепла на испарение влаги близки теоретическим затратам тепла на сушку их часто используют для характеристики эффективности процесса.

Критерий часто не полностью отражает эффективность процесса использования энергии, а лишь дает информацию для его анализа.

Годовое потребление тепловой энергии на отопление населенного пункта, отнесенное к единице отапливаемой площади, не говорит об эффективности использования энергии, поскольку неизвестна средняя температура воздуха и длительность отопительного периода.

Критерии эффективности энергосберегающих мероприятий можно сформулировать следующим образом. Годовой прирост чистой прибыли от внедрения мероприятия ($\Delta\Pi_{\text{ч}}$) равен годовому приросту балансовой прибыли за вычетом платежей и налогов:

$$\Delta\Pi_{\text{ч}} = \Delta\Pi_{\text{б}} - \Delta\text{Н},$$

где $\Delta\Pi_{\text{б}}$ – годовой прирост балансовой прибыли, руб.; $\Delta\text{Н}$ – увеличение суммы установленных налогов и других платежей, руб./год.

Годовой прирост балансовой прибыли $\Delta\Pi_{\text{б}}$ в общем виде определяется по выражению:

$$\Delta\Pi_{\text{б}} = \Delta P - \Delta U_{\text{сум}}, \quad (1)$$

где ΔP – стоимостная оценка технико-экономических результатов осуществления мероприятия, руб./год:

$$\Delta P = \Delta B - \text{Ц}_{\text{т}},$$

где ΔB – экономия топливно-энергетических ресурсов, т у.т.; $\text{Ц}_{\text{т}}$ – средняя цена 1 т топлива в условном исчислении, руб.; $\Delta U_{\text{сум}}$ – суммарный прирост годовых эксплуатационных издержек, вызванный осуществлением мероприятия, руб./год:

$$\Delta U_{\text{сум}} = \Delta U_{\text{ам}} + \Delta U_{\text{э}},$$

$\Delta U_{\text{ам}}$ – прирост амортизационных отчислений, руб./год; $\Delta U_{\text{э}}$ – дополнительные годовые эксплуатационные издержки, вызванные осуществлением мероприятия, без амортизационных отчислений, руб./год.

Годовой прирост чистой прибыли $\Delta\Pi_{\text{ч}}$ с учетом формулы (1) составляет:

$$\Delta\Pi_{\text{ч}} = \Delta P - \Delta U_{\text{сум}} - \Delta\text{Н}.$$

Критерием эффективности мероприятия является условие:

$$\Delta\Pi_{\text{ч}} > 0.$$

Срок окупаемости инвестиций ($T_{\text{ок}}$) – наименьший отрезок времени, в течение которого единовременные затраты на проведение мероприятия возмещаются за счет приростов чистой прибыли и амортизационных отчислений:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{м}} / \Delta\Pi_{\text{ч}},$$

где $K_{\text{м}}$ – капитальные вложения (единовременные затраты) на проведение мероприятия, руб.

Критерием эффективности мероприятия является неравенство:

$$T_{\text{ок}} \leq T_{\text{пр}},$$

где $T_{\text{пр}}$ – срок окупаемости, приемлемый для участвующих в финансировании мероприятия.

Выбор наиболее эффективных из нескольких намечаемых мероприятий производится по максимальным значениям чистой прибыли при приемлемом сроке окупаемости, т.е. ранжирование эффективных мероприятий производится по критерию:

$$\Delta\Pi_{\text{ч}} \rightarrow \max \text{ при } T_{\text{ок}} \leq T_{\text{пр}}.$$

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) определяется как разность за расчетный период между стоимостной оценкой технико-экономических результатов и затратами (единовременными и текущими) с учетом налогов и других платежей:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (\Delta P_t - \Delta U_{\text{эт}} - K_{\text{м}t} - \Delta H_t + L_t) \cdot (1 + e)^{1-t} = 0,$$

где T – расчетный период, рекомендуемый в расчетах эффективности энергосберегающих мероприятий, в пределах 10–15 лет; ΔP_t – стоимостная оценка технико-экономических результатов в году t , руб./год; $\Delta U_{\text{эт}}$ – дополнительные новые эксплуатационные издержки в году t , вызванные проведением мероприятия, без амортизационных отчислений на реновацию, руб./год; $K_{\text{м}t}$ – капитальные вложения в году t на проведение

мероприятия, руб./год; ΔH_t – увеличение налогов и платежей в году t , руб./год; L_t – ликвидационная стоимость основных фондов в году t , руб./год; $(1 + e)^{1-t}$ – коэффициент дисконтирования (коэффициент приведения, дисконтирующий множитель); e – норма дисконта, принимаемая с учетом банковских процентов на вклады, инфляции и риска.

Критерием эффективности мероприятия является условие:

$$\text{ЧДД} > 0.$$

Дисконтированный срок окупаемости инвестиций – минимальный временной интервал (от начала осуществления мероприятия), по истечении которого чистый дисконтированный доход становится и в дальнейшем остается положительным.

Срок окупаемости с учетом дисконтирования результатов и затрат определяется на основании уравнений:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (\Delta P_t - \Delta U_{\text{эт}} - K_{\text{Мт}} - \Delta H_t + L_t) \cdot (1 + e)^{1-t} = 0$$

или

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (\Delta P_t - \Delta U_{\text{эт}} - K_{\text{Мт}} + L_t) \cdot (1 + e)^{1-t} = 0,$$

решение, которых в табличной или графической форме дает срок окупаемости в годах. Критерием эффективности мероприятия является неравенство, т.е.:

$$T_{\text{ок}} \leq T_{\text{пр}}.$$

Для точного понимания резерва энергосбережения в процессе производства, передачи или потребления энергии, необходимо верно оценивать потенциал энергосбережения на различных объектах, обосновать правильность выбора энергосберегающих мероприятий с применением критериев энергетической эффективности.

Литература

1. Методическое пособие по расчету показателей эффективности энергосберегающих мероприятий (для регулируемых организаций). СПб.: ГКУ ЛО «ЦЭПЭ ЛО», 2013.

2. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2009. 239 с.

3. Баширов М.Г. и др. Экономика электропотребления в промышленности: Учеб. пособие для вузов / под ред. М.Г. Баширова. Уфа: Изд-во УНГТУ, 2004. 156 с.

4. Сидоров А.Е., Вагапова Н.А., Вагапов Г.В., Абдуллин Л.И. Управление эффективностью в электроэнергетике: инновационные подходы // Вестник экономики управления и права. 2015. № 3. С. 186.

УДК 621.31

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Дубинский Никита Сергеевич

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

dubinsky.nikita@yandex.ru

В статье рассматриваются направления совершенствования и актуальные проблемы автоматизированного электропривода.

Ключевые слова: электропривод, автоматизация, направления совершенствования, эффективность, производительность.

THE MAIN DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF THE AUTOMATED ELECTRIC DRIVE

Dubinsky Nikita Sergeevich

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

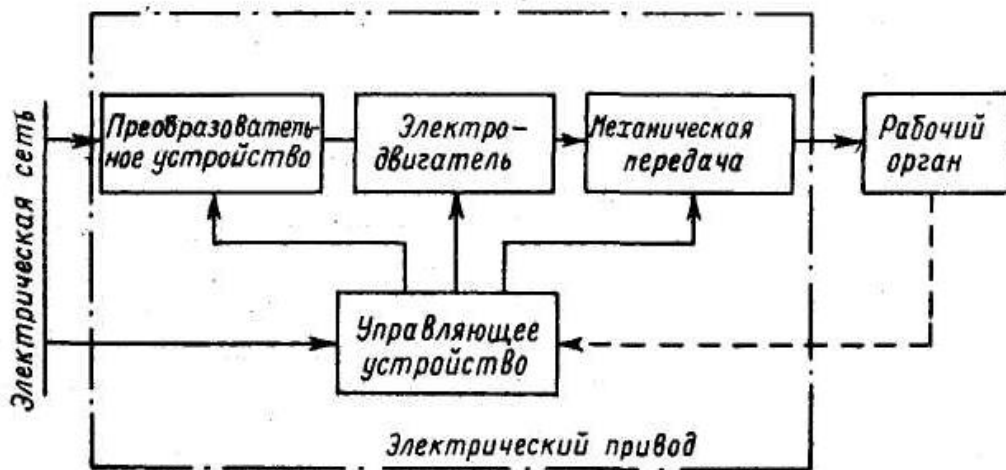
dubinsky.nikita@yandex.ru

In the article the directions of improvement and actual problems of the automated electric drive are considered.

Keywords: electrical drive, automation, areas of improvement, efficiency, productivity.

Совершенствованию электропривода (см. рисунок) сегодня уделяется особое внимание. Основными направлениями модернизации электропривода являются: увеличение надёжности, экономичности, качества и производительности рабочих механизмов, а также совместной

автоматизации и механизации технологических процессов. Также актуальной целью является возможность расширить применение регулируемого электропривода переменного тока, который работает на электродвигателях упрощенной конструкции с уменьшенной металлоёмкостью. Эти цели достигаются с помощью включения в работу новых изобретений в отрасли полупроводниковой преобразовательной техники. Направлением развития электроприводов становится резкий рост технологических требований к показателям точности и динамики, а также возрастающая сложность их функций управления. Развитие в этой области путём производства систем числового программного управления и расширения применения базы микропроцессорных элементов.



Структурная схема электропривода

Далее проанализируем, как перечисленные направления будут учитываться в совершенствовании техники электропривода. Основные задачи остаются прежними: возможность расширить сферу использования и повысить эффективность регулируемого электропривода. При этом нужно учесть два момента. Первый заключается в оценке преимуществ, которые даёт регулируемый электропривод. В пример можно привести регулируемый электропривод насосов систем водоснабжения. Обычно обосновывают целесообразность такого решения экономией электроэнергии, которая достигается из-за неравномерности подачи воды по времени суток. Но не учитывается то, что при регулировании скорости насосного агрегата увеличивается межремонтный период насоса, запорной арматуры, исключаются избытки напора, ведущие к повреждению трубопроводов, возникают предпосылки для комплексной автоматизации

насосной станции, сокращается обслуживающий персонал и т.п. Второй момент применения регулируемого электропривода связан со встраиваемостью электропривода в технологический процесс, выполняемый рабочей машиной. Сегодня автоматизированный электропривод должен рассматриваться и как часть рабочей машины, и как часть автоматизированного технологического процесса. При этом главное достоинство регулируемого электропривода с автоматическим управлением проявляется как возможность повышения качества производимой продукции или обеспечение стабильности ее качества [1].

Модернизация электроприводов взаимосвязана с открытиями в области полупроводниковой техники, составляющей базис для создания силовых преобразователей и управляющих схем. Со временем постепенно улучшаются технические характеристики тиристоров, являющихся основными силовыми элементами электропривода, однако имеющих ограниченное управление. Также разрабатываются более современные транзисторные преобразователи, которые имеют полное управление. Постоянное повышение степени систематизации полупроводниковых устройств выражается в создании новых полупроводниковых модулей, которые позволяют повысить надежность преобразователя, уменьшить его габариты и упростить его установку. Особым вектором развития элементной базы является проектирование специализированных интегральных схем для системы управления приводом. Данные схемы включают в себя устройства управления силовыми тиристорами, регуляторами приводов, блоками ограничения тока и др.

Также стоит отметить, что технологические установки нуждаются в большой эффективности и производительности от электроприводов, поэтому разработчики вынуждены совершенствовать свою продукцию в угоду новым требованиям. Однако в то же время проявляется и обратное влияние, когда модернизация электроприводов способствует повышению технологических возможностей. На сегодняшний день электропривод выступает основным потребителем электроэнергии в мире. Им конвертируется около 60 % всего мирового производства электричества. Именно в этих условиях энергетические показатели оказывают немаловажную роль в ходе решения не только технологических, но и экономических задач. Следовательно, разработчики электроприводов должны создавать механизмы, обладающие необходимой производительностью, при минимально возможных показателях энергопотребления.

В современных условиях технологическое развитие нуждается в более эффективной примитивной базе производства электроприводов. Из-за того, что более половины выработанной энергии потребляется электроприводами, к ним предъявляются требования по преобразованию из электрической энергии в механическую с наиболее минимальными потерями. Также стоит отметить, что модернизация электроприводов приводит к закономерному усложнению их конструкции, что, в свою очередь, связано с ростом технических требований и увеличением потребительских характеристик изделий.

Литература

1. Онищенко Г. Б., Юньков М. Г. Основные тенденции развития автоматизированного электропривода // Труды IX междунар. (XX всерос.) конф. по автоматизированному электроприводу АЭП-2016. Пермь: ПНИПУ, 2016. 615 с.

УДК 621.3

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ

¹Иванова Вилия Равильевна, ²Гараев Инсаф Зуфарович,
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹vr-10@mail.ru, ²insaf190396@mail.ru

Развитие современного регулируемого электропривода связано с распространением систем с управляемыми статическими полупроводниковыми преобразователями энергии. С освоением промышленностью выпуска мощных силовых транзисторов и современной микропроцессорной техники создаются условия для разработки преобразователя частоты с высокими технико-экономическими показателями. Частотное регулирование угловой скорости электропривода переменного тока с двигателями с короткозамкнутым ротором находят широкое применение в компрессорных установках.

Ключевые слова: компрессор, преобразователи частоты, асинхронный электродвигатель, электроэнергия, энергопотребление, винтовой компрессор электропривод.

SUBSTANTIATION OF APPLICATION OF FREQUENCY CONVERTERS FOR OPTIMIZATION OF OPERATION OF ELECTROTECHNICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

¹Ivanova Viliya Ravilevna, ²Garaev Insaf Zufarovich

KSPEU, Kazan

¹vr-10@mail.ru, ²insaf190396@mail.ru

The development of modern regulated electric drive is associated with the spread of systems with controlled static semiconductor energy converters. With the development of the industry production of powerful power transistors and modern microprocessor technology, conditions for the development of a frequency Converter with high technical and economic indicators are created. Frequency control of the angular velocity of the AC drive with motors with squirrel-cage rotor are widely used in compressor installations.

Keywords: compressor, frequency converters, asynchronous electric motor, electric power, power consumption, screw compressor, electric drive.

Основной схемой подключения асинхронного двигателя является схема «звезда-треугольник», но она не регулирует скорость, а только уменьшает нагрузку при старте за счет уменьшения напряжения на концах обмоток [1].

Управление асинхронным электродвигателем за счет изменения частоты питающего напряжения до недавнего времени представляло собой большую проблему, хотя начало разработок частотного регулирования было положено еще в 30-х гг. прошлого века. В то время развитие технологии частотного управления не могло интенсивно развиваться из-за высокой стоимости комплектующих деталей преобразователя частоты. С появлением на рынке силовых схем и модулей на *IGBT*-транзисторах, а также с разработкой высокопроизводительных микропроцессорных систем управления появилась возможность для создания современных преобразователей частоты за разумные деньги.

Основными установками, использующими преобразователи частоты, являются насосы и вентиляторы. Но по мере развития технологии и ее удешевления другие системы, такие как компрессоры, начинают пользоваться преимуществами частотного регулирования. Частотно-регулируемый привод уменьшает выходную мощность компрессора, контролируя скорость вращения электродвигателя, гарантируя то, что он будет работать не быстрее, чем это необходимо. Традиционный способ управления компрессором – это

запуск двигателя на полной мощности, а затем, когда набирается необходимое давление в системе, происходит его остановка. Как только давление в системе в результате расхода воздуха уменьшается до установленного минимально необходимого давления, происходит повторный запуск. Расход воздуха всегда меньше производительности компрессора. Этот метод «включения-выключения» является расточительным, потому что двигатель постоянно работает на своей номинальной скорости независимо от требований по количеству производимого воздуха. Большинство компрессоров спроектировано с системой холостого хода, при котором выработанный воздух подается на всасывающий клапан, и установка начинает работать «на себя», что опять-таки расточительно [2].

Компрессоры, как и многое другое оборудование, выбираются с некоторым запасом по производительности, исходя из пиковых потребностей в сжатом воздухе и снижения производительности по мере износа компрессора. В реальных же условиях загрузка компрессора составляет в среднем от 50 до 70 % от номинальной [3].

Применение преобразователей частоты для управления компрессорами обеспечивает:

- полное устранение токовых перегрузок двигателя и исключение проскальзывания ремней;
- снижение потребляемой электроэнергии на 20–60 % благодаря исключению сброса избыточного давления через предохранительный клапан (каждая 1 атмосфера избыточного давления в среднем увеличивает энергопотребление на 6–8 %);
- автоматическое поддержание давления в пневмосети с точностью до 0,1 атм.

Преобразователь частоты контролирует давление в пневмосети и регулирует скорость вращения двигателя (повышает при снижении давления ниже требуемого и снижает при превышении). В случае если даже разгон двигателя до максимальной скорости не приводит к росту давления до требуемого значения, компрессор продолжает работать с максимальной производительностью (это означает, что потребление сжатого воздуха выше производительности компрессора, и все равно подделать в такой ситуации ничего нельзя). Рассмотрим экономический эффект на примере винтового компрессора с номинальным давлением 9 атм и двигателем мощностью 55 кВт, работающим в системе с давлением 6 атм. При годовой наработке 4000 ч можно получить следующую экономию:

– за счет минимизации времени холостого хода 17600 кВт·ч;
 – экономия за счет устранения избыточного давления и снижения утечек воздуха 52800 кВт·ч.

Итого сэкономлено 70400 кВт·ч, или 32 % по сравнению с нерегулируемым компрессором.

Однако для получения экономического эффекта от применения регулируемого электропривода необходимо учитывать режим эксплуатации компрессорного оборудования [4].

Статистика применения компрессоров с преобразователями частоты показывает следующие данные (см. таблицу).

Статистика применения компрессоров с преобразователями частоты

Количество предприятий	Режим работы	Экономия энергии
64 %	большое потребление воздуха в дневные смены, слабое потребление в выходные дни	29 %
28 %	нет потребления воздуха в выходные, потребление сильно меняется в течение дня	38 %
8 %	постоянное потребление воздуха на уровне 60 % от максимальной производительности	14 %

Как видно, наибольший эффект при использовании преобразователей частоты достигается только на тех предприятиях, где потребление существенно меняется в течение дня. Там, где оно более или менее постоянно и соответствует номинальной производительности компрессора, экономический эффект существенно ниже. В отдельных случаях применение преобразователей частоты и вовсе не дает снижения энергопотребления. Например, когда компрессор может производить до 100 м³/мин, а потребление колеблется в диапазоне 94–97 м³/мин [5, 6].

Литература

1. Иванова В. Р., Гараев И. З. Исследование работоспособности асинхронных электродвигателей совместно с преобразователем частоты // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. I Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 2019. С. 283–286.
2. Иванова В. Р., Киселев И. Н. Частотно-регулируемый электропривод для энергосбережения и оптимизации технологических процессов в электротехнических комплексах // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. № 21(5). С. 59–70 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-5-59-70> (дата обращения: 27.01.2020).

3. Вагапова Н. А., Вагапов Г. В., Сидоров А. Е., Абдуллин Л. И. Эволюция технологий в энергетике // Вестник экономики управления и права. 2015. № 1. С. 158.

4. Федотов А. И., Роженцова Н. В., Вагапов Г. В., Абдуллазянов Р. Э. Методика проверки эффективности токоограничивающего устройства для снижения глубины провала напряжения // Промышленная энергетика. 2016. №12. С. 28–33.

5. Рудаков А. И., Нафиков И. Р., Иванов Б. Л. Повышение энергетической эффективности сублимационной сушки сельскохозяйственных материалов // Вестник КГАУ. 2007. Т. 2. № 2(6). С. 101–105.

6. Ivanova V.R., Fetisov L.V., Bulatov O.A. The Analysis of Measurements of Indicators of Quality of the Electric Power and Calculation of Economic Efficiency After Installation of the Booster Transformer // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon): Vladivostok, 2018. Pp. 1–4.

УДК 681.513.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДРАЙВЕРА ДЛЯ ИНВЕРТОРА НА IGBT-ТРАНЗИСТОРАХ

¹Карпова Полина Сергеевна, ²Миназов Марсель Рустамович,
³Хизбуллин Роберт Накибович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹Polyakarpova4@yandex.ru

Объектом исследования является драйвер для инвертора на *IGBT*-транзисторах и сравнительный анализ полученных результатов.

Ключевые слова: драйвер, *IGBT*-транзистор, Модули *IGBT*, инвертор.

IMPROVING THE DRIVER FOR THE INVERTER ON IGBTs

¹Karpova Polina Sergeevna, ²Minazov Marsel Rustamovich, ³Khizbullin Robert Nakibovich
KSPEU, Kazan
¹Polyakarpova4@yandex.ru

The object of study is the driver for the inverter on *IGBT*-transistors and a comparative analysis of the results.

Keywords: driver, *IGBT* transistor, *IGBT* modules, transistor, inverter.

Для надежной защиты полупроводниковых приборов от различных типов перегрузок требуется устройство, которое быстро реагирует на аварийные ситуации и обеспечивает безопасное отключение автоматических выключателей. В электронной системе электропитания эта функция выполняется системным контроллером или драйвером, которые управляют работой *IGBT*-транзистора или модулями транзисторов. Если проблема не требует немедленного реагирования, например при перегреве, одной из важных функций драйвера является сигнализация ошибки. Также драйвер *IGBT* должен реагировать и на «быстрые ошибки», такие как перегрузка. Существуют различные концепции создания систем защиты для преобразователей энергии, которые различаются по объему, типам сообщаемых ошибок и ряду сервисных функций.

Чтобы понять принципы работы цепей защиты от перегрузки по току, необходимо проанализировать поведение силовых транзисторов в состоянии короткого замыкания.

Причины перегрузки по току часто меняются в аварийной ситуации, (например, в случае неисправности в корпусе или цепи нагрузки). Перегрузка также может быть вызвана характеристиками схемы, например восстановлением переходного или обратного тока диода оппозитного плеча. Подобные проблемы должны быть устранены схемами и технологическими методами: использование демпферов, выбор резисторов затвора, изоляция цепей управления реле и так далее.

При выборе драйвера управления *IGBT*-транзистора необходимо учитывать следующие требования:

- эталонное значение среднего тока драйвера I_{Gav} должно быть выше расчетного значения, а максимально допустимое значение верхнего тока I_{Gpeak} должно быть равно или превышать фактическое значение, ограниченное сопротивлением цепи управления;

- выходная емкость цепи управления (емкость, установленная путем предоставления шага выхода) должна быть способна хранить нагрузку ($QC = C \times U$), необходимую для изменения *IGBT*.

Рекомендуемые настройки драйвера *IGBT*:

- значение UGE при активации должно составлять $+ 15 \pm 10 \%$ В (для обеспечения минимальных потерь во время работы);

- значение UGE при отключении питания должно быть от $- 7$ до $- 15$ В (чтобы уменьшить потери при отключении и обеспечить высокое сопротивление транзистора до du/dt);

- пиковое напряжение катушки передатчика не должно превышать ± 20 В;

– длительность фронтов импульсов напряжения на выходе драйвера должна быть не менее 5–10 раз меньше, чем время переключения, указанное на I_L устройства;

– рекомендуемое внутреннее сопротивление направляющей должно быть выбрано внутри допустимых значений, установленных для конкретной единицы с учетом минимальных динамических потерь и исключать возникновение перенапряжений, вызванных индуктивными перегрузками;

– напряжение блокировки должно обеспечивать полное отключение устройства при любых условиях функция;

– длина цепи управления должна быть минимальной. Рекомендуется использовать витую пару или нанесение платы драйвера непосредственно на клеммы управления устройства;

– цепи управления должны быть изолированы от возможных источников помех;

– из-за конструктивных свойств выходных дополнительных ступеней управляющего драйвера образуется паразитная структура тиристора $p-n-p-n$, которая может «защелкнуться», что приведет к сгоранию на выходного каскада драйвера. Этого можно избежать, подключив к шине общую цепь микросхемы источник мощного транзистора и отрицательный вывод адаптера трансформатора, блокирующего фильтр.

Рассмотренный выше анализ показал, что задача перед разработчиками драйверов $IGBT$ -транзисторов не решена полностью. Тем не менее появляются перспективные схемотехнические решения нового поколения драйверов, у которых выявленные недостатки в той или иной мере устранены. Так, новая серия цифровых интеллектуальных драйверов представляет собой готовое к использованию решение, совместимое с двух- и многоуровневыми топологиями. Одноканальный драйвер использует интеллектуальную схему управления переключения, регулирующую сопротивление резисторов к схеме затвора мощного $IGBT$ -модуля. Цифровая технология позволяет настраивать элементы управления в соответствии с требованиями пользователя.

Благодаря работе двух режимов мониторинга в течение всего периода прерывания (четырёхуровневый мониторинг насыщения и двойной контроль di/dt) драйвер обеспечивает надежную защиту от перегрузки в ситуациях короткого замыкания, включая «жесткие» и «мягкие» короткие замыкания. Данный драйвер также поддерживает

дополнительные функции защиты, такие как надежная защита от перенапряжения во время блокировки из-за ограничения напряжения на коллекторе *IGBT* с введением цифровой обратной связи, мониторинг напряжения питания, фильтр цифрового входа для подавления помех в управляющих сигналах. Он оснащен преобразователем постоянного тока в постоянный для питания изолированного драйвера. Этот преобразователь предназначен для обеспечения минимальной переходной способности и высокой стабильности изоляции. Оптоволоконный интерфейс используется для передачи сигналов управления и обратной связи о состоянии драйвера. Результаты испытаний драйверов этой серии подтвердили их высокую производительность с точки зрения качества коммутации, гибкости и надежности.

Параметры драйвера легко регулируются, что позволяет легко настраивать его как часть любой электронной системы питания. Испытания показали, что блоки *IGBT* 3,3 кВ, управляемые этим драйвером, могут выдерживать токи короткого замыкания до 6000 А (номинальный ток 1500 А) с паразитной индукцией 120 нГн и источником питания 2 кВ постоянного тока. Чтобы исключить нагрев из электронной схемы, блок управления драйвером не установлен на самом модуле. Непосредственно к устройству прикреплена только небольшая плата адаптера, которая менее подвержена перегреву.

Литература

1. Курс лекций по дисциплине «Силовые преобразователи электрической энергии в электрическом транспорте»: учеб. пособие / сост.: Р. Н. Хизбуллин, Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2005. 84 с.
2. Бурков А. Т. Электронная техника и преобразователи: учеб. для вузов ж.-д. трансп. М.: Транспорт, 2001. 464 с.
3. Силовые преобразователи электрической энергии в электрическом транспорте: Программа и метод. указания по изучению дисциплины / Сост.: Р. Н. Хизбуллин, М. Ф. Замалтдинов. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. 42 с.
4. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов; 4-е изд. М.: Высшая школа, 2006.
5. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. М.: Изд. Дом «Додэка-XXI», 2005.

УДК 621.311

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ УСТАНОВКИ ГИДРООБЕССЕРИВАНИЯ И ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ СТАБИЛЬНОГО КОНДЕНСАТА

¹Кинзябаев Айнур Амирович, ²Хуснутдинова Ильвина Гамировна

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате, г. Салават

¹kinzyabaev1998@gmail.com, ²ilvina011@mail.ru

В статье рассматривается модернизация системы электроснабжения и электрооборудования установки гидрообессеривания и фракционирования стабильного конденсата.

Ключевые слова: система электроснабжения, частотно-регулируемый электропривод, трансформатор, микропроцессорные устройства релейной защиты, устройства компенсации реактивной мощности.

MODERNIZATION OF THE POWER OF SUPPLY SYSTEM AND ELECTRICAL EQUIPMENT OF HYDRO DESULFURIZATION PLANT AND FRACTIONATION OF STABLE GAS CONDENSATE

¹Kinzyabaev Ainur Amirovich, ²Khusnutdinova Ilvina Gamirovna

Branch of USPTU in Salavat, Salavat

¹kinzyabaev1998@gmail.com, ²ilvina011@mail.ru

The article deals with the modernization of the power supply system and electrical equipment of the hydro desulfurization and fractionation of stable condensate.

Keywords: power supply system, frequency-controlled electric drive, transformer, microprocessor relay protection devices, reactive power compensation devices.

Рассматриваемая установка относится к производству легких углеводородов различных фракций.

Данное производство состоит из основных и вспомогательных стадий:

- осуществляется подготовка сырья для гидроочистки;
- происходит очистка сырья от сернистых соединений в реакторе;
- стабилизируется полученный в реакторе гидрогенизат, и смесь углеводородов ректифицируют на отдельные фракции;

– реализуется процесс очищения раствором моноэтаноламина (МЭА) циркуляционного водородсодержащего и углеводородного газа от сероводорода;

– в конечном итоге осуществляют получение широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) и пентан-изопентановой фракции.

Основными электроприёмниками являются трехфазные асинхронные электродвигатели 6 кВ большой группы насосов и компрессора. Имеются две комплектно трансформаторные подстанции (КТП-1 и КТП-2), по два трансформатора напряжением 6/0,4 кВ номиналом мощности 1000 и 1600 кВА каждая. В свою очередь, КТП питает группы асинхронных электродвигателей вентиляторов, воздушных холодильников, маслонасосов и другого вспомогательного оборудования.

Научно-технический прогресс в области энергетики определяет рациональное построение системы электроснабжения. Рациональность обуславливает себя тем, что необходимо применять там, где это возможно и допустимо технологическим процессом частотно-регулируемый электропривод, который оказывает существенный экономический эффект предприятию и, что важно, снижает загрузку трансформаторов в энергосистеме, а это, в свою очередь, также положительно влияет на сроки, в пределах которых возможна безаварийная эксплуатация питающего электрооборудования [1, 2].

Требования пожарной безопасности и, в первую очередь, безопасности людей, обслуживающего персонала электрооборудования, требуют замену масляных силовых трансформаторов на трансформаторы сухого исполнения. Учитывается высокая перегрузочная способность масляных трансформаторов в сравнении с теми же аналогами сухого исполнения и, чтобы нивелировать это их преимущество, необходимо закладывать запас по мощности на ступень выше (в ряде стандартных мощностей), это является вполне себе обоснованным решением [3, 4].

В данном случае рекомендуется заменить ныне действующие устаревшие трансформаторы, физический срок эксплуатации которых составляет более 25 лет на трансформаторы сухого исполнения с открытой обмоткой. На данном этапе развития энергетики такая замена возможна и позволительна на мощностях до 2500 кВА [5]. Вновь сооружаемые производственные площади актуально снабжать электроэнергией с помощью подстанций комплектного исполнения КТП (комплектно-трансформаторных подстанций), в сравнении со стационарными ТП (трансформаторными подстанциями), занимающие большие производственные площади.

Замена силовых трансформаторов, в свою очередь, должна обеспечиваться надежной релейной защитой, обеспечивающей селективное и быстрое срабатывание в связи с возникновением какой-либо аварийной ситуации. К предъявляемым требованиям хорошо подходят микропроцессорные устройства РЗ в сравнении с традиционными электромеханическими и статическими устройствами. Подобные микропроцессорные терминалы защит обеспечивают быстроедействие, отсчитываемое в количествах волн периода напряжения и токов по общепринятой в России частоте 50 Гц, т. е. период равен 20 мс (а защита отстраивается на срабатывание в шестой волне периода, в восьмой волне периода и т.д.), что является несравненным и ключевым преимуществом подобных устройств.

Внедрение микропроцессорных терминалов защит для электрооборудования в каком-либо технологическом производстве позволяет реализовать полноценную АСУ ТП (автоматизированную систему управления технологическим процессом), когда микропроцессорные терминалы защит будут интегрированы в общую систему управления и будут выступать в качестве УСО (устройства связи с объектом). В текущем случае рекомендуется применить для установки проверенные временем микропроцессорные терминалы защит типа *Sepam 40* фирмы *Schneider electric*.

Наиболее вероятная нагрузка – простые и надежные трехфазные асинхронные двигатели, зачастую обобщенный коэффициент мощности $\cos\phi$ предприятия с такой нагрузкой не доходит до желаемых ныне показателей ($\cos\phi = 0,92 \div 0,95$). Требуемый коэффициент мощности на предприятии достигается с помощью УКРМ (устройств компенсации реактивной мощности), зачастую с помощью регулируемых КУ конденсаторных установок. Внедрение установок компенсации реактивной мощности позволяет потребителю снижать затраты на электрическую энергию за счет поддержания уровня потребления реактивной мощности не ниже значения, согласованного по договору между потребителем и поставщиком электрической энергии.

В ныне действующем предприятии отсутствовали какие-либо устройства компенсации и ввиду большой загруженности производства асинхронными электродвигателями и полного отсутствия синхронных электродвигателей, которые в незагруженном случае могут выступать в качестве тех самых компенсаторных синхронных машин, рекомендуется рассмотреть внедрение автоматических (регулируемых) конденсаторных установок.

В данной статье были изложены основные обобщенные способы модернизации системы электроснабжения и электрооборудования производства углеводородов.

Литература

1. Баширов М. Г., Грибовский Г. Н., Галлямов Р. У., Гареев И. М., Хисматуллин А. С. Рекомендации по повышению надежности электроснабжения промышленной площадки линейно-производственного управления магистральных газопроводов // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 2 (31). С. 23–26.

2. Баширов М. Г., Лунева Н. Н., Миронова И. С. Проблемы планирования потребления электроэнергии предприятиями нефтегазопереработки в условиях реформирования электроэнергетики // Нефтегазопереработка-2009: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Ассоциация нефтепереработчиков и нефтехимиков, ГУП «Институт нефтехимпереработки РБ». Уфа, 2009. С. 27–28.

3. Баширов М. Г., Прахов И. В., Габбасов Р. Ш. Исследование спектра гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых трехфазным силовым трансформатором // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2013. № 2. С. 25–28.

4. Баширов М. Г., Хуснутдинова И. Г., Хуснутдинова Л. Г., Усманов Д. Р. Электромагнитно-акустический метод оценки технического состояния энергетического оборудования // Промышленная энергетика. 2016. № 12. С. 8–13.

5. Баширов М. Г., Прахов И. В., Хисматуллин А. С., Хуснутдинова И. Г. Совершенствование методов оценки технического состояния силовых трансформаторов // Промышленная энергетика. 2018. № 7. С. 2–10.

УДК 621.316.925.1

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ЦИФРОВОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЛЭП

¹ Корякин Максим Дмитриевич, ² Королук Юрий Федорович
Чукотский филиал Северо-Восточного федерального университета, Анадырь
¹maximkor2017@mail.ru

В данной статье рассматривается разработка цифрового устройства на микропроцессоре, а также разработка алгоритма и программы сбора и обработки информации на языке низкоуровневого программирования – *Assembler*. Данное устройство (сбора, обработки и хранения информации о происшедшей аварии) устанавливается на линии 110–220 кВ и выше.

Ключевые слова: районы Севера, *Assembler*, цифровое устройство, погрешность, экономические показатели.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR DETERMINING THE LOCATION OF DAMAGE FOR DIGITAL RELAY PROTECTION OF POWER LINES

¹ Koryakin Maksim Dmitrievich, ² Korolyk Yuriy Fedorovich
Chukotka branch of North-Eastern Federal University,
Anadyr
¹ maximkor2017@mail.ru

This article discusses the development of a digital device on a microprocessor, as well as the development of an algorithm and program for collecting and processing information in the language of low-level programming-Assembler. This Device (collection, processing and storage of information about the accident) on the line 110-220 kV and above

Keywords: Northern regions, Assembler, digital device, error, economic indicators.

В сетях 110 кВ и выше в районах севера нашей России определение места повреждения является сложной задачей из-за больших длин линий электропередачи и большого количества подстанций промежуточного отбора.

Повреждаемость линий довольно высокая, а поиск повреждения, сопровождаемый облетом линии на вертолетах и обходом ее пешком, сопряжен с большими затратами времени и финансовых средств.

При этом следует учитывать, что линии 110–220 кВ, как правило, одноцепные, и повреждение на них влечет отключение потребителей. Поэтому разработка программ определения места повреждения на персональных компьютерах, куда записывается информация о мгновенных значениях фазных токов и напряжений в процессе аварии, является актуальной задачей [1].

В связи с недостаточной точностью существующих односторонних методов определения мест повреждения при КЗ с землей на линиях ЛЭП 110 кВ и выше мы разрабатываем устройство для определения места повреждения для устройств релейной цифровой защиты ЛЭП.

Задачей данного проекта является разработка устройства на микропроцессоре, а также разработка алгоритма и программы сбора и обработки информации на языке низкоуровневого программирования – Assembler. Данное устройство (сбора, обработки и хранения информации о произошедшей аварии) необходимо для реализации функциональности разработанного метода определения места повреждения и вида повреждения на линии.

Для разработки устройства мы сперва изучили существующие на настоящий момент эксплуатируемые на некоторых подстанциях устройства фиксации и индикации – ФИП, устройство определения замыкания – Мир 1, устройство определения короткого замыкания – ИМФ-ЗР и информационную систему – Нева. Вообще, при использовании этих устройств точность достигается за счет принципа накопления данных о случившихся авариях, и чем больше накапливается этих данных, тем точнее результат.

Со временем точность вырастает до некоторого оптимального значения, но любое изменение состава или параметров линии (например, подключение отпайки или замена подстанции) сводит на нет уже накопленные данные – точность резко падает и все приходится начинать сначала.

Режимы электрической системы, когда в ней имеют место несколько несимметричных коммутаций (КЗ, разрывы фаз) или включены элементы с пофазно неравными параметрами, принято называть сложными несимметричными.

Необходимость в расчетах несимметричных режимов возникла одновременно с появлением первых электрических трехфазных цепей.

Основное содержание работы сводится к следующему.

Устройство производит снятие показаний с линии через трансформаторы тока и напряжения с периодичностью в четверть периода промышленной частоты одновременно со всех трех фаз. Также в регистры записывается состояние автоматических делителей входного сигнала (если они использовались). После этого устройство по очереди опрашивает УВХ – происходит ввод значений в процессор через АЦП и запись их в память Устройства [1].

Хранение информации предусмотрено во встроенной памяти микроконтроллера или во внешних блоках памяти (данная опция в данном проекте не разрабатывается, но предусмотрена в конструкции устройства).

В момент аварии на линии на разрабатываемое устройство от релейной защиты и автоматики поступает сигнал об аварии. Производит постоянно запись значений (6 параметров), ожидая сигнал от РЗА. При поступлении сигнала от РЗА устройство сохраняет в памяти последнюю последовательность значений (с некоторой задержкой отключения) и выходит из дежурного режима, если устройство эксплуатируется без дополнительной памяти и выдает результат только на индикаторы по запросу оператора [6]. В устройстве предусмотрены несколько способов обработки снятых показаний:

– отображение показаний на встроенных индикаторах трех токов, трех напряжений, номера значения в группе запомненных показаний и периода выборки;

– передача показаний в компьютер через СОМ-порт устройства и компьютера;

– передача показаний на устройство передачи телеметрических данных.

Далее данные могут передаваться в центр обработки информации автоматически по каналам телеметрии или дежурный персонал может сообщить их сам по телефону, что значительно упрощает и удешевляет внедрение разрабатываемого комплекса.

По мгновенным значениям пяти выборок сигналов, сделанных устройством, специальной программой расчета определяются текущие значения параметров и их производные.

Текущие значения и производные являются исходными данными для определения комплексных значений токов и напряжений.

Рассчитывается режим напряжений вдоль линии по фазам и по последовательностям. Исходными данными для расчета являются мгновенные значения токов и напряжений, зафиксированные с обоих концов линии двумя разрабатываемыми устройствами.

Место повреждения находится в точке, где напряжения, рассчитанные с двух сторон, совпали по величине. При этом переходное сопротивление в месте повреждения не влияет на точность места его определения [3].

Затраты на осмотр линии с точность определения рассмотрены (см. таблицу).

Затраты на осмотр линии с точность определения 0 %

Наименование статьи затрат	Единица измерения	Количество	Руб. за ед.	Количество часов или суток	Сумма, руб.
Затраты на работу электромонтёра	Чел.	3	117,24	3,83	1347,09
Затраты на работу водителя	Чел.	1	61,49	3,83	235,51
Затраты на автомашину	Машина	1	210,65	3,83	806,79
Затраты рабочих на проезд	Бригада	1	199,71	3,83	764,89
Командировочные	Чел.	4	170,00	0,48	325,55
Итого					3479,82

Протяженность линий электропередач всех напряжений в Якутии составляет 20 154 км, из них напряжением 220 кВ – 2 310 км, 110 кВ – 3 072 км.

Общая протяженность линий 110 и 220 кВ составляет 5 382 км.

В Якутии по статистике происходит 2 коротких замыкания в год на каждые 100 км линий:

$$n = \frac{5382,00 \cdot 2}{100} = 107,4. \quad (1)$$

Получили 107,4 коротких замыканий в год, из них 80 % однофазных коротких замыканий:

$$n_1 = 107,4 \cdot 0,8 = 86,1. \quad (2)$$

Получили 86,1 однофазных коротких замыканий в год.

На рис. 1 представлены доли потерь при подъезде бригады к теоретической точке КЗ и при поиске самой точки КЗ.

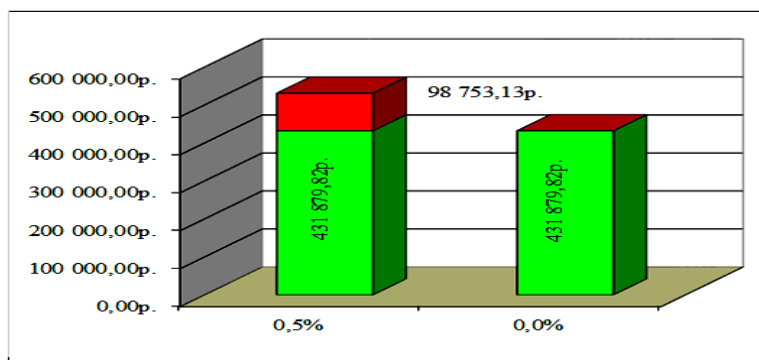


Рис. 1. Доли потерь при подъезде бригады к теоретической точке КЗ и при поиске самой точки КЗ

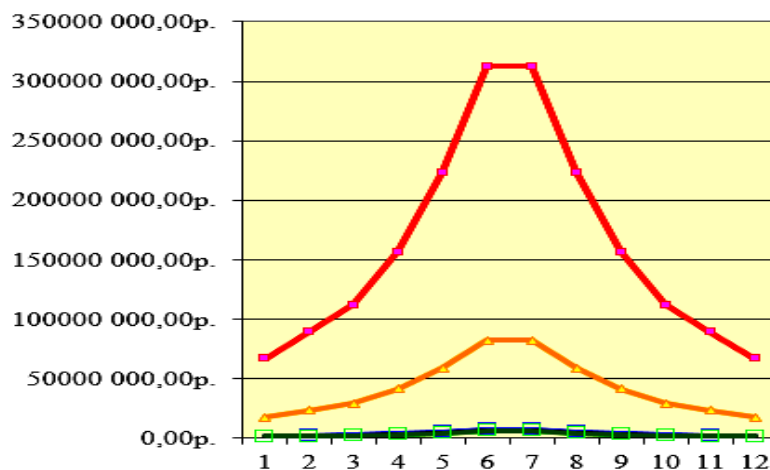


Рис. 2. Потери в течение года по месяцам при равных количествах аварий для всех вариантов

При таком количестве однофазных КЗ (рис. 2) видно, насколько велика разница в потерях при простое и на поиск КЗ для разных вариантов.

Соотношение потерь за год при равных количествах аварий для всех вариантов (составленного анализа 4 выборок устройств с погрешностью: 40, 10, 0,5, и 0%), где результаты расчетов потерь для общего количества однофазных КЗ на линиях 110–220 кВ за год в Якутии (рис. 3).

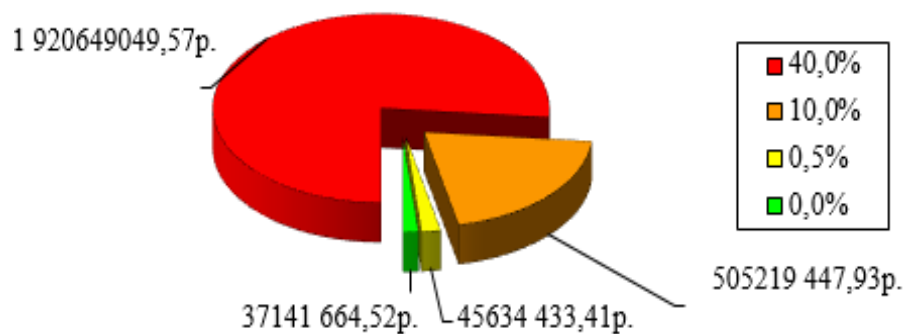


Рис. 3. Соотношение потерь за год при равных количествах аварий для всех вариантов

Для устройства погрешностью 0 % – 37 141 664,52 руб.

Если даже сравнить самый расходный вариант при работе разрабатываемого устройства (0,5 %) с самым экономичным из имеющихся на настоящий момент (10 %), то получим экономический эффект в год:

505 219 447,93 руб. – 45 634 433,41 руб. = 459 585 014,50 руб. в год.

Внедрение предлагаемого комплекса ОМП в комплекте с разрабатываемым устройством для определения места однофазных КЗ на землю на ВЛ 110–220 кВ на территории Якутии дает экономический эффект в год – 459 585 014,50 руб.

Окупаемость устройства при его внедрении на линии происходит при первом же КЗ, происходящем на ВЛ 110–220 кВ. Берем к рассмотрению только однофазные КЗ. Себестоимость одного устройства ориентировочно составит 50 000 руб. Для установки на одной линии нужно 2 устройства.

Расчеты показали, что внедрение предлагаемого комплекса ОМП в комплекте с разрабатываемым устройством для определения места однофазных КЗ на одноцепной линии 110–220 кВ дает экономический эффект в год – 15 882 035,39 руб.

Это довольно выгодный проект, тем более, что он не требует каких-либо капитальных переделок в существующей комплектации ВЛ и подстанций.

Внедрение метода ОМП в производство требует наличия устройств считывания данных по команде от РЗА в момент КЗ с обоих концов линии.

Для расчета места повреждения по алгоритму достаточно 5 выборок на 1 аварию. Для перекрытия задержки сигнала от РЗА устройство запоминает около 20–30 выборок.

Экономический эффект от применения устройства в Якутии по приблизительным оценкам составит более 10 млн руб. в год.

Отладка устройства на внутрисхемном анализаторе в среде *AVRStudio* и всего устройства в комплексе – в среде сквозного проектирования РЭА *Proteus 6* показала, что устройство вполне работоспособно и способно выполнять возложенные на него функции.

Литература

1. Заславская Т. Б., Королюк Ю. Ф. Программы расчета токов короткого замыкания и несимметричных режимов в длинных линиях электропередачи // Проблемы технической электродинамики. 1970. № 25. 161 с.
2. Королюк Ю. Ф. Использование метода многополюсника при расчете сложных несимметричных режимов электрических сетей // Известия СО АН СССР. 1971. Вып. 2. № 8. С. 68–73.
3. Королюк Ю. Ф., Чекмазов Э. М. Расчет на ЦВМ режимов длинных линий с продольными и поперечными несимметричными элементами // Сб. Вопросы надежной и экономичной работы дальних электропередачи и промежуточных систем. 1967. 58 с.
4. Мельников Н. А. Метод решения сложных несимметричных многофазных электрических систем // Сб. науч. тр. Всесоюз. заоч. энерг. ин-т. М.: Изд. Госэнергоиздат. 1954. № 3. С.144–158.
5. Мельников Н. А. Расчет режима электрической системы при наличии нескольких несимметричных нагрузок // Сб. науч. тр. Всесоюз. заоч. энерг. ин-т. М.: Изд. Госэнергоиздат. 1955. № 6. 156 с.
6. Laughton M. A. Analysis of unbalanced polyphase networks by the method of phase coordinates // Proc. Inst. Elec. Eng. 1968. Part 1. Vol. 115. № 8. P. 1163–1172. 1969. Part 2. Vol. 116. № 5. P. 857–865.

УДК 681.5

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

¹Крышко Константин Алексеевич, ²Баширов Муса Гумерович,
³Хафизов Алик Мусаевич

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате, г. Салават

¹Naix2804@gmail.com, ²eapp@yandex.ru, ³alikhafizov@mail.ru

Трубчатые печи являются одним из наиболее опасных объектов нефтегазовых производств, в них протекают реакции по превращению жидких и газообразных нефтепродуктов, высокотемпературный нагрев сырья. Для обеспечения их безопасной эксплуатации применяются самые совершенные на сегодняшний день информационно-управляющие системы. В статье предлагаются способы совершенствования информационно-управляющих систем обеспечения безопасности трубчатых печей путем применения технологии APCS («усовершенствованное управление и обеспечение безопасности») и генетических алгоритмов.

Ключевые слова: трубчатая печь, авария, генетический алгоритм, компьютерный тренажер, трубчатый змеевик, скорость коксообразования, виртуальные анализаторы.

INCREASE ENERGY EFFICIENCY AND SAFETY OF TUBULAR FURNACES BY IMPROVING A CONTROL SYSTEM BASED ON THE USE OF GENETIC ALGORITHMS

¹Kryshko K.A., ²Bashirov M.G., ³Khafizov A.M.

Branch of USPTU in Salavat, Salavat

¹Naix2804@gmail.com, ²eapp@yandex.ru, ³alikhafizov@mail.ru

Tubular furnaces are one of the most dangerous objects of oil and gas production, they undergo reactions to transform liquid and gaseous petroleum products, high-temperature heating of raw materials. To ensure their safe operation, the most advanced information and control systems are used today. The article suggests ways to improve information and control systems for ensuring the safety of tubular furnaces through the use of APCS technology («Advanced Process Control and Security») and genetic algorithms.

Keywords: tube furnace, emergency, genetic algorithm, computer simulator, the tubular coil, the rate of coking, virtual analyzers.

Безопасность, надежность, эффективность эксплуатации и удобство в обслуживании электрооборудования, элементов и систем автоматического управления любого промышленного предприятия во многом определяют безопасность всего технологического комплекса как конкретного участка, так и технологического процесса в целом.

В условиях интенсивного развития нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности одной из актуальных задач является повышение эффективности эксплуатации применяемого в отрасли оборудования. Трубчатые печи являются одним из основных видов оборудования технологических установок нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий и основными потребителями энергетических ресурсов [1].

Трубчатые печи, как и другое оборудование технологических установок предприятий нефтегазовой отрасли, являются опасными производственными объектами. Анализ аварийных ситуаций на предприятиях нефтегазовой отрасли и данные Академии государственной противопожарной службы МЧС России показывают, что за период с 2007 г. по 2018 г. порядка 12 % всех аварий в нефтегазовой отрасли приходится именно на трубчатые печи. Для снижения этого показателя необходима разработка технических и организационных мероприятий, направленных на повышение безопасности и энергетической эффективности трубчатых печей путем совершенствования как их конструкции, так и систем энергообеспечения и автоматизированного управления.

Значительная часть аварий на трубчатых печах происходит из-за прогара змеевика, причиной этого часто является закоксовывание. Прогар приводит к пожару внутри печи. Такие пожары представляют огромную опасность для персонала, обслуживающего технологические установки с трубчатыми печами.

Одним из путей повышения безопасности и энергетической эффективности трубчатых печей является внедрение системы «усовершенствованное управление», позволяющей контролировать техническое состояние технологического оборудования, управлять технологическим процессом и оптимизировать энергопотребление в реальном масштабе времени. Высокая производительность системы позволяет реагировать на любые изменения технического состояния оборудования и технологического процесса, принимать необходимые решения для предотвращения возникновения и развития аварийных ситуаций.

Совершенствование системы управления трубчатой печи на основе использования математических моделей оборудования и технологического процесса, виртуальных анализаторов качества и генетических

алгоритмов позволяют оптимизировать энергопотребление и повысить эксплуатационную безопасность [2].

Генетический алгоритм (ГА) представляет собой метод оптимизации, основанный на концепциях естественного отбора и генетики. В этом подходе переменные представляются в виде ген в хромосомах. ГА генерирует новые решения в виде различных комбинаций частных решений с использованием таких операторов, как отбор, кроссинговер и мутация [3].

На основе теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что уровень отложений в змеевиках трубчатых печей изменяется по степенной функции:

$$U = Y \left(\frac{T_{\text{тек}}}{F-1} \right) - 1,$$

где U – уровень закоксованности, в % от максимального значения; Y – основание показательной функции, рассчитывается исходя из нормативного времени использования змеевика; F – диагностическая функция; $T_{\text{тек}}$ – текущее время использование змеевика.

Основание показательной функции рассчитывается исходя из нормативного времени использования оборудования по формуле:

$$Y = 101 \left(\frac{1}{T_{\text{норм}} - 1} \right),$$

где $T_{\text{норм}}$ – нормативное время использования змеевика (время от прожига до прожига по регламенту).

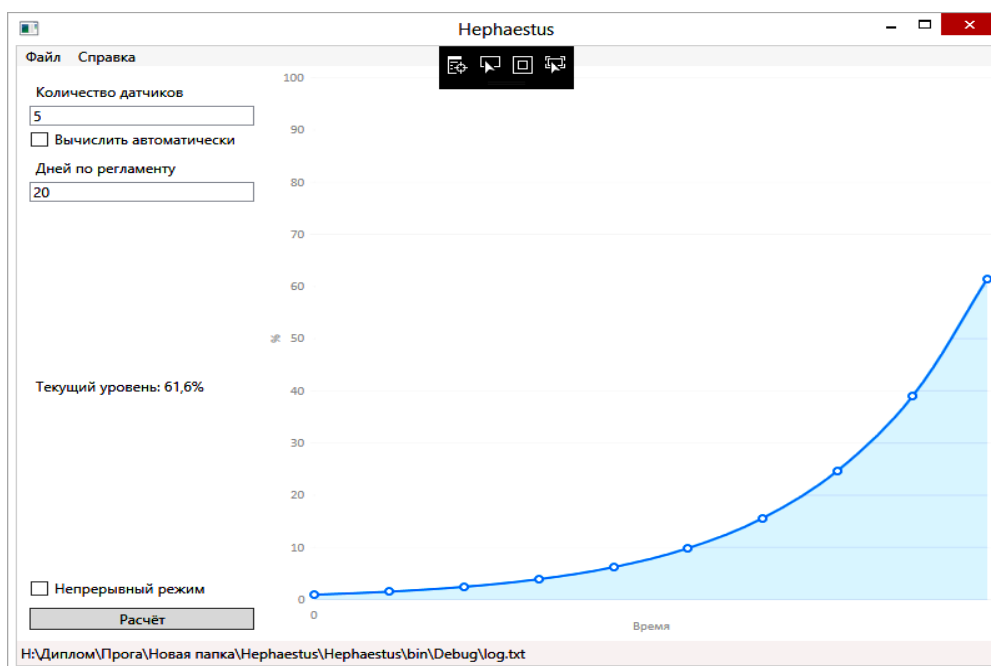
Диагностическая функция рассчитывается по формуле:

$$F = K_i \times x_i,$$

где K_i – коэффициенты функции, подбираемые генетическим алгоритмом; x_i – значение i -го параметра.

Взаимодействие пользователя и элементов программы, реализующей ГА, осуществляется посредством графических элементов (кнопок, значков, меню и т.п.). Необходимо создать интуитивный графический интерфейс, в котором вся информация представляется в простой и доступной для понимания форме.

После окончания работы генетического алгоритма пользователю представится график с уровнем закоксованности змеевика. Уровень будет представлен в процентной форме. При наведении курсора на любую из представленных координат на экран выводится значение отложений. Управление работой печи и оптимизация энергопотребления осуществляется с учетом уровня закоксованности змеевика. При достижении уровня закоксованности 80 % и выше программа формирует текстовое сообщение «Требуется проведение ремонтных работ» и подается звуковой сигнал (см. рисунок).



Результат работы программы

Таким образом, совершенствование АСУ ТП трубчатой печи позволяет:

- повысить эксплуатационную безопасность;
- оптимизировать энергопотребление с учетом уровня закоксованности змеевика.

Литература

1. Баширов М. Г., Юмагузин У. Ф., Талаев В. Л. Оценка технического состояния оборудования предприятий нефтегазовой отрасли на основе применения техноценологического метода // Нефтегазовое дело. 2012. № 5. С. 293–302.

2. 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.

3. Кузеев И. Р., Баширов М. Г., Прахов И. В., Баширова Э. М., Самородов А. В. Способ диагностики механизмов и систем с электрическим приводом. Патент РФ № 2431152. 2011. Бюл. №28.

4. Баширов М. Г., Прахов И. В., Габбасов Р. Ш. Исследование спектра гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых трехфазным силовым трансформатором // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2013. № 2. С. 25–28.

5. Баширов М. Г., Грибовский Г. Н., Галлямов Р. У., Гареев И. М., Хисматуллин А. С. Рекомендации по повышению надежности электро-снабжения промышленной площадки линейно-производственного управления магистральных газопроводов // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 2 (31). С. 23–26.

УДК 621.314.58

ПЕРЕНАСТРАИВАЕМАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПЛИС

¹Матвеев Дмитрий Алексеевич, ²Бальзамов Александр Юрьевич
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск
¹dimitry88@mail.ru, ²balsamovau@yandex.ru

В статье представлены результаты разработки перенастраиваемой системы управления полупроводниковыми преобразователями электроэнергии на основе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) и микроконтроллера. В ходе проделанной работы были определены общие для различных систем управления полупроводниковыми преобразователями функциональные модули, рассмотрены особенности реализации модулей на программируемой логике. Синтезированы структурная схема и принципиальная электрическая схема универсальной системы управления преобразователем, разработаны топологии печатных плат и их компоновка в единый модуль универсальной системы управления преобразователем, на языке ассемблера написано и отлажено программное обеспечение встроенного микроконтроллера. Изготовлен и испытан экспериментальный образец системы управления.

Ключевые слова: преобразователь электрической энергии, цифровая система управления, программируемая логика, микроконтроллер, модель, алгоритм.

RECUSTOMIZED CONTROL SYSTEM OF THE SEMICONDUCTOR CONVERTER OF ELECTRICAL POWER ON THE CPLD

¹Matveev Dmitry Alekseevich, ²Balzarov Alexander Jurevich

National Research Mordovian State University, Saransk

¹dimitry88@mail.ru, ²balsamovau@yandex.ru

The article presents the results of the development of a reconfigurable control system for semiconductor power converters based on a programmable logic integrated circuit (CPLD) and a microcontroller. In the course of this work, common functional modules for various control systems of semiconductor converters were identified, the features of the implementation of modules on programmable logic were considered. The block diagram and schematic diagram of the universal control system of the converter, the topology of printed circuit boards and their arrangement in a single module of the universal control system of the converter are developed, the software of the built-in microcontroller is written and debugged in Assembly language. An experimental sample of the control system was manufactured and tested.

Key words: electric energy converter, digital control system, programmable logic, microcontroller, model, algorithm.

Номенклатура полупроводниковых преобразователей электроэнергии включает множество аппаратов для различных отраслей промышленности и энергетики, мощности которых лежат в диапазоне от единиц киловатт до десятков мегаватт. По областям применения аппараты можно разделить на несколько направлений: преобразователи для электроприводов постоянного и переменного тока, вставки постоянного тока для согласования промышленных сетей, системы питания оперативного тока, преобразователи для питания гальванических ванн, источники бесперебойного питания [1].

Обобщив результаты проведенного структурного анализа наиболее часто встречающихся схемотехнических решений построения перечисленных выше полупроводниковых преобразователей, был сделан вывод, что мостовые схемы выпрямления и инвертирования находят применение в 90 % устройств преобразовательной техники, при этом базовые принципы формирования управляющих сигналов остаются неизменными и могут быть модифицированы для каждого конкретного применения с целью повышения надежности работы. Объединив элементы импульсно-фазового управления мостовым выпрямителем и элементы широтно-импульсного управления мостовым инвертором в единую систему

управления, можно обеспечить универсальный модульный принцип построения системы управления для широкого спектра преобразователей электроэнергии различного назначения.

В качестве основы построения выбраны программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Выбор определяется рядом причин, одна из которых – аппаратная реализация с привязкой к периодам синхрогенератора, что гарантирует формирование управляющих сигналов в точно определенные промежутки времени. В отличие от последовательной программной реализации алгоритмов на микропроцессоре в ПЛИС все процессы выполняются параллельно и синхронно с периодами тактового генератора. Наиболее значимым является малая подверженность сбоям конечных логических автоматов, реализованных в базе ПЛИС, в то время как программные обработчики циклических процессов подвержены «зависанию» [2]. Так как системы управления выпрямителем и инвертором не имеют общих связей за исключением интерфейса настройки режимов работы, то целесообразно их выделить в отдельные контроллеры.

Работа всех узлов разрабатываемой системы управления была промоделирована в среде VSM ISIS7 Proteus. Дальнейшая разработка проводилась в среде автоматизированного проектирования и симуляции ALTERA Quartus II, что позволяет моделировать работу полученной конфигурации с учетом особенностей микросхем программируемой логики, вычислять требуемую логическую емкость необходимую для размещения на кристалле ПЛИС. Общая логическая емкость, необходимая для конфигурирования контроллера выпрямителя составила 134 логических макроячейки. По результатам моделирования системы управления инвертором была получена логическая емкость, необходимая для конфигурирования на кристалле ПЛИС, которая составила 797 логических макроячеек.

Таким образом, логическая емкость, необходимая для аппаратной реализации системы управления преобразователем, составила суммарно 931 макроячейку, что позволило сделать заключение о возможности ее размещения с некоторым запасом в объеме кристалла программируемой логической микросхемы (ПЛИС) со структурой CPLD и максимальной емкостью 1270 макроячеек. При этом оставшейся логической емкости в 339 макроячеек недостаточно для размещения на базе кристалла интегрированного микропроцессора с целью общей координации работы всей системы управления. Таким образом, возможно два пути решения задачи [3]:

1. Использование более ёмкой матрицы ПЛИС с архитектурой *FPGA* (*EP1C3T144*).

2. Использование отдельного внешнего микропроцессора и ПЛИС с архитектурой *CPLD* (*EPM1270T144*).

Использование *FPGA* фирмы *ALTERA* серии *Cyclone* потребует внешней конфигурационной памяти (*EPCS4*), а также кроме основных источников питания 5 В, 3,3 В еще и дополнительного источника питания 1,8 В, при этом для удобства проведения работ по отладке необходимо размещение микросхемы внешней памяти программ для интегрированного микропроцессора. Также стоит отметить, что конвертирование проектов с логической емкостью более 1500 макроячеек в базис базовых матричных кристаллов становится затруднительным и может послужить препятствием при переходе к выпуску полузаказных микросхем силами сторонних заводов-изготовителей.

Использование внешнего микропроцессора более удобно для проведения отладки в связке с БИС программируемой логической микросхемы *CPLD*. Такое решение не увеличивает число корпусов микросхем на печатной плате перенастраиваемой системы управления, так как для *CPLD* не требуется конфигурационная память, и достаточно всего одного источника питания 3,3 В. Общая структурная схема перенастраиваемой системы управления приведена на рис. 1, она состоит из двух базовых элементов: микропроцессора и БИС управления преобразователем, выполненной на базе ПЛИС архитектуры *CPLD*.

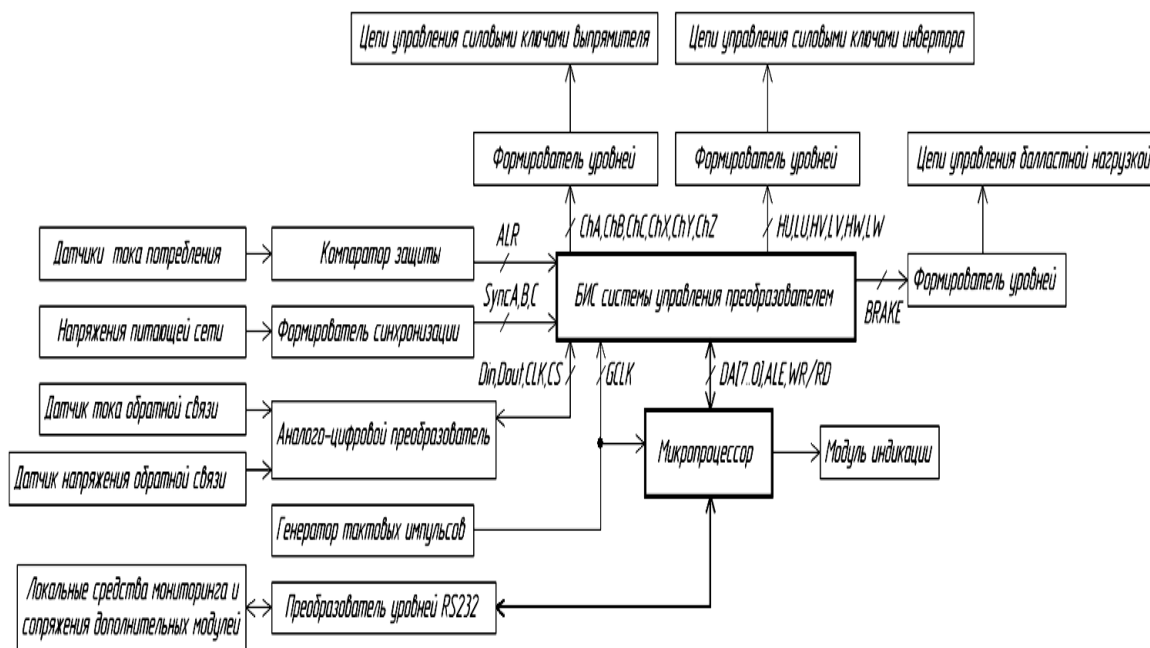


Рис. 1. Общая структурная схема комплексной системы управления

Микропроцессор выполняет периферийные функции системы управления, такие как формирование структуры меню оператора, обслуживание индикации и внешнего последовательного интерфейса. Также микропроцессор является ведущим на мультиплексированной параллельной шине, связывающей его с внутренними регистрами управления аппаратных контроллеров выпрямителя и инвертора, которые размещаются на кристалле ПЛИС. В качестве внешнего микропроцессора выбрана архитектура *Intel MCS-51 (C8051)*, так как де факто она является промышленным стандартом и выпускается множеством различных производителей, в том числе и отечественной промышленностью [4]. При таком построении перенастраиваемой системы управления микропроцессор полностью освобождается от жестких временных ограничений на формирование сигналов управления силовыми приборами, и, следовательно, сбои в работе программного обеспечения не могут повлиять на корректность выдачи управляющих сигналов и повлечь за собой неконтролируемую аварийную ситуацию. Как видно из структурной схемы, логика работы конфигурации ПЛИС включает в себя функции сбора данных с цепей обратной связи, таких как датчики тока и напряжения, однако ПЛИС не имеют в своем составе аналоговых узлов и оперируют только с цифровыми сигналами, в связи с этим комплексная система управления должна содержать внешнюю микросхему многоканального аналого-цифрового преобразователя, подключаемого посредством последовательного интерфейса с максимальной скоростью обмена 1,5 Мбит/с, что для 12-разрядного АЦП с учетом затрат времени на выбор канала составит ~ 90 кВыб/с на канал [5].

Для предотвращения развития аварийных токов, связанных с коротким замыканием на выходе силового преобразователя или перегрузкой, предусматривается наличие аппаратного отдельно реализуемого компаратора защиты, выдающего сигнал отключения на выходные буферы ПЛИС, приводящие к мгновенному прекращению подачи сигналов управления на силовые приборы независимо от текущего состояния внутренней логики.

Таким образом, перенастраиваемая система управления силовым преобразователем, содержащим один комплект выпрямителя и один комплект инвертора, может быть полностью реализована в одноплатном варианте, включающем интерфейс взаимодействия с оператором и внешней автоматизированной системой управления технологическим процессом.

Проектирование перенастраиваемой системы управления полупроводниковыми преобразователями электроэнергии было выполнено исходя из условий обеспечения широкой совместимости как с первичными датчиками тока и напряжения, так и с драйверами силовых полупроводниковых приборов. Одновременно при реализации системы управления были решены вопросы взаимодействия с оператором путем создания удобного человеко-машинного интерфейса, позволяющего отображать параметры работы системы, структуру пунктов меню и вводить необходимые исходные данные. Для отображения и ввода текущих параметров, режимов работы, а также отображения пунктов меню предусмотрен клавиатурно-дисплейный модуль, обслуживаемый периферийным контроллером на основной плате системы.

Алгоритм программного обеспечения, исполняемого на резидентном микроконтроллере, включает процесс начальной инициализации, активирования защит и подготовки интерфейса оператора (отображение на дисплее строк меню). Вторая часть алгоритма содержит дерево ветвлений, распределяющее процессорное время между несколькими различными задачами, связанными через обработчик команд. Дерево ветвлений составляет основной цикл программы, выполнение вспомогательных и обслуживающих задач выполняется в обработчиках соответствующих прерываний.

По результатам прототипирования схемотехнических решений, финальной настройки аппаратной части и ее совместной отладки с программным обеспечением были разработаны и трассированы печатные платы макетного образца перенастраиваемой системы управления на основе ПЛИС. Фотография системы управления в собранном виде показана на рис. 2.

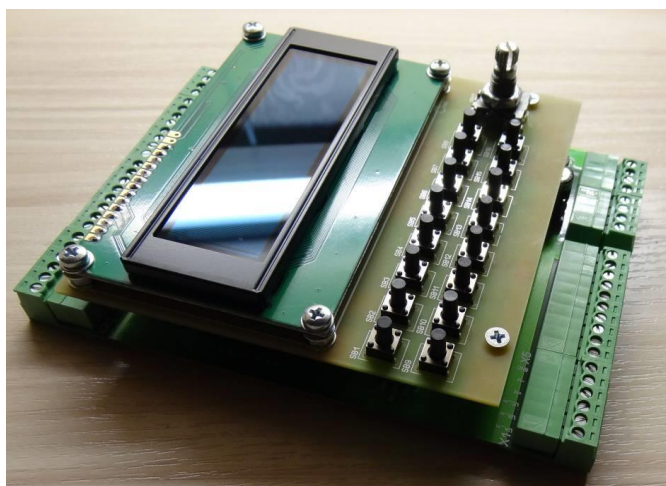


Рис. 2. Фотография системы управления в собранном виде

Рассмотренная перенастраиваемая система управления полупроводниковыми преобразователями обладает целым рядом достоинств (помехоустойчивость, надежность, гибкость, компактность) и может быть после соответствующей настройки использована в подавляющем большинстве современных устройств силовой преобразовательной техники [6]. Особо следует отметить возможность ее выполнения полностью на отечественной элементной базе.

Данная работа была выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям.

Литература

1. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. М.: СОЛОН-Пресс, 2005. 416 с.
2. Стешенко В. Б. ПЛИС фирмы Altera: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры. М.: Издательский дом «Додэка XXI», 2007. 576 с.
3. Костров Б. В., Ручкин В. Н. Архитектура микропроцессорных систем. М.: Издательство Диалог-МИФИ, 2007 304 с.
4. Гладштейн М. А. Микроконтроллеры смешанного сигнала С8051 фирмы SiLab и их применение. Руководство пользователя. М.: Издательский дом «Додэка XXI», 2008. 336 с.
5. Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. М.: Издательский дом «Додэка XXI», 2007. 360 с.
6. Матвеев Д. А., Бальзамов А. Ю. Разработка системы управления полупроводниковым преобразователем электроэнергии на ПЛИС // Практическая силовая электроника. 2017. № 4 (68). С. 18–26.

УДК 62.558

НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО КРАНА

¹Подберезкин Артем Сергеевич, ²Пахомов Александр Николаевич
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск
¹podberezkin94@mail.ru, ²apahomov@sfu-kras.ru

В статье рассмотрен способ уменьшения длительности колебаний груза при перемещении тележки мостового крана с помощью применения нечеткой логики в системе управления электропривода тележки.

Ключевые слова: электропривод, грузоподъемный кран, колебания груза, нечеткая логика, регулятор, переходный процесс.

FUZZY CONTROLLER OF ELECTRIC DRIVE OF LOAD-LIFTING CRANE TRUCK

¹Podberezkin Artem Sergeevich, ²Pakhomov Alexander Nikolaevich

Siberian Federal University, Krasnoyarsk

¹podberezkin94@mail.ru, ²apahomov@sfu-kras.ru

The article deals with the method of reducing the duration of oscillations of the load when moving the bridge crane truck by using fuzzy logic in the control system of the electric drive of the truck.

Keywords: electric drive, load-lifting crane, load oscillations, fuzzy logic, regulator, transient process.

На промышленных предприятиях широко распространены подъемно-транспортные механизмы, в число которых входят мостовые краны. Перемещение тележки грузоподъемного крана сопровождается раскачиванием подвешенного груза. Образование колебаний приводит к нарушению безопасной работы в результате возможных ударов груза с конструкцией крана или другими производственными объектами. Многие технологические процессы требуют ограничения на амплитуду возникающих колебаний, что требует снижения скорости транспортировки грузов. Из-за этого длительность позиционирования значительно увеличивается ввиду необходимости успокоения груза. Все это приводит к снижению производительности грузоподъемного крана и повышению энергопотребления [3, 6].

В данной статье рассматривается способ ограничения длительности колебательных процессов при перемещении подвешенного груза путем использования классического ПИД-регулятора, пропорциональная составляющая которого изменяется с помощью алгоритмов нечеткой логики.

В качестве объекта исследования рассматривается электропривод механизма перемещения тележки мостового крана с подвешенным грузом. Структурная схема объекта исследования представлена на рис. 1. Математическая модель объекта управления составлена в соответствии с методикой, приведенной в [4]. Механизм состоит из тележки, с приведенной массой $m_T = 133,5$ т, на которой установлен двигатель постоянного тока Д-814 мощностью 55 кВт. Груз массой $m_{гр} = 150$ т подвешен на канате длиной $h = 30$ м.

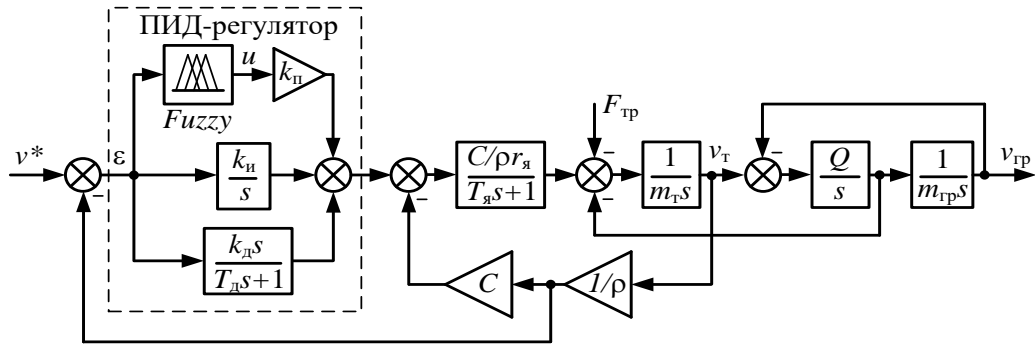


Рис. 1. Структурная схема электропривода механизма перемещения тележки мостового крана с ПИД-регулятором

На рис. 1 введены следующие обозначения: $k_{\text{П}}$, $k_{\text{И}}$, $k_{\text{Д}}$ и $T_{\text{Д}}$ – коэффициенты и постоянная времени пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих ПИД-регулятора; $r_{\text{я}}$, $T_{\text{я}}$, C – активное сопротивление, электромагнитная постоянная времени якорной цепи и конструктивная постоянная двигателя; ρ – радиус приведения между скоростью двигателя и скоростью тележки $v_{\text{Т}}$; $F_{\text{тр}}$ – сила сопротивления (трения) движению тележки; $Q = m_{\text{Гр}} * g/h$ – коэффициент механической связи между тележкой и грузом, где g – ускорение свободного падения; s – оператор Лапласа.

Синтез классического ПИД-регулятора электропривода перемещения тележки выполнен стандартным методом из теории автоматического управления с настройкой на модульный оптимум в предположении жесткой связи между тележкой и грузом.

Переходный процесс изменения скорости перемещения груза $v_{\text{Гр}}$ с классическим ПИД-регулятором (на рис. 1 отсутствует блок *Fuzzy*) показан на рис. 2 при скачкообразном изменении задающего сигнала v на входе замкнутой системы электропривода.

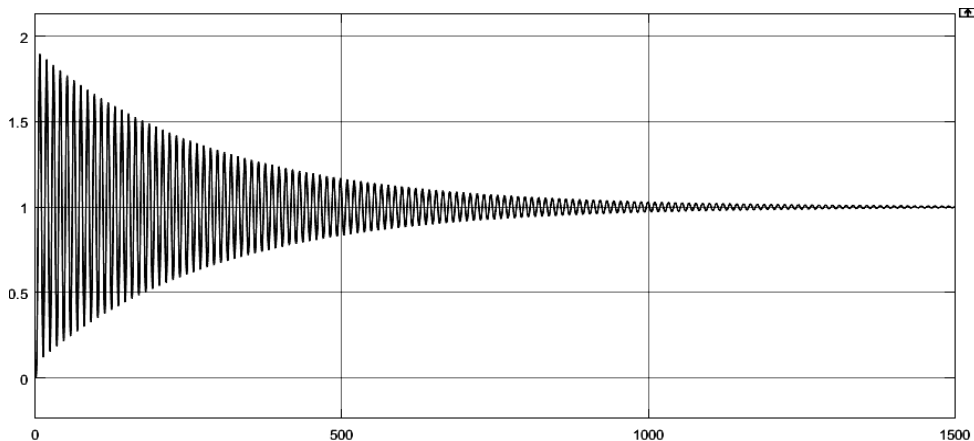


Рис. 2. Переходный процесс скорости груза с использованием классического ПИД-регулятора

Из графика переходного процесса видно, что скорость перемещения груза имеет явно выраженный колебательный характер. Усилие деформации каната и сопротивления воздуха при раскачивании груза незначительны, так что амплитуда колебаний затухает медленно.

Уменьшение длительности колебаний в переходном процессе скорости перемещаемого груза возможно в результате правильного выбора пропорционального коэффициента k_{Π} классического ПИД-регулятора [1]. Путем многочисленных экспериментов получилось обеспечить максимальное демпфирование колебаний груза (рис. 3) благодаря увеличению коэффициента k_{Π} в четыре раза. Однако такое увеличение k_{Π} приводит к снижению грубости замкнутой системы электропривода [5].

Существенная модернизация закона управления электроприводом перемещения тележки осуществляется путем внедрения «нечеткой» пропорциональной составляющей ПИД-регулятора с использованием блока *Fuzzy* на рис. 1.

На рис. 4 представлен график термов входной переменной ε (ошибка регулирования) блока *Fuzzy*. Центры термов входной переменной подобраны таким образом, чтобы обеспечить минимальную длительность колебаний в переходных процессах скорости перемещаемого груза.

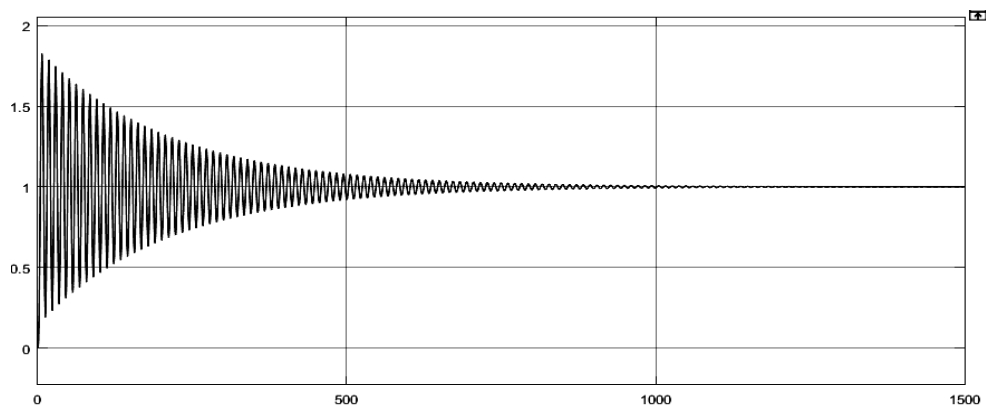


Рис. 3. Переходный процесс скорости груза с классическим ПИД-регулятором при увеличении k_{Π} в четыре раза

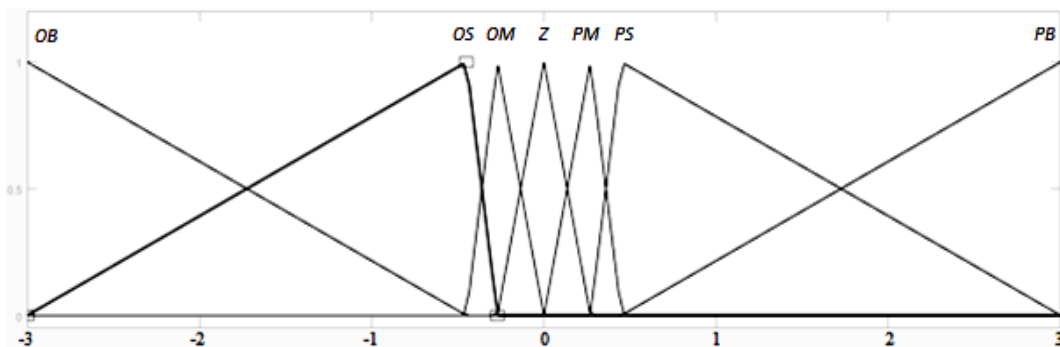


Рис. 4. Термы входной переменной «ошибка регулирования»

Термы выходной переменной (сигнал управления u) имеют вид «синглтонов» [2] в точках, указанных в таблице.

Закон нечеткого управления

Сигнал	<i>OB</i>	<i>OS</i>	<i>OM</i>	<i>Z</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
ε	-3	-0,45	-0,27	0	0,27	0,45	3
u	-3	-2	-1	0	1	2	3

На рис. 5 представлен результат работы ПИД-регулятора с «нечеткой» пропорциональной составляющей.

Из графика переходного процесса видно, что с помощью введения «нечеткой» пропорциональной составляющей ПИД-регулятора возможно уменьшить длительность колебаний в переходном процессе скорости перемещаемого груза.

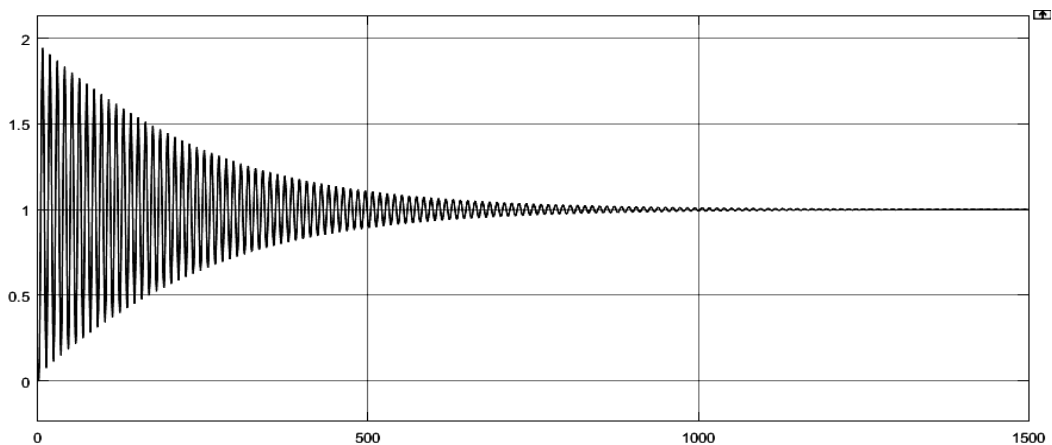


Рис. 5. Переходный процесс скорости груза с «нечеткой» пропорциональной составляющей ПИД-регулятора

В результате использования нечеткой логики для изменения пропорциональной составляющей ПИД-регулятора обеспечивается снижение колебаний перемещаемого груза при сохранении грубости замкнутой системы электропривода тележки, поскольку в установившемся режиме коэффициент k_D минимален.

Литература

1. Борцов Ю. А., Соколовский Г. Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями / 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат, 1992. 288 с.
2. Бураков М. В. Нечеткие регуляторы: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2010. 236 с.

3. Мещеряков В. Н., Колмыков В. В., Мигунов Д. В. Ограничение колебаний груза, перемещаемого мостовыми кранами // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 6-2. С. 268–272.

4. Онищенко Г. Б. Теория электропривода: учебник. М.: ИНФРА-М, 2015. 294 с.

5. Цыкунов А. М. Робастное управление с компенсацией возмущений. М.: Физматлит, 2012. 300 с.

6. Шведова О. А., Шмарловский А. С., Марков А. В., Тарасевич Т. В. Алгоритмы подавления колебаний грузов подъемно-транспортных механизмов с использованием нечеткой логики функционирования // Доклады БГУИР. Минск: БГУИР, 2014. С. 65–71.

УДК 621.314

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В СИСТЕМЕ ДИАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

¹Роженцова Наталья Владимировна, ²Галяутдинова Алсу Ренатовна,

³Спасов Денис Павлович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹natalia15969@yandex.ru, ²Alsu296@ya.ru, ³spasovdenis@list.ru

В статье рассматривается применение программно-технического комплекса ARIS в системе диагностики трансформаторного оборудования с целью повышения эффективности использования трансформаторного оборудования и цифровизации системы.

Ключевые слова: программно-технический комплекс, диагностика, SCADA-система, эффективность, повреждения, протокол, обмен данными, контроллеры.

APPLICATION OF THE SYSTEM OF MONITORING, CONTROL AND DIAGNOSTICS OF TRANSFORMER EQUIPMENT

¹Rozhentsova Natalya Vladimirovna, ²Galyautdinova Alsu Renatovna,

³Spasov Denis Pavlovich

KSPEU, Kazan

¹natalia15969@yandex.ru, ²Alsu296@ya.ru, ³spasovdenis@list.ru

The article considers application of ARIS software and technical complex in the system of diagnostics of transformer equipment, in order to improve the efficiency of the use of transformer equipment and to digitize the system.

Key words: the software and technical complex, a diagnostics, the SCADA-system, an efficiency, a damages, the protocol, a data exchange, the controllers.

Развитие свободного рынка электроэнергии привело к усилению конкуренции между управляющими компаниями. На сегодняшний день цифровизация практически становится синонимом к понятию конкурентоспособности и открывает доступ к рынкам будущего. Цифровизация позволяет управлять более сложными энергосистемами, способствуя развитию широкого спектра новых технологий.

В настоящее время существует два основных подхода к созданию систем мониторинга и управления энергообъектами. Первый из них основывается на архитектуре, определяемой стандартом МЭК 61850. Этот подход используется для средних и крупных энергообъектов [1]. Архитектура предполагает создание автоматизированных систем с распределенной структурой. Основными элементами в них являются интеллектуальные электронные устройства, в качестве которых могут выступать контроллеры присоединений, терминалы РЗА и другие устройства, которые контролируют одно или несколько присоединений подстанции и образуют I уровень системы (полевой). Автоматизированные системы небольших объектов (ТП, РП, небольшие электростанции), как правило, строятся на основе централизованной структуры. Классическая архитектура предполагает наличие двух основных уровней: центрального контроллера и модулей устройств связи с объектом, а также отдельных измерительных приборов. Сбор данных измерений в этой архитектуре выполняется с помощью микропроцессорных измерительных преобразователей (МИПа), сбор данных сигнализации, выдача команд управления и унифицированных аналоговых сигналов выполняется с помощью модулей дискретного ввода/вывода и аналогового ввода. Архитектура с центральным управляющим контроллером проста в реализации, но накладывает ряд функциональных и технических ограничений (низкоскоростные последовательные каналы связи опроса модулей; ограничение по производительности центрального контроллера, а соответственно и по выполняемому функционалу для крупных энергообъектов; наличие единой точки отказа ведет к потере автоматизированной системы в целом и, следовательно, к необходимости его резервирования для ответственных систем).

Рассмотрим применение программно-технического комплекса (ПТК) ARIS в системе диагностики трансформаторного оборудования. ПТК ARIS – комплекс программных и аппаратных средств для создания автоматизированных систем энергообъектов. Комплекс разработан в соответствии со стандартом МЭК 61850 для построения авторизированных систем энергообъектов. ПТК ARIS обладает широкими возможностями интеграции устройств различных автономных систем

(РЗА, ПА, РАС, ОМП). Интеграция выполняется на уровне коммуникационного контроллера ARIS CS. Программное обеспечение включает протоколно-независимое ядро и набор отдельных компонентов (серверных и клиентских), реализующих обмен данными по различным протоколам. Протоколы обмена данными с устройствами нижнего уровня и смежными системами: ГОСТ Р МЭК 60870-5-101; ГОСТ Р МЭК 60870-5-103; МЭК 61850-8-1 (MMS, GOOSE); Modbus; ГРАНИТ, ТМ-800А; SPA; фирменные протоколы производителей. Протоколы передачи данных на верхние уровни системы: ГОСТ Р МЭК 60870-5-101; ГОСТ Р МЭК 60870-5-104; МЭК 60870-6 (ICCP/TASE.2); CRQ [2].

Система мониторинга трансформаторного оборудования создается на базе информационно-измерительной системы, работающей в режиме реального времени, которая оснащена средствами сбора, обработки, отображения, хранения и передачи информации. Она включает в свой состав PC-совместимые компьютеры, SCADA-систему, программируемые логические контроллеры, первичные измерительные преобразователи (датчики), а также системы для контроля технического состояния отдельных частей и узлов трансформаторного оборудования.

ARIS SCADA – это программный комплекс, предназначенный для создания информационно-управляющих (SCADA) систем автоматизации технологического процесса выработки, передачи и распределения электрической энергии. Ключевыми преимуществами применения SCADA-системы являются:

- надежность и отказоустойчивость;
- работа в реальном времени и круглосуточном режиме;
- безопасность;
- авторизованная регистрация, разграничение прав доступа, протоколирование всех действий пользователей обеспечивает высокий уровень безопасности системы;
- широкие возможности интеграции;
- поддержка комплексом как современных протоколов и сред передачи данных, так и технологий предыдущего поколения предоставляет возможность его широкого использования при модернизации систем;
- масштабируемость;
- применение сетевых технологий при построении комплекса дает возможность организации системы как на единичном сервере, так и группе серверов с распределением нагрузки (разнесение задач сбора и архивирования данных), организовать кластерные решения;
- организация доступа к комплексу не только по локальной сети, но и с применением *Web*-технологий позволяет использовать удаленное администрирование комплекса и работу удаленных АРМ-пользователей.

По результатам выполнения алгоритмов диагностики и прогнозирования технического состояния трансформаторного оборудования формируются наглядные графические формы, звуковая и световая предупредительная и аварийная сигнализация, сопровождающаяся предупредительными или аварийными сообщениями. Основанием для формирования технологической сигнализации служит достижение одного или нескольких параметров к критическим величинам, определенным в нормативно-технической документации (НТД), действующей на территории РФ.

Система с применением ПТК ARIS имеет иерархическую трехуровневую структуру:

1) I уровень – уровень сбора данных, который включает в себя исполнительные устройства, первичные датчики и измерительные системы, установленные на трансформаторном оборудовании (датчики температуры масла, обмоток, датчики наличия потока масла, устройства управления и контроля РПН, устройства регистрации частичных разрядов);

2) II уровень – уровень первичной обработки измеряемых параметров и команд управления, поступающим по аналоговым, дискретным и цифровым измерительным каналам. Реализуется в виде шкафов мониторинга трансформаторов (ШМТ). Технические средства шкафа ШМТ выполняют нормализацию и преобразование сигналов, полученных от первичных датчиков I уровня, расчет параметров ТО с помощью математических моделей и обеспечивают информационный обмен с III уровнем [3];

3) III уровень – уровень консолидации, хранения и визуализации данных, применяемые технические средства выполнены на базе РС-совместимых компьютеров промышленного или офисного исполнения, работающие под управлением операционных систем, совместимых со SCADA-системой, а также сетевое оборудование для объединения всех технических средств локальной вычислительной сетью (ЛВС) *Ethernet* [4].

Таким образом, применение программно-технического комплекса ARIS в системе диагностики трансформаторного оборудования позволит повысить эффективность эксплуатации трансформаторного оборудования, выявить начальные стадии развития дефекта или аварийных режимов на контролируемом оборудовании, сократить инвестиционные затраты на необоснованное обновление оборудования. Внедрение SCADA-системы облегчит процесс диагностики трансформаторного оборудования, а также поможет перейти к цифровой электронергетике [5].

Литература

1. Компания ProSoft Автоматизация энергообъектов [Электронный ресурс]. – URL: <https://energybase.ru/uploads/> (дата обращения: 28.01.2020)
2. Роженцова Н. В., Пятникова М. В. Внедрение цифровых трансформаторных подстанций / Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019.
3. Денисова А. Р., Спасов Д. П., Галяутдинова А. Р. Использование QR-кода в промышленных целях // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2019. № 5. С. 41.
4. Рудаков А.И., Роженцова Н.В., Денисова А.Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин // Промышленная энергетика. 2014. № 5. С. 27–30.
5. Ivanova V. R., Ivanov I. Y., Rozhentcova N.V. Justification of the set of technical and technological criteria when designing a combined power supply system for multi-story residential buildings // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). P. 26–30.

УДК 62-529

ОБУЧЕНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ С ПОМОЩЬЮ РОБОТОТЕХНИКИ

¹Рябых Игорь Андреевич, ²Богданов Александр Нетфуллович,
³Каюмова Алсу Ришатовна, ⁴Абдрахманов Адель Магсумович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹IgorR2209@yandex.ru, ²ban.mic@mail.ru, ³alsu.kayumova.2000@mail.ru,
⁴abdrakhmanov100@mail.ru

В настоящее время в энергетике общее внимание привлечено к понятию цифровизация. Одним из примеров этого являются цифровые подстанции. Но цифровизация, так же как и диспетчеризация в свое время, является одной из сторон глобальной автоматизации, включающей в себя все, что минимизирует человеческое участие. Другой, пока недооценённой, стороной глобальной автоматизации является роботизация. Россия в целом значительно уступает в области роботизации, но в частности, роботизация энергетики в России близка к нулю. Одной из причин этого является отсутствие кадров, способных не только разработать робота, но и внедрить его в энергетической отрасли. В статье предложено решение

подготовки опытных кадров для роботизации энергетики путем создания проектных команд, разрабатывающих и внедряющих работающие устройства.

Ключевые слова: робототехника, робот-промоутер, прототип, автоматизация, модель, роботы в энергетике.

ROBOTS FOR ENERGY, PRACTICE THROUGH THE DEVELOPMENT OF IMPLEMENTED PROJECTS

¹Ryabykh Igor Andreevich, ²Bogdanov Alexander Notfollowed, ³Kayumova Alsu Rinatovna, ⁴Abdrakhmanov Adel Magsumovich

KSPEU, Kazan

¹IgorR2209@yandex.ru, ²ban.mic@mail.ru, ³alsu.kayumova.2000@mail.ru,
⁴abdrakhmanov100@mail.ru

Currently, in the energy sector, the General attention is drawn to the concept of digitalization. One example of this is digital substations. But digitalization, like dispatching in its day, is one side of global automation, involving everything that minimizes human involvement. Another, yet undervalued, side of global automation is robotics. Russia as a whole is significantly inferior in the field of robotics, but in particular – the robotization of energy in Russia is close to zero. One of the reasons for this is the lack of personnel capable not only to develop a robot, but also to implement it in the energy industry. The article proposes a solution for training experienced personnel for energy robotics by creating project teams that develop and implement working devices.

Keywords: robotics, robot promoter, prototype, automation, model, work in the energy sector.

Россия сильно отстаёт в робототехнике от ведущих стран. На 10 тыс. работников в России приходится всего четыре робота (в среднем в Европе – 106, в США – 91, в Азии – 75) по данным на 2018 г. При этом в наиболее роботизированной сфере в России – в машиностроении – лидируют импортные роботы (КУКА). В выставочной деятельности аналогично – большинство робототехнических решений представлено зарубежными производителями.

В энергетике количество робототехнических решений в мире очень мало, и большинство из них еще только проходят этапы разработки и опытного внедрения. В результате проведенных исследований были выделены 4 робота для энергетики – 2 для солнечных панелей и 2 для линий электропередач.

Голландский разработчик Стефан Хамминга представил на *Kickstarter.com* проект *Scrobby Solar* (рис. 1) – устройство, служащее для автоматической очистки солнечных панелей. Этот робот схож с роботом-пылесосом. Благодаря своим солнечным батареям, установленным на корпусе, этот робот полностью автономен в работе, он имеет отсек для накопленной воды. Специально изготовленные щетки не царапают очищаемые панели. *Scrobby Solar* может работать при уклоне до 75° , а очищаемая площадь составляет 200 м^2 . Работой *Scrobby Solar* можно управлять через специальное программное приложение с дисплея смартфона или планшета, а также робот посылает детали своего графика работы по очистке через тоже самое приложение.

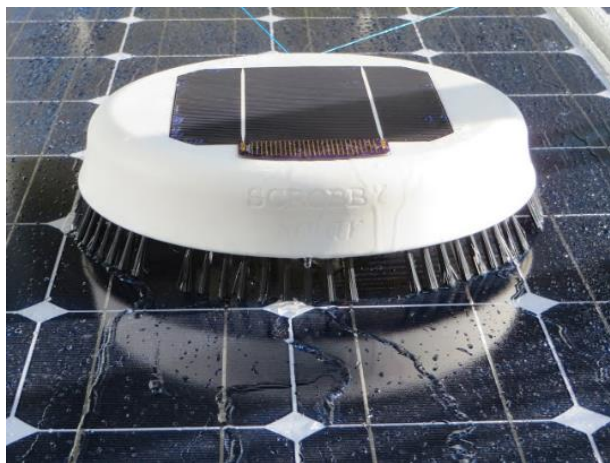


Рис. 1. *Scrobby Solar*

Пустыни с обильным солнечным светом идеально подходят для производства солнечной энергии. Но такая местность очень пыльная, что приводит к потере около $0,4\text{--}0,8\%$ эффективности ежедневно и до 60% после пыльных бурь. Очищать солнечные панели с помощью воды посреди засушливой местности достаточно проблематично. Также проблемой является ручная очистка при температуре около 50°C . Решению этой задачи служит робот из Саудовской Аравии под названием NOMADD (*NO-water Mechanical Automated Dusting Device* (рис. 2) – механическое автоматизированное устройство по удалению пыли без использования воды). Робот устанавливается на направляющих вдоль ряда панелей и, как минимум, один раз в день совершает перемещение вдоль панелей, очищая их без использования воды с помощью специальной щетки.

Рис. 2. *NOMADD*

Научно-исследовательским институтом Канады Hydro-Quebec был разработан робот под названием LineScout. LineScout служит для детального осмотра линий, в том числе и для обнаружения коррозии. Он может обнаруживать аномалии в труднодоступных местах. Данный робот оснащен трехосным рычагом, которым он манипулирует различными датчиками и инструментами, например камерами для визуального осмотра.

LineCore – детектор коррозии для проводников *ACSR* [3]. Детектор оценивает качество состояния гальванической защиты на проводниках линии передач и распределения, в том числе в режиме подпитки. Он с высокой точностью определяет толщину слоя цинка сквозь всю пядь, обнаруживая аномалии, причиненные коррозией, с минимальным количеством забора проб. Данные, собранные при помощи *LineCore*, можно применять для вычислений ухудшения проводника и просчитать остаточный срок его службы. Открытая структура позволяет легко его дополнять устройствами для решения новых задач. Специалисты управляют роботом дистанционно, находясь на земле, и таким образом они могут обнаружить повреждение, удалить лед с проводов и выполнить простой ремонт. Такой формат работы позволяет получить значительную экономию, так как для осмотра не нужно обесточивать линию электропередач, а также позволяет снижать риски, безаварийность работы и повышать безопасность работы людей.

Роботы для солнечной энергетики пока имеют низкую вероятность применения в России в ближайшем будущем. Роботы для ЛЭП вполне могут найти свое применение в энергетике России. С развитием

электронной базы и программного обеспечения можно спрогнозировать постепенное увеличение числа роботизированных устройств для энергетики.

Для роботизации энергетики важным является вопрос подготовки высококвалифицированных кадров, имеющих опыт разработки и внедрения робототехнических решений. Примером такой подготовки служит лаборатория робототехники на базе Молодежного инновационного центра «Энергия» КГЭУ (МИЦ). В основу деятельности лаборатории положены прикладное применение, практическая работа и мягкая конкуренция. На базе лаборатории создается несколько студенческих команд, разрабатывающих роботизированные устройства. На первом этапе (учебный проект) команды разрабатывают роботов, которые МИЦ может применить в своей деятельности. В ходе реализации учебного проекта студенты знакомятся с процессом создания работающего устройства и взаимодействия с «заказчиком» (в этой роли выступает МИЦ), определяют свою роль и учатся работать в команде, развивают практические навыки. В учебном проекте команда разрабатывает рабочий прототип (получают и развивают первичные навыки, проверяют эффективность выбора командной роли, учатся делать) и затем демонстрационную версию (отлаживается командная работа, развивается ответственность, учатся делать качественно). На втором этапе ведется разработка робота для заказчика из вне МИЦ. Подобный подход был успешно опробован на команде Лаборатории виртуальной реальности МИЦ (перешедшей в дальнейшем в Инжиниринговый центр «Компьютерное моделирование и инжиниринг в области энергетики и энергетического машиностроения»).

В настоящее время на базе Лаборатории робототехники МИЦ действует 3 студенческих команды на стадии учебного проекта. Наличие нескольких команд позволяет благодаря мягкой конкуренции и системе внутренних конкурсов и бонусов от МИЦ за результативность повысить качество реализуемых проектов и коммерческую конкурентоспособность разрабатываемых решений.

Команда № 1 – студенты 2 курса разрабатывают робота, способного в автоматическом режиме менять головную часть. Результаты реализации данного проекта планируется использовать в деятельности команд МИЦ изготавливающих станки. В ходе реализации проекта команда выявила недостаточную эффективность текущей организационной структуры, что привело к проигрышу во внутреннем конкурсе МИЦ осеннего семестра 2019/2020 учебного года и к пересмотру состава команды (рис. 3).



Рис. 3. Учебный прототип несущей части робота со сменными насадками

Команда № 2 – студенты 1 курса разрабатывают мобильную роботизированную платформу. В ходе учебного проекта восстановили работоспособность робота-пылесоса, установив собственную плату управления и разработав программное обеспечение. Ведется модернизация системы управления и маршрутизации, путем установки новых датчиков и улучшения алгоритма поведения (рис. 4).



Рис. 4. Робот-пылесос с разработанной платой управления

Команда № 3 – студенты 3 курса с участием магистранта 2 года обучения в качестве наставника разрабатывают недорогое роботизированное решение для выставочной деятельности с целью привлечения внимания. Автовизитница должна привлекать внимание гостей на выставках и раздавать визитки. В отличие от существующих роботов-промоутеров планируется создать автовизитницу сравнительно недорогой ценой при достижении схожих целей. В текущей версии автовизитница имеет ограниченный функционал и алгоритм работы. После включения

автовизитница выполняет циклические действия. Основание вращается вправо, поднимается и опускается несущая часть, потом основание поворачивается влево. И дальше цикл повторяется. Когда подходит гость, протягивает руку, срабатывает ультразвуковой датчик, программа останавливается, гость забирает визитку. Срабатывает оптический датчик, и готовится новая визитка, а автовизитница продолжает работать по заданному алгоритму. В дальнейшем планируется расширение функциональных возможностей (с соответствующим изменением конструкции) (рис. 5).



Рис. 5. Учебный прототип автовизитницы

В ходе реализации учебных проектов в МИЦ студенты учатся проектировать, программировать, монтировать и работать в команде. В результате получаем устройство, которое МИЦ использует в своей деятельности, и команду, способную разработать роботизированное решение для поставленной задачи. В последующем команды должны будут находить проблему на конкретном предприятии, разработать решение и внедрить его.

Литература

1. Бербюк В. Е. Динамика и оптимизация робототехнических систем. М.: Наукова думка, 2014. С. 67.
2. Тимофеев А. В. Роботы и искусственный интеллект. М.: Наука, 2005. С. 146.
3. Zongwei Luo. Robotics, Automation, and Control in Industrial and Service Settings, 2015. P. 183.

УДК 681.3.069

РАЗРАБОТКА МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ HAL

¹Сафиуллин Булат Ирекович, ²Аухадеев Авер Эрикович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹gougle2011@yandex.ru

Авторами рассматривается опыт использования библиотеки *HAL* при разработке микроконтроллерных систем управления электромеханическими комплексами на примере устройства контроля температуры обмотки статора тягового асинхронного двигателя.

Ключевые слова: электротехнические комплексы и системы, микроконтроллерная система управления, датчик температуры, тяговый асинхронный двигатель, библиотека *HAL*, потоковые программы.

DEVELOPMENT OF MICROCONTROLLER CONTROL DEVICES FOR ELECTRICAL SYSTEMS USING THE HAL LIBRARY

¹Safiullin Bulat Irekovich, ²Aukhadeev Aver Ericovich

KSPEU, Kazan

¹gougle2011@yandex.ru

The authors consider the experience of using the HAL library in the development of microcontroller control systems for Electromechanical complexes on the example of a device for controlling the temperature of the stator winding of a traction asynchronous motor.

Keywords: electrical systems and systems, microcontroller control system, temperature sensor, traction asynchronous motor, Hal library, streaming programs.

Библиотека *HAL* (англ. – уровень высокой абстракции) поставляется с программным обеспечением *CubeMX* и предназначена для разработки программ для микроконтроллеров серии *STM32*. Данная библиотека является инструментом функционального программирования, особенностью которого является отсутствие прямого доступа программиста к регистрам памяти и периферии, в отличие от *CMSIS* (Стандарт программного обеспечения *Cortex-M*), где имеется прямой доступ к регистрам микроконтроллера.

Кроме того, для библиотеки *HAL* характерно то, что при разработке программы для одного семейства контроллеров программу для запуска на микроконтроллере другого семейства необходимо только в программе указать ссылку на библиотеку *HAL* данного микроконтроллера с последующей повторной компиляцией данной программы. То есть поддерживается кроссплатформенность внутри всей серии микроконтроллеров. Данное свойство широко используется на этапе разработки устройства и создании первого экспериментального образца. Например, на конечном этапе, когда есть возможность поставить микроконтроллер с меньшими характеристиками и, как следствие, с меньшей ценой, кроссплатформенность позволяет сэкономить ресурсы и время на редактировании программы под новый микроконтроллер. Отсутствие прямого доступа к регистрам микроконтроллера позволяет свести к минимуму вероятность ошибок работы периферии и памяти. Данное свойство библиотеки реализуется за счет предварительных проверок периферии и памяти микроконтроллера перед запуском какой-либо функции. Использование высокого уровня абстракции также позволяет менять расположение периферии на выводах микроконтроллера. Данное свойство используется для уменьшения размеров электрической платы устройства, количества электропроводящих слоев меди, а также к уменьшению габаритов защитных корпусов, что в конечном итоге приводит к уменьшению себестоимости конечного продукта. Дополнительно одним из плюсов можно выделить уменьшение времени создания программы, так как под каждый микроконтроллер однотипные задачи имеют собственный синтаксис или набор регистров.

Данная библиотека используется при разработке программы для устройства измерения температуры обмоток статора. Задачей устройства является снятие температуры со статоров четырех асинхронных двигателей в двух критичных точках нагрева, что суммарно составляет 8 датчиков температуры. В разработке устройстве для измерения температуры обмотки статора тягового асинхронного двигателя использовались несколько модульных электронных компонентов и логика, выполненная на одной микросхеме, а именно: *IPS* экран *ST7789*, аудио модуль на микросхеме *MH2024K*, часы реального времени *ds3231* и датчик температуры *ds18b20*. Данные модули и микросхемы используют интерфейсы *SPI*, *UART*, *IIC* и *1-Wire* соответственно. При работе с данными протоколами библиотека *HAL* позволяет организовывать передачу сразу массива байтов информации в виде последовательности команд и данных. В данном случае интервалы задержки времени между отправкой байтов

настраиваются вручную в коде программы, и задержки времени между отправкой данных являются строго фиксированными. Эта функция библиотеки необходима, так как производители микросхем указывают строгий диапазон времени задержек между байтами данных, и отклонение от этого диапазона ведет к нестабильной работе микросхемы. Также в библиотеке *HAL* имеется возможность подключения операционной системы *freeRTOS*. Преимуществом данной операционной системы являются возможность снижения энергопотребления микроконтроллером и возможность создания потоковых программ. Данный функционал реализуется за счет гибкой настройки периферии, а именно отключения питания периферии в моментах, когда она не используется, или уменьшение частоты тактирования микроконтроллера, когда он не выполняет какие-либо функции. Данный функционал широко используется в устройствах с автономным питанием, такие как спутники, метеостанции и метеозонды, сигнальные спасательные маячки, системы управления тяговым электроприводом (электромобили и троллейбус). Потоковые программы – это программы, в которых какие-либо функции вычисления, передачи данных и т.п. выполняются параллельно, в отличие от линейных программ, где функции выполняются по очереди. Данное свойство позволяет ускорить время выполнения программы за счет недопустимости реализации задержек, которые останавливают работу микроконтроллера. Реализуется это за счет переключения между потоками. Например, в устройстве измерения температуры обмоток статора используется термодатчик, для которого необходима задержка в 100 мс для конвертирования значений температуры из аналогового в цифровой вид. Микроконтроллер на время этой задержки переключается на другой поток по приоритету, например на вывод информации на экран. То есть микроконтроллер постоянно выполняет задачи, вместо простаивания.

Также стоит отметить, что недостатком библиотеки *HAL* является больший объем внутренних функций библиотеки, по сравнению с библиотекой *CMSIS*. Данный недостаток проявляется в таких фактах, как необходимость большего объема оперативной памяти и памяти программ и увеличение времени исполнения однотипных задач. В качестве явного примера проявления данного недостатка были написаны программы на библиотеки *HAL* и *CMSIS*. Суть программы следующая: микроконтроллер переключает один из выводов из одного состояния в другое, в программе не реализуются намеренные задержки между переключениями, единственными задержками является скорость

выполнения функций переключения. Для измерения частоты переключения использовался логический анализатор *Saleae logic* 8. В таблице представлены результаты измерений.

Таблица 1

Результаты измерения частот переключения

Используемая библиотека	Частота тактирования микроконтроллера, мГц	Частота переключения вывода микроконтроллера, кГц
HAL	8	320,0
CMSIS	8	452,8
HAL	32	960,0
CMSIS	32	1714,0

Использование библиотеки *HAL* позволяет снизить потребление электроэнергии электронными устройствами, что в масштабе сложных устройств позволяет сэкономить десятки сэкономленных ампер-часов и увеличить продолжительности работы на несколько часов. Данное свойство актуально при разработке устройств с автономным питанием (спутники, метеозонды, маячки, системы управления электропривода, реанимационные комплексы).

Уменьшение скорости работы на ~15 % не позволяет создавать устройства с системами жесткого реального времени, где счет идет на микросекунды (системы наведения ракет, авиация, системы защиты экстренного реагирования).

Литература

1. Огородников И. Н. Микропроцессорная техника: введение в Cortex-M3: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 116 с.
2. Торгаев С. Н., Тригуб М. В., Мусоров И. С., Чертихина Д. С. Практическое руководство по программированию STM-микроконтроллеров: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 111 с.
3. Description of STM32F1 HAL and Low-layer drivers [Электронный ресурс]. URL: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/72/52/cc/53/05/e3/4c/98/DM00154093.pdf/files/DM00154093.pdf/jcr:content/translations/en.DM00154093.pdf (дата обращения: 12.09.19).

УДК 621.314

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕЕЙ

¹Сидоров Александр Евгеньевич, ²Трутнева Елена Владимировна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹asidorini@rambler.ru, ²wolf.lena.mell@yandex.ru

Система контроля и управления аккумуляторной батареи предназначена для эксплуатации в составе аккумуляторных батарей. Она осуществляет контроль напряжения и температур отдельных аккумуляторов батареи, ток батареи, производит управление зарядными устройствами и нагрузками аккумуляторной батареи, а также осуществляет балансировку элементов батареи. В статье рассмотрено устройство контроля и управления техническим состоянием аккумуляторных батарей и разработан для последовательного алгоритм функционирования релейно-контактной схемы.

Ключевые слова: система контроля и управления, аккумуляторные батареи, CoDeSys, язык LD, программируемый логический контроллер, алгоритм.

DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF LOGICAL CONTROL OF THE BATTERY

¹Sidorov Alexander Evgenievich, ²Trutneva Elena Vladimirovna
KSPEU, Kazan
¹asidorini@rambler.ru, ²wolf.lena.mell@yandex.ru

The battery monitoring and control system is designed for operation as part of the battery. It monitors the voltage and temperature of individual batteries of the battery, the current of the battery, controls the chargers and loads of the battery, and balances the battery cells. In the article, the device of control and management of technical condition of accumulator batteries is considered and the algorithm of functioning of the relay-contact circuit is developed for consecutive.

Keywords: control and control system, batteries, CoDeSys, LD language, programmable logic controller, algorithm.

Логическое управление – вид управления, который основывается на истинности и ложности двоичных сигналов условий от объекта управления. Результатом управления является выдача двоичных управляющих воздействий для объекта управления. Примером применения систем логического управления является автоматизация любого технологического процесса [2].

Среди разновидностей систем управления важное место занимают системы логического управления (СЛУ). Характерным признаком этих систем является применение двоичных датчиков и исполнительных механизмов в виде источников входных и приемников выходных сигналов.

Реализацию составления прикладных программ для промышленных логических контроллеров ПЛК осуществим на языке релейных диаграмм LD пакета CoDeSys 2.3. Язык LD предназначен для программирования ПЛК. Структура языка позволяет проводить замену схем логики, которые реализованы на релейной базе. Основными элементами языка являются контакты, которые можно образно уподобить паре контактов реле и кнопки. Пара контактов отождествляется с логической переменной, а состояние этой пары – со значением переменной [1, 3].

В настоящий момент времени имеют место варианты изготовления элементов с замкнутыми и разомкнутыми контактами в исходном положении, которым соответствуют кнопки в электрических цепях аналогичного исполнения. Нормально разомкнутый контакт разомкнут при значении ложь назначенной ему переменной и замыкается при значении истина. Нормально замкнутый контакт, напротив, замкнут, если переменная имеет значение ложь, и разомкнут, если переменная имеет значение истина. Итог логической цепочки копируется в целевую переменную, которая называется катушкой.

Рассмотрим устройство контроля и управления техническим состоянием аккумуляторных батарей и составим для него последовательный алгоритм.

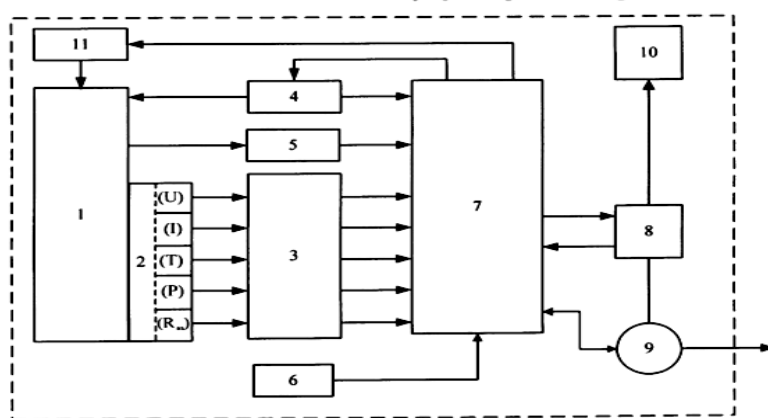


Рис. 1. Устройство контроля и управления техническим состоянием аккумуляторных батарей:

- 1 – аккумуляторная батарея; 2 – комплект датчиков; 3 – блок аналогово-цифровых преобразователей; 4 – цифровой генератор синусоидального тока инфранизкой частоты; 5 – компенсирующее устройство; 6 – источник опорного питания постоянного тока; 7 – микропроцессор; 8 – регистрирующее устройство; 9 – устройство связи; 10 – устройство индикации; 11 – зарядно-разрядное устройство

Перед началом функционирования устройства контроля и управления техническим состоянием аккумуляторной батареи (АКБ) (рис. 1) выполняется его настройка, при которой в память устройства вводится количество, диапазон и предельные значения контролируемых параметров АКБ 1. С микропроцессора 7 подается команда на включение всего устройства контроля и управления техническим состоянием АКБ. Сигналы с комплекта датчиков 2 через блок аналогово-цифровых преобразователей 3 подаются на микропроцессор 7.

Сигнал с цифрового генератора синусоидального тока инфранизкой частоты 4 через батарею и компенсирующее устройство 5 подается на входы цифровых измерителей переменных напряжения и тока, расположенных в микропроцессоре 7. Сигналы с комплекта датчиков 2 и цифровых измерителей переменного тока сравниваются с базовыми значениями банка данных микропроцессора 7, затем результирующие сигналы передаются в регистрирующее устройство 8.

Приемными элементами обозначим: источник постоянного питания (А), датчик напряжения (В) и датчик тока (С), а исполнительными элементами будут – микропроцессор и устройство регистрации параметров.

Запишем условия срабатывания (см. таблицу).

Таблица состояний

А	В	С	Микропроцессор	Устройство регистрации параметров
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	0	0

Микропроцессор сработает:

- 1) если А сработает, В и С нет;
- 2) если В и С сработают, А нет;
- 3) если А и С сработают, В нет.

Устройство регистрации сработает:

- 1) если С сработают, А и В нет;
- 2) если В сработают, А и С нет.

В таблице представлены состояния работы элементов.

Составляем логическую функцию.

Частные условия срабатывания для микропроцессора:

$$M_1 = a \times \bar{b} \times \bar{c};$$

$$M_2 = a \times b \times \bar{c};$$

$$M_3 = a \times \bar{b} \times c.$$

Общее условие срабатывания:

$$M = M_1 + M_2 + M_3 = a \times \bar{b} \times \bar{c} + a \times b \times \bar{c} + a \times \bar{b} \times c = a \times (\bar{b} \times \bar{c} + b \times \bar{c} + \bar{b} \times c) = a \times (\bar{c} \times b + \bar{b} \times c).$$

Частные условия срабатывания для устройства регистрации параметров:

$$УР_1 = \bar{a} \times \bar{b} \times c, УР_2 = \bar{a} \times b \times \bar{c}.$$

Общее условие срабатывания:

$$УР = УР_1 + УР_2 = \bar{a} \times \bar{b} \times c + \bar{a} \times b \times \bar{c} = \bar{a} \times (\bar{b} \times c + b \times \bar{c}).$$

Составляем релейно-контактную схему (РКС).

1. В первую цепь необходимо внести контакт SB и катушку реле А.

2. Аналогично вносим во вторую цепь SU и В.

3. Создаём третью цепь. SK и С.

4. Создаём четвертую цепь. Добавим контакт реле «а», добавим размыкающий контакт «b» и последовательно добавим размыкающий контакт «с». Параллельно «b» добавим замыкающий контакт «b» и размыкающий контакт «с».

5. Вносим в цепь катушку реле КМ. Цепь завершена.

На рис. 2 представлена программа для СЛУ.

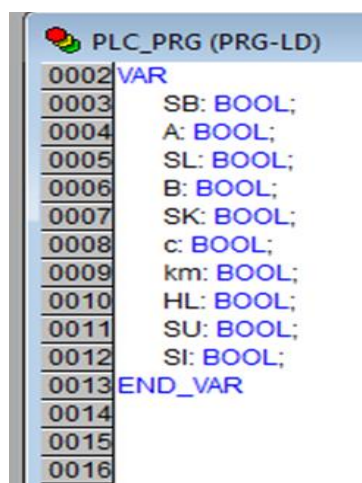


Рис. 2. Программа для СЛУ

Спрограммируем последнюю цепь. Последовательно вносим в цепь замыкающие контакты «а» и «b», размыкающий контакт «с» и катушку НЛ. Создадим параллельную цепь из размыкающего контакта «b» и замыкающего

контакта «с». Параллельная цепочка выполнена, завершена многоступенчатая схема в LD. Подключаем схему.

На рис. 3 представлено РКС для устройства контроля и управления.

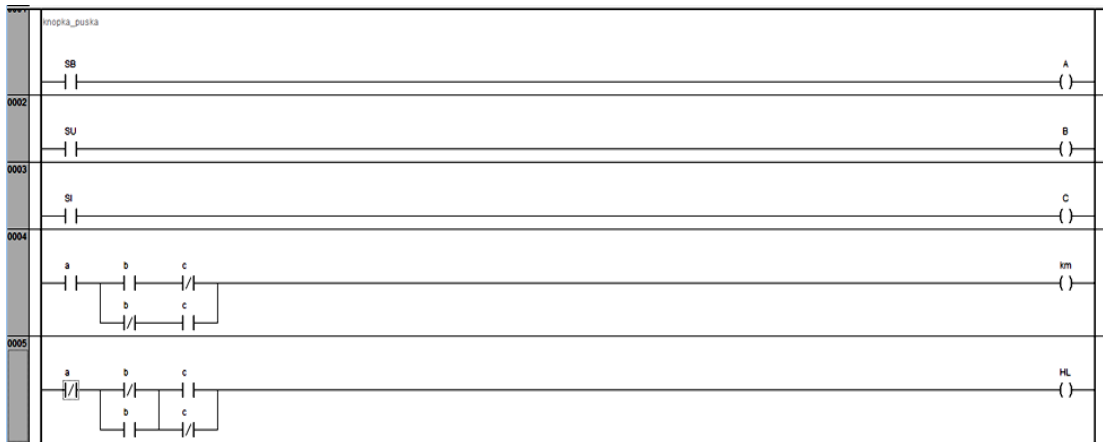


Рис. 3. РКС для устройства контроля и управления

На рис. 4 представлено РКС в рабочем состоянии.

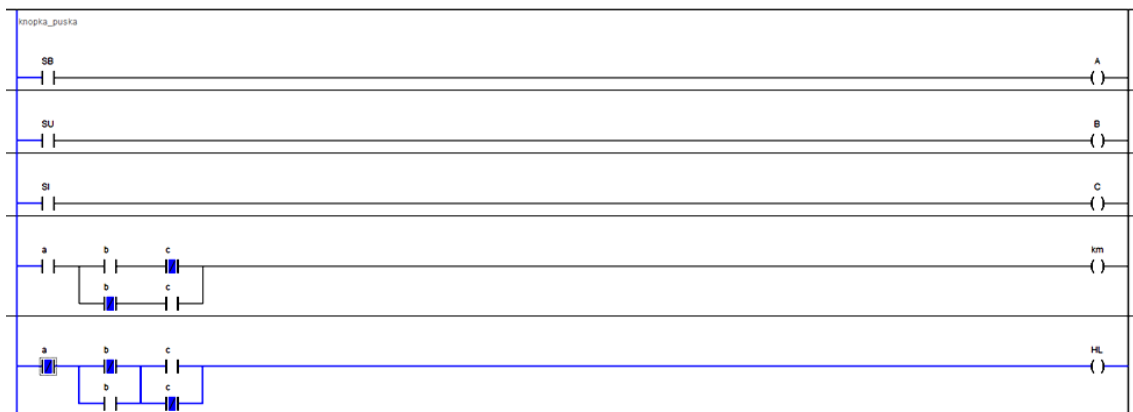


Рис. 4. РКС в рабочем состоянии

Реализация предложенного построения системы логического управления позволит оптимизировать процесс управления и повысить качество контроля за состоянием аккумуляторных батарей при повседневной эксплуатации.

Литература

1. Вайлов А. М., Эйгель Ф. И. Автоматизация контроля и обслуживания аккумуляторных батарей. М.: Связь, 2008. 152 с.
2. Деменков Н. П. Языки программирования промышленных контроллеров: учеб. пособие / под ред. К. А. Пупкова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 172 с.

3. Рудаков А. И., Ханафиев А. Х. Разработка конструкции шнекового устройства для транспортирования и очистки сельскохозяйственных материалов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. Казань, 2011. Т. 6. № 4 (22). С. 91–93.

4. Сайфутдинова В. Р., Тукшаитов Р. Х., Алхамсс Я. Ш., Шириев Р. Р. Обеспечение энергоресурсосбережения при питании светодиодных ламп от гальванических элементов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2010. № 11–12. С. 108–114.

5. Фетисов Л. В., Роженцова Н. В., Булатов О. А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20. № 11–12. С. 99–106.

6. Ivanova V.R., Ivanov A.S., Fetisov L.V. The development of an automated station for group soldering of the led lines // 2018 14th International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 44894 proceedings. P. 336 – 338.

УДК 629.7.062

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА В АВИАЦИИ

Старостина Мария Николаевна

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

starostina.m.01@gmail.com

В статье изложено краткое описание применения электрогидравлического привода в авиации. Приведен анализ недостатков известных электрических гидроприводов, предложены перспективные направления развития, а также изобретение, отвечающее современным требованиям эффективности.

Ключевые слова: электрогидравлический привод, летательные аппараты, перспективы развития привода, бортовое оборудование.

PERSPECTIVE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF ELECTRIC HYDRAULIC DRIVE IN AVIATION

Starostina Maria Nikolaevna

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

starostina.m.01@gmail.com

The article provides a brief description of the use of electro-hydraulic drive in aviation. The analysis of the shortcomings of the known electric hydraulic drives is given,

promising areas of development are proposed, as well as an invention that meets modern efficiency requirements.

Key words: electro-hydraulic drive, aircraft, prospects for the development of the drive, on-board equipment.

В настоящее время одной из основных тенденций развития летательных аппаратов (ЛА) является увеличение степени электрификации бортового оборудования, подразумевающее под собой использование комплексов электрогидравлических и электромеханических приводов. Именно поэтому электрогидравлический привод (ЭГРП) получил широкое распространение в авиации в составе управляющих систем. Посредством использования данного типа приводов осуществляются такие задачи, как управление рулевыми поверхностями и воздушными тормозами, механизация крыльев, осуществление разворота носовой стойки шасси и т.д. Например, электрогидравлический следящий привод является основным типом рулевых приводов, используемых в авиационной технике [3].

Так как вопросу о снижении эксплуатационных затрат уделяется большое внимание, основными целями применения ЭГРП являются улучшение энергетических характеристик системы и повышение КПД. Большая степень электрификации позволяет повысить экономическую эффективность ЛА, а также снизить затраты на его обслуживание.

Среди недостатков известных ЭГРП можно выделить низкую надежность, ограниченный срок хранения в составе ЛА, сложность регламентного обслуживания и контроля готовности к выполнению работы. Анализ используемых в авиации приводов позволяет выделить следующие технические результаты совершенствования устройства ЭГРП.

1. Улучшение динамических характеристик и повышение чувствительности в области малых управляющих сигналов.

2. Расширение функциональных возможностей привода для использования привода в условиях разреженной окружающей среды.

3. Повышение надежности, упрощение конструкции, снижение материалоемкости изготовления, а также трудоемкости контроля готовности для выполнения работы.

Важными условиями осуществления вышеуказанных целей являются их достижение в условиях сохранения энергетических характеристик (КПД, энергопотребление нейтрального состояния) и стабильности работы устройства [2].

Изложенные выше технические результаты были достигнуты коллективом «Центрального научно-исследовательского института автоматики и гидравлики» путем создания электрогидравлического привода, содержащий питающую установку (ПУ) с объемным насосом и минимум один рулевой привод дискретного углового перемещения исполнительного органа (ИО), подключенного к ней. ИО включает в себя электрогидравлический усилитель, а также поворотный гидродвигатель, особенность которого заключается в наличии подключения к всасыванию ПУ и к гидрелинии слива рулевого привода. Подключение выполнено в виде емкости с тремя камерами (две воздушные, одна жидкостная), которые разделяются ступенчатым поршнем. Ступень большего диаметра направлена на замкнутую воздушную камеру, сообщенную через предохранительный клапан со сливной линией, ступень меньшего диаметра – в направлении жидкостной камеры, подключенной к ПУ. Воздушная камера соединяется с окружающей средой [1].

На рис. 1 и 2 изображены схемы предложенного ЭГРП, где: 1 – питающая установка, 2 – регулируемый по давлению насос, 3, 4 – гидрелинии нагнетания и слива, 5–12 – рулевые приводы, 13, 14 – воздушные камеры, 15 – жидкостная камера, 16, 17 – ступени поршня, 18 – сильфон, 19 – корпус насоса, 20 – полость, 21 – полый поршень, 22, 23 – пояски поршня, 24 – предохранительный клапан, 25 – шток, 26 – обратный клапан, 27, 28 – кольцевые уплотнения, 29 – приводной вал, 30 – электродвигатель, 31 – замкнутая дифференциальная полость, 32-34 – гидроразъемы, 35 – гидрелиния всасывания питающей установки.

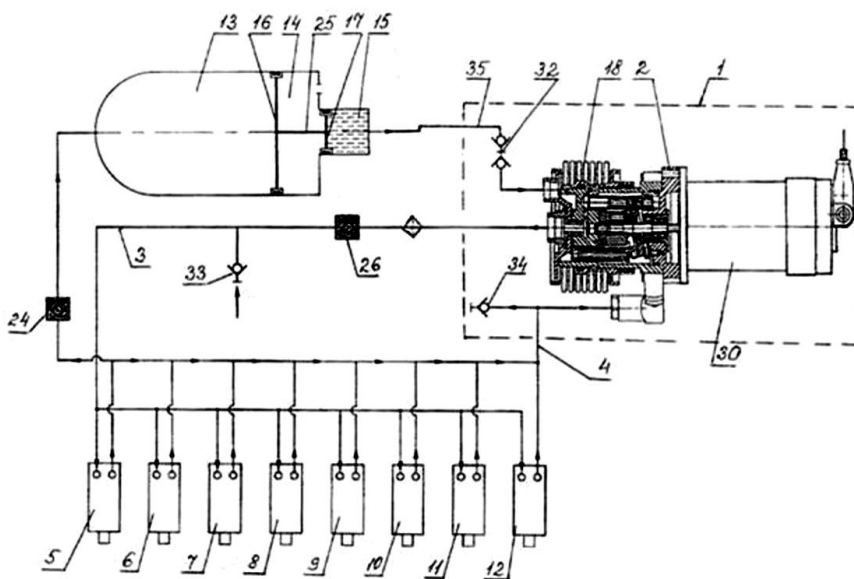


Рис. 1. Схема принципиальная электрогидравлического привода

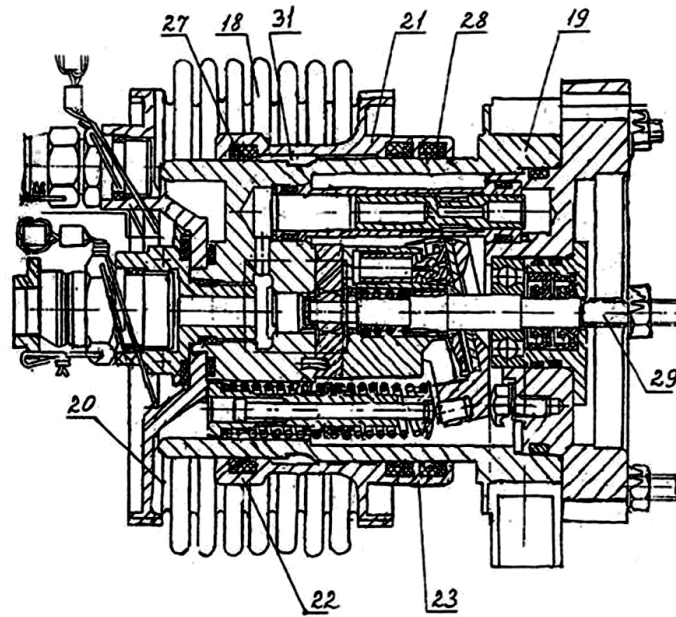


Рис. 2. Конструктивная схема объемного насоса источника питания привода

Характерными особенностями данного изобретения являются:

1. Ступенчатый поршень содержит две ступени, соединенные штоком.
2. Электрогидравлический усилитель имеет вид поворотного шагового электродвигателя, который связан с золотником, подключенным к полостям гидродвигателя.

3. ПУ имеет собственный предохранительный клапан, ограничивающий давление всасывания и имеющий возможность сброса рабочей среды в воздушную полость.

4. Гидролинии ПУ содержат гидроразъем для подключения дополнительной ПУ.

5. ПУ содержит насос с ротором и размещенными в корпусе рабочими полостями, а также имеющим вид сильфона компенсационно-подавляющим устройством, который закреплен на корпусе насоса таким образом, что один край жестко закреплен с корпусом, а другой – с полым поршнем, образуя дифференциальную полость, соединяющуюся с нагнетанием насоса.

6. Полый поршень содержит два внутренних кольцевых уплотнения и имеет возможность перемещения по определенному участку поверхности корпуса.

Работа данного устройства основана на достижении бескавитационного режима при включении двигателя и компенсации расширения жидкости в процессе хранения и работы. Осуществление данных задач

происходит за счет растягивания или сжатия сильфона при увеличении или падении давления в гидролиниях. Если давление принимает значения выше допустимых, происходит сброс излишек рабочей жидкости в камеру. Этим процессом исключается возможное загрязнение окружающей среды минеральным маслом, которое является рабочей жидкостью в данном виде приводного устройства.

Возникновение кавитационного режима работы предотвращается перепадом давления между воздухом в камере и воздухом окружающей среды. Перепад давления создает усилие, которое передается ступеням поршня, вследствие чего возникает давление в жидкостной камере, которое в дальнейшем передается в линию всасывания насоса.

Данный тип ЭГРП предусматривает периодический контроль состояния рулевых приводов процессе хранения. Для осуществления данного процесса необходимо подать рабочую жидкость от вспомогательной ПУ. Далее необходимо с помощью подачи импульсов на электродвигатель установить золотник каждого рулевого привода в нейтральное положение. Вал гидродвигателя при подаче давления отработает рассогласование с золотником электрогидравлического усилителя и займет нейтральное положение.

На основе вышеизложенного материала можно сделать вывод, что предложенное изобретение позволяет повысить надежность, а также за счет предотвращения перехода насоса в кавитационный режим работы расширить возможности использования ЭГРП, используемого в составе ЛА, без дополнительных энергетических затрат, выбросов в окружающую среду. Данное устройство имеет упрощенную конструкцию и сниженную трудоемкость контроля готовности в процессе хранения.

Литература

1. Волков С. В., Володин Ж. Г., Голубцов Н. А. [и др.] Электрогидравлический привод. Патент РФ № 2504695. 2014. Бюл. № 2.
2. Васечкин Ю. С. Гидравлические приводы летательных аппаратов. М.: Изд. МГТУ, 2008. 41с.
3. Волокитина Е. В., Шалагинов В. Ф., Овечкин О. И. Вентильные электродвигатели постоянного тока и возрождение концепции полностью электрифицированного самолета // Электроника и электрооборудование транспорта. 2005. № 5.

УДК 543.42

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В НАЧАЛЕ И КОНЦЕ ЛИНИИ

¹Степанова Елена Геннадьевна, ²Хузяшев Рустэм Газизович,

³Кузьмин Игорь Леонидович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹lenochka2997@mail.ru, ²142892@mail.ru, ³kafedrarza@mail.ru

Важнейшей задачей волнового метода определения места повреждения является не только определение места возникновения источника сигнала переходного процесса, но и анализ полученных осциллограмм. Одним из способов обработки сигналов переходных процессов является спектральный анализ.

Ключевые слова: переходной процесс (ПП), осциллограмма, спектр, низкочастотные (НЧ) и высокочастотные (ВЧ) колебания, спектральный анализ.

SPECTRAL ANALYSIS OF TRANSIENT SIGNALS AT THE BEGINNING AND AT THE END OF THE LINE

¹Stepanova Elena Gennadievna, ²Khuzyashev Rustem Gazizovich,

³Kuzmin Igor Leonidovich

KSPEU, Kazan

¹lenochka2997@mail.ru, ²142892@mail.ru, ³kafedrarza@mail.ru

The most important task of the wave method for determining the location of damage is as the determination of the place of occurrence of the transient signal source as the analysis of the obtained oscillograms. Spectral analysis is one of the ways of process transient signals.

Key words: transition process, waveform, spectrum, low-frequency and high-frequency oscillations, spectral analysis.

Изучим частотный состав сигнала ПП и его характеристику на примере данных аварийной осциллограммы, содержащей 1024 отсчёта, зарегистрированной в г. Набережные Челны КТП-68-11 23.04.2019 в 11:37:40, полученных от датчика №31 (фаза А) [1].

Исходная временная осциллограмма, состоящая из 1024 отсчётов, представлена на рис. 1, а ее спектр – на рис. 4.

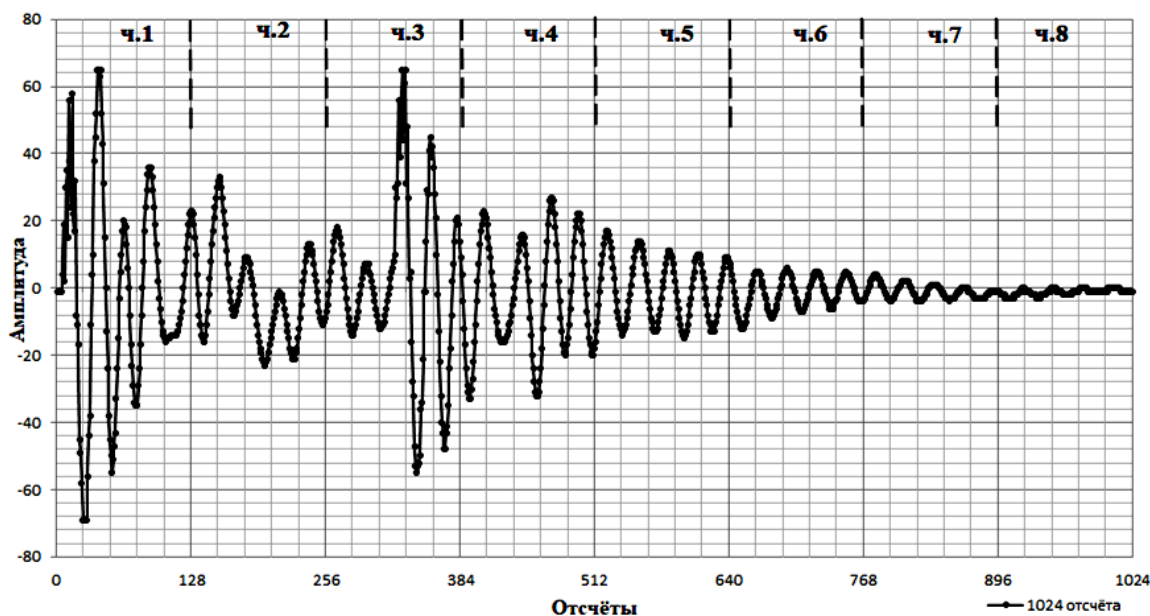


Рис. 1. Исходная временная осциллограмма датчика №31, разделенная на 8 частей

Осциллограмма включения линии высоковольтным выключателем под напряжение состоит из двух импульсов, вызванных отскоками контактов выключателя или неодновременностью включения контактов его разных фаз (1 и 3 части) (рис. 2, 3).

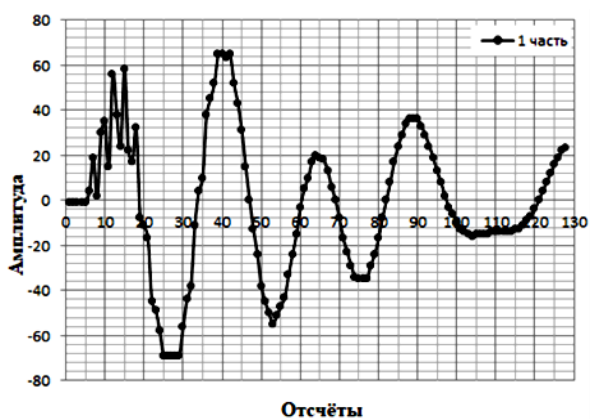


Рис. 2. Приближенный участок части 1

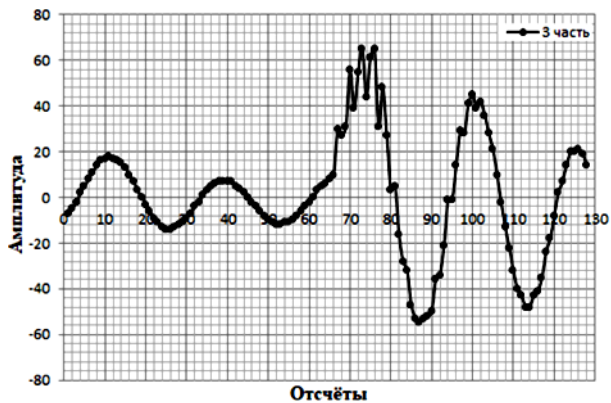


Рис. 3. Приближенный участок части 3

Доминирует низкочастотная составляющая свободных колебаний с периодом 27 мкс или частотой 37 кГц. В начале каждого импульса присутствует высокочастотная составляющая свободных колебаний с периодом 3,2 мкс или частотой 307 кГц.

Обе эти спектральные составляющие присутствуют на суммарном спектре сигнала переходного процесса (рис. 4). Разобьем исходную временную осциллограмму длиной 1024 отсчета на 8 последовательных частей по 128 отсчетов и проведем БПФ для каждого из 8-ми участков.

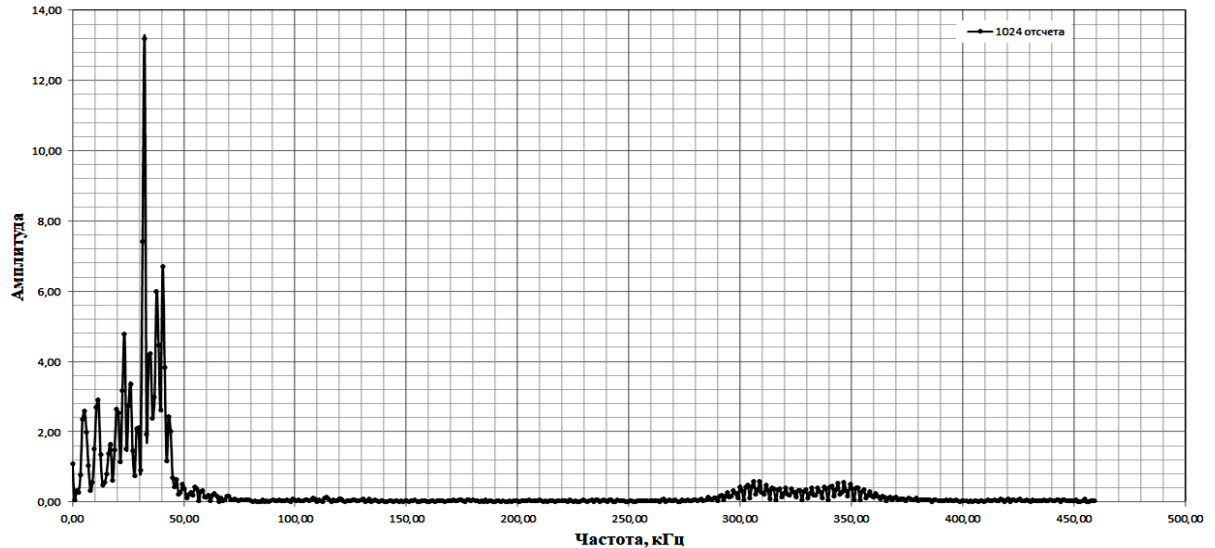


Рис. 4. БПФ 1024 отсчетов (датчик №31)

Из спектра частот временной осциллограммы выделим амплитуды спектральных компонент для НЧ и ВЧ и изобразим их нормированными на их максимальные значения (рис. 5).

Вычислим энергию НЧ и ВЧ колебаний, как сумму квадратов амплитуд дискретных частот спектра от 0 до 100 кГц (НЧ) и от 250 до 400 кГц (ВЧ) (рис. 6).

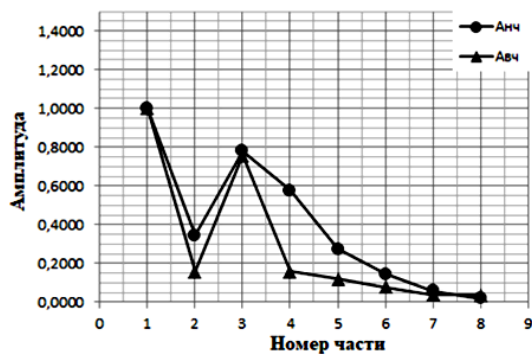


Рис. 5. Изменение амплитуды НЧ и ВЧ колебаний

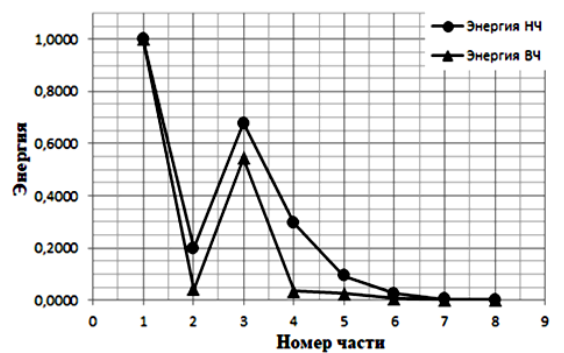


Рис. 6. Изменение энергии НЧ и ВЧ колебаний

Из графиков следует, что с течением времени амплитуда и энергии НЧ и ВЧ колебаний уменьшаются, что экспериментально доказывает присутствие эффекта дисперсии в сигналах переходного процесса.

Изучим частотный состав сигнала ПП аварийной осциллограммы, зарегистрированной в г. Набережные Челны КТП-748 23.04.2019 в 11:37:40, полученных от датчика № 15, который зарегистрировал этот сигнал синхронно с датчиком № 31, но позже на 9 мкс согласно их расположению на схеме [1] (рис. 7, 8).

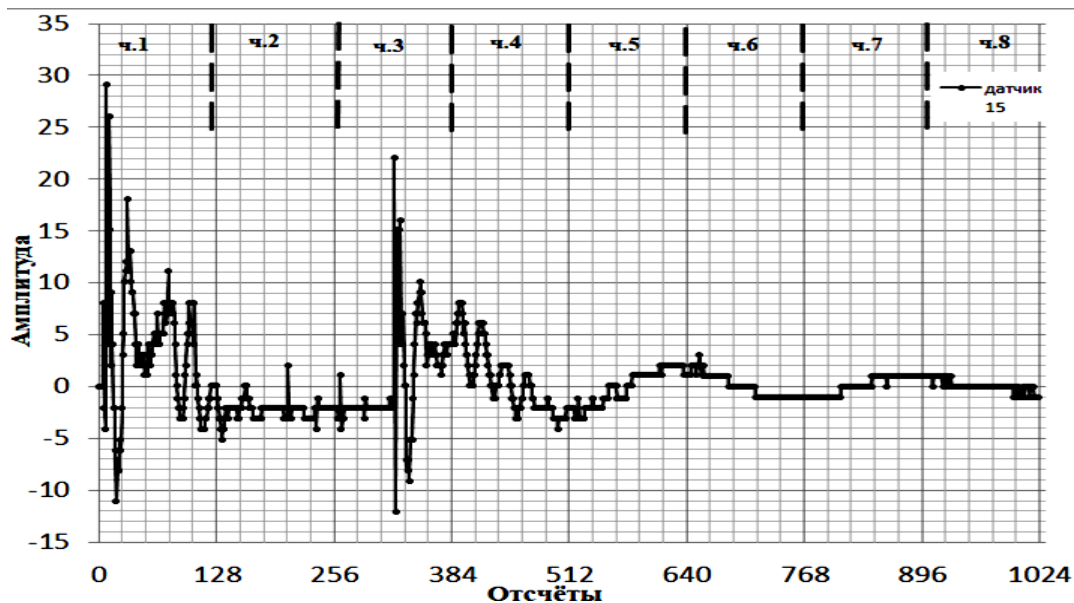


Рис. 7. Исходная временная осциллограмма датчика № 15, разделенная на 8 частей

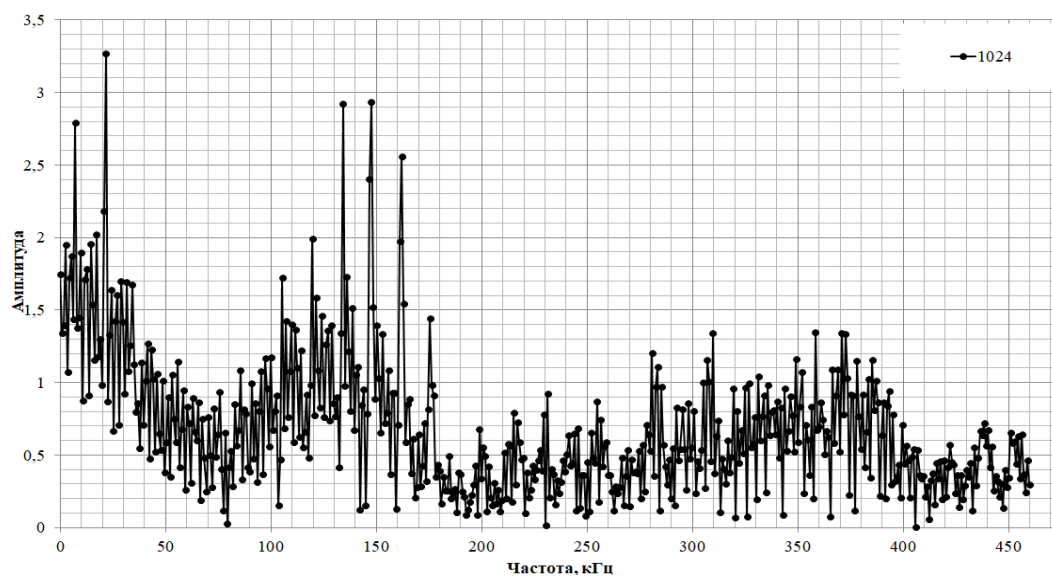


Рис. 8. БПФ 1024 отсчетов (датчик № 15)

Выделим амплитуды и энергии спектральных компонент для НЧ и ВЧ колебаний, полученными от датчика №15 (табл. 1, 2).

Для датчика № 15 амплитудный спектр и НЧ, и ВЧ составляющих меньше, чем у датчика № 31. При этом у датчика № 15 спектр не разделен так чётко на НЧ и ВЧ составляющие, как в 31-ом. Также в нём появляется участок в интервале от 100 до 180 кГц, который отсутствует у датчика № 31. Что плохо согласуется с моделью механической дисперсии и требует дальнейшего исследования.

Таблица 1

Таблица 2

Амплитуда
для НЧ и ВЧ (датчик №15)

№ части	$A_{НЧ}$	$A_{ВЧ}$
1	4,24	1,27
2	2,27	0,18
3	3,4	0,99
4	2,97	0,15
5	1,97	0,09
6	1,25	0,07
7	1,03	0,06
8	0,42	0,09

Энергия НЧ и ВЧ колебаний
(датчик №15)

№ части	Энергия НЧ	Энергия ВЧ
1	63,21	14,47
2	6,12	0,19
3	35,35	9,43
4	19,97	0,15
5	5,68	0,08
6	2,14	0,03
7	1,39	0,02

Рассмотрим временную осциллограмму (рис. 9) и результаты БПФ (рис. 10) для 4-ой части данных, зарегистрированных датчиком № 15.

По результатам БПФ в спектре присутствуют 2 максимума частот. Сопоставим их с временной осциллограммой на рис. 9.

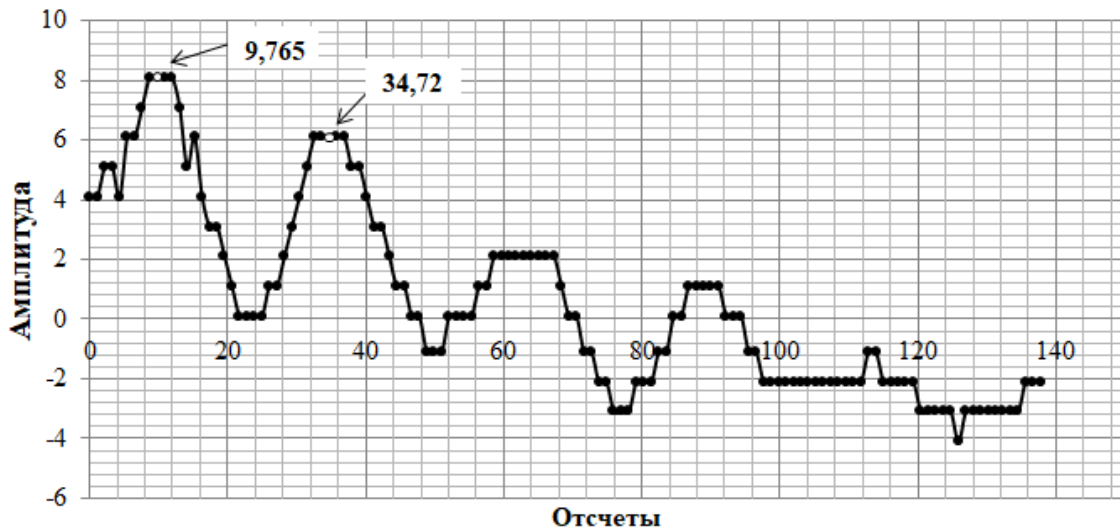


Рис. 9. Исходная временная осциллограмма 4 части датчика №15

Частота 40 кГц соответствует периоду 25 мкс (рис. 10), этот интервал указан на рис. 9 между отсчетами 9,765 и 34,72. Частота 7 кГц соответствует периоду 142 мкс, однако на рис. 9 нет интервала с данным периодом, т.е. это ложный максимум.

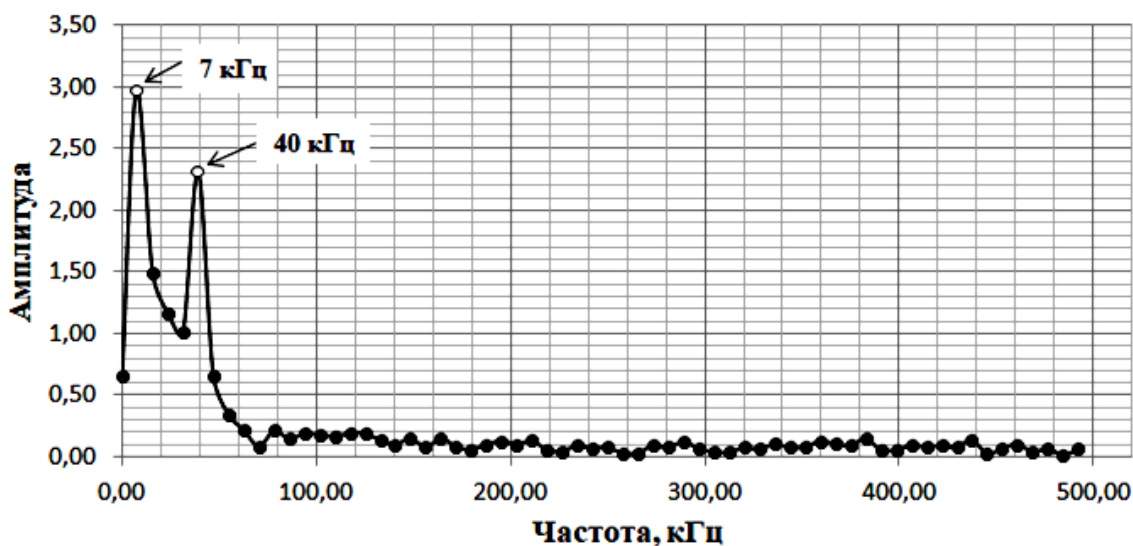


Рис. 10. БПФ 4 части датчика №15

В результате исследований выяснилось, что модель механической дисперсии отлична от экспериментальных данных, также возможны случаи возникновения ложных максимумов, появляющихся в результате краевых эффектов, что требует дальнейшего исследования.

Литература

1. Монитор-К [Электронный ресурс]. URL: <http://cp.elnet-k.ru/reports/byfails> (дата обращения: 26.09.19).

УДК 62-523.2

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Тумаев Вячеслав Алексеевич

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

asd173rus@yandex.ru

В статье описывается принцип работы частотного преобразователя, а также рассматриваются преимущества и недостатки использования частотно-регулируемого электропривода.

Ключевые слова: частотный, электропривод, преобразователь, напряжение, система, двигатель, привод.

ADVANTAGES OF USING FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE

Tumaev Vyacheslav Alekseevich
Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk
asd173rus@yandex.ru

The article describes the principle of operation of the frequency Converter, as well as the advantages and disadvantages of using a frequency-controlled electric drive.

Keywords: frequency, electric drive, Converter, voltage, system, motor, drive.

В настоящее время активно расширяется область применения частотно-регулируемых электроприводов на основе преобразователя частоты и асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. В основном это происходит в тех отраслях, где ранее широко применялись электроприводы постоянного тока с двигателями независимого возбуждения [2]. Это связано прежде всего с достижениями в области силовой электроники и микропроцессорной техники, на основе которых были разработаны преобразователи частоты. Частотно-регулируемый электропривод не уступает электроприводу постоянного тока как по статическим, так и по динамическим свойствам, и при этом асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором легче и в несколько раз дешевле, чем аналогичный двигатель постоянного тока [3].

Принцип работы частотного преобразователя состоит в следующем: входное напряжение переменного тока некоторой входной частоты подается на блок выпрямительных диодов. Выпрямитель преобразует его в выпрямленное напряжение постоянного тока. Затем фильтр сглаживает пульсации выпрямленного напряжения, а его конденсатор служит источником реактивной энергии для электродвигателя, представляющего собой активно-индуктивную нагрузку, обеспечивая обмен реактивной энергией между его фазами. Далее инвертор переключает в необходимой последовательности и с необходимым темпом управляемые ключевые элементы – транзисторы, которые в открытом состоянии обладают крайне малым сопротивлением. Их открытие и закрытие осуществляется в определенное время при помощи электронного управления [1]. Происходит формирование напряжения, аналогичного трехфазному, когда фазы смещаются относительно друг друга. Таким образом, само регулирование скорости вращения асинхронного электродвигателя при применении частотно-регулируемого электропривода производится путем изменения частоты и величины напряжения питания двигателя [4].

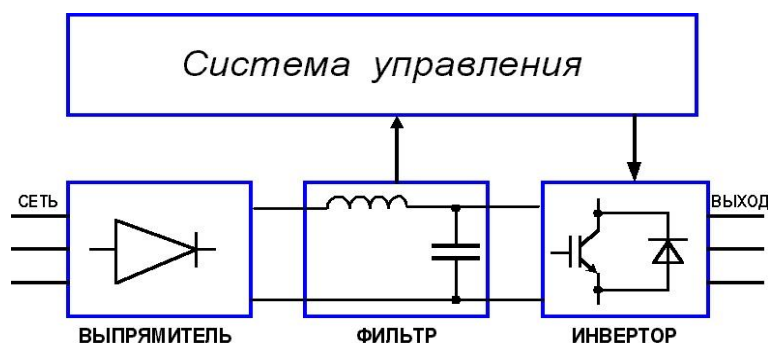


Рис. 1. Структурная схема преобразователя частоты

Система управления входит в состав инвертора частотного преобразователя и является его неотъемлемой частью (рис. 1). Система управления (СУ) осуществляет управление работой частотного преобразователя. Она обеспечивает коммутацию силовых электронных ключей с заданной частотой, что, в свою очередь, обеспечивает выполнение преобразования напряжения, а в наиболее современных частотных преобразователях осуществляет автоматическое управление характеристиками питаемого им двигателя, а иногда и управление технологическим процессом. Чаще всего под СУ преобразователя частоты подразумевают систему управления инвертора, но систему управления также имеет управляемый выпрямитель. Система управления включает в себя задающий генератор (ЗГ) частоты импульсов, кольцевую пересчетную схему (КС), формирователь импульсов управления (ФИ), драйверы (Др), генератор импульсов (ГИ) сдвига или модулирующей частоты [1] (рис. 2).

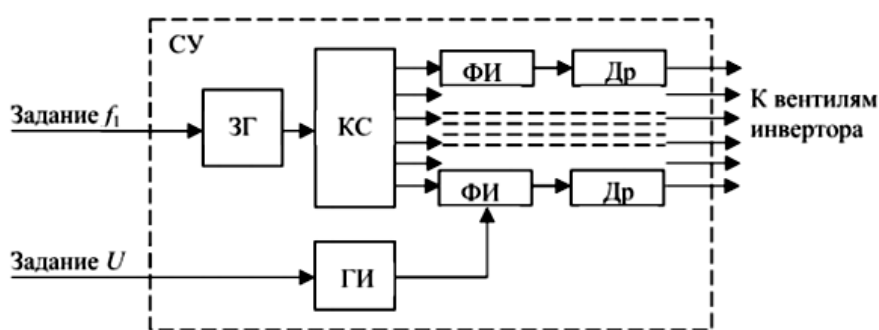


Рис. 2. Структурная схема СУ

Использование частотно-регулируемого электропривода обеспечивает ряд преимуществ:

1. Повышает время работы двигателя.
2. Обеспечивает контроль состояния отдельных узлов в цепях промышленной электрической цепи.

3. Обеспечивает точный выходной крутящий момент и непрерывный контроль скорости.

4. При отключении сетевого напряжения запускается процесс управляемого торможения и перезапуск [1].

5. Двигатели с частотно-регулируемыми приводами быстро реагируют на изменение режима нагрузки, например при воздействии ударных нагрузок.

В результате всех преимуществ повышается КПД, что обеспечивает экономию электроэнергии на 30–35 %. Возрастает качество продукта, увеличивается срок службы оборудования.

Несмотря на все преимущества системы частотного регулирования электропривода также обладают некоторыми недостатками:

1. Статистика показывает увеличение числа аварийных отключений оборудования, технологические механизмы которого оснащены частотно-регулируемым приводом переменного тока. Причиной этого является увеличение длительности перерывов в работе электродвигателей, питаемых от преобразователей частоты, при кратковременных нарушениях электроснабжения.

2. Системы частотного-регулируемого привода создают сильные помехи, которые мешают другой электронике функционировать. Справиться с этой проблемой поможет установка в цепи управления фильтров высокочастотных помех, которые будут снижать степень такого влияния [3].

Применение частотно-регулируемых электроприводов позволяет достичь лучших рабочих характеристик при более низком энергопотреблении. Если говорить о энергосбережении посредством использования частотно-регулируемых электроприводов, необходимо брать во внимание, что большинство современных преобразователей частоты обладают так называемой системой энергосберегающего управления, которая состоит в способности более гибкого управления напряжением двигателя при изменении нагрузки. Данная функция позволяет сэкономить дополнительно до 30 % потребляемой электроэнергии за счет снижения потерь в двигателе. Это становится особенно актуальным, когда речь заходит о механизмах, которые часть времени работают с пониженной нагрузкой.

Литература

1. Новиков Г. В. Частотное управление асинхронными электродвигателями. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 498 с.

2. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Академия, 2006. 264 с.

3. Фащиленко В. Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий. М.: Издательство «Горная книга», 2011. 260 с.

4. Фираго Б. И., Павлячик Л. Б. Регулируемые электроприводы переменного тока. Мн.: Техноперспектива, 2006. 363 с.

УДК 621.38

АНАЛИЗ РАСЧЕТОВ ТЯГОВЫХ СЕТЕЙ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

¹Таланов Радомир Маратович, ²Ягудина Алия Рамилевна,
³Хизбуллин Роберт Накибович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹radomir.talanov@mail.ru, ²AliyagudinA@gmail.com, ³robert.khizbullin@mail.ru

Приведен анализ электрических расчетов тяговых сетей ГЭТ, дан анализ выбора тяговой подстанции исходя из принципа рационального сочетания электроснабжения.

Ключевые слова: тяговые электрические расчеты, городской электротранспорт, контуры и сети.

ANALYSIS OF CALCULATION OF TRACTION NETWORKS OF CITY ELECTRIC TRANSPORT

¹Talanov Radomir Maratovich, ²Yagudina Aliya Ramilevna, ³Khizbullin Robert Nakibovich
KSPEU, Kazan

¹radomir.talanov@mail.ru, ²AliyagudinA@gmail.com, ³robert.khizbullin@mail.ru

The analysis of calculations of traction networks of GET, which is based on the principle of a rational combination of power supply.

Key words: traction electric calculations, urban electric transport, circuits and networks.

Анализ электрических расчетов тяговых сетей городского электрического транспорта (ГЭТ) сводятся к технико-экономическому выбору основных параметров и конструктивных решений системы электроснабжения: оборудования тяговых подстанций (ТП), сечений проводов контактных сетей (КС) и питающих кабелей, схем секционирования контактных сетей (КС), видов защит и др.

При выборе ТП исходят из принципа рационального сочетания в заданных условиях электроснабжения одноагрегатных ТП как основной единицы электроснабжения с многоагрегатными, располагаемыми в наиболее нагруженных транспортных узлах. Одноагрегатную ТП рассматривают в виде модуля, являющегося основой децентрализованной системы электроснабжения; многоагрегатные создают на основе тяговых блоков одноагрегатных ТП с использованием принципов секционирования (модульного принципа проектирования), что обеспечивает унификацию конструкций и облегчает решение эксплуатационных задач. Сечения проводов КС и кабелей выбирают по нагреванию с учетом установленных норм экономической плотности тока и по падению напряжения с учетом норм допустимого падения напряжения. Оптимальные соотношения между стоимостью системы электроснабжения с потерями ЭЭ в ней получают расчетом тяговой сети по потерям энергии. При выборе элементов оборудования ТП и тяговой сети используют механические расчеты на прочность, на электродинамические усилия от действия токов КЗ и др.

Количество теплоты Q_1 (Дж), выделяемое током I (А) в проводнике с сопротивлением R (Ом) в единицу времени (τ):

$$Q_1 = I^2 R. \quad (1)$$

Количество теплоты Q_2 , отдаваемое проводом в окружающую среду за то же время:

$$Q_2 = \lambda(t_2 - t_1)S = \lambda\tau S, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопередачи между проводом и средой, Вт/(м² °С); $\tau = t_2 - t_1$ – разность температур провода и окружающей среды, °С; S – площадь поверхности провода, м².

Установившаяся температура провода определяется условием теплового равновесия $Q_1 = Q_2$, при котором из (1) и (2) после некоторых преобразований получим ток I , при котором перегрев провода равен τ , т.е.:

$$I = Cd^{3/2}, \quad (3)$$

где C – коэффициент, зависящий от внешних условий (типа провода и его изоляции, характера окружающей среды); d – диаметр провода, мм.

Уравнение (3) показывает, что при заданной максимальной установившейся температуре сечение проводника увеличивается быстрее, чем растет ток. Поэтому для проводников меньших сечений допустимые плотности тока выше, чем для проводников больших сечений.

Если известен допустимый перегрев $\tau_{\text{доп}}$, то допустимый ток провода определяют условием теплового равновесия из (1) и (2):

$$I_{\text{доп}}^2 R = \lambda \tau_{\text{доп}} S. \quad (4)$$

Откуда

$$I_{\text{доп}} = \sqrt{\lambda \tau_{\text{доп}} S / R}, \quad (5)$$

где R – сопротивление провода при температуре $\theta = \theta_{\text{сред}} + \tau_{\text{доп}}$; $\theta_{\text{сред}}$ – температура окружающей среды, °С [1].

Допустимые длительные токовые нагрузки на изолированные провода и кабели при прокладке в воздухе и в земле нормированы ПУЭ. Расчет проводов на нагревание сводится к выбору по таблицам ПУЭ сечения провода или кабеля по условию $I \leq I_{\text{доп}}$, где I – расчетный ток; $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток для выбранного провода или кабеля по таблицам ПУЭ.

Допустимый по условиям перегрева нагрузочный ток контактного провода определяют по его тепловой характеристике – зависимости установившейся температуры перегрева от длительно протекаемого тока в заданных условиях охлаждения.

Расчет проводов на падение напряжения определяется схемой питания и секционирования КС. В сетях с односторонним питанием при сосредоточенных нагрузках падение напряжения до конца линии при одинаковом сечении проводов на всех участках:

$$\Delta U_c = I_1 r_1 + I_2 r_2 + \dots + I_s r_s = \sum_{i=1}^{i=s} I_i r_i = r_0 \sum_{i=1}^{i=s} I_i l_i, \quad (6)$$

где I_i – ток i -го участка линии, А; r_i – сопротивление i -го участка линии, Ом; r_0 – сопротивление единицы длины провода, Ом/км; l_i – длина i -го участка линии, км; s – число участков.

При разных сечениях проводов на k участках:

$$\Delta U_c = \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^s I_i r_i = \sum_{k=1}^k (r_{0k} \sum_{i=1}^s I_i l_i), \quad (7)$$

где r_{0k} – сопротивление единицы длины провода k -го участка линии [2].

Фактические тяговые нагрузки являются сосредоточенными, но меняются по значению и месту расположения. Число n поездов, находящихся на участке питания, также не остается постоянным. Если при этом частота движения поездов достаточно велика и число n меняется незначительно, то в первом приближении токовую нагрузку линии можно принимать равной I , где I – средний ток одного поезда, потребляемый за время движения по участку, и считать ее равномерно распределенной по участку питания с плотностью $\Delta I = I/n/l$, где l – длина участка, км. При равномерно распределенной нагрузке с плотностью ΔI в сетях с односторонним питанием падение напряжения от центра питания до сечения с координатой x :

$$\Delta U_x = \int_0^x (\Delta I dx) r_x = r_x \Delta I x^2 / 2, \quad (8)$$

где $\Delta I dx$ – ток, приходящийся на элемент длины dx линии; $r_x = r_0 x$ – сопротивление участка линии от центра питания до сечения x .

Падение напряжения в проводе при равномерно распределенной нагрузке равно падению напряжения в том же проводе от сосредоточенной нагрузки, равной всей равномерно распределенной нагрузке линии и приложенной в ее середине.

Необходимо подчеркнуть, что замена сосредоточенных тяговых нагрузок, равномерно распределенных, правомерна лишь при весьма больших n , т.е. при $n = \infty$. Практически число поездов n на участке ограничено, и модель равномерно распределенной нагрузки определяет величину ΔU с погрешностью тем большей, чем меньше n . Поэтому в практических расчетах необходим учет вероятностного характера тяговых нагрузок. Падение напряжения ΔU_i до токоприемника любого i -го поезда определяют в виде суммы доли ΔU_{ci} , связанной с током рассматриваемого поезда, и доли $\Delta U_{\Pi} (n-1)$, обусловленной нагрузками $(n-1)$ поездов, находящихся на рассматриваемом участке:

$$\Delta U_i = \Delta U_{ci} + (n-1) \Delta U_{\Pi}. \quad (9)$$

При двустороннем питании участка сети с сосредоточенными нагрузками от питающих пунктов Π_x и Π_y с напряжениями U_x и U_y , всегда можно найти точку токораздела 0, к которой ток подтекает как от Π_x , так и от Π_y . Для схемы двустороннего питания:

сумма токов питающих пунктов равна сумме токов нагрузок $I_x + I_y = i_1 + i_2 + i_3$, или в общем случае:

$$I_x + I_y = \sum_1^s I_i r_i; \quad (10)$$

алгебраическая сумма падений напряжений в проводах участка равна разности напряжений:

$$U_x - U_y = I_x r_1 + (I_x - i_1) r_2 - (I_y - i_3) r_3 - I_y r_4. \quad (11)$$

Решая систему уравнений (10) и (11) при одинаковом сечении проводов всех участков, получим:

$$I_x = (U_x - U_y) / (r_0 l) + (\sum_1^s i_i l_{iy}) / l; I_y = (U_y - U_x) / (r_0 l) + (\sum_1^s i_i l_{ix}) / l, \quad (12)$$

где i_i – токи нагрузок; I_{ix} , I_{iy} – расстояния от точек приложения токов i_i соответственно до питающих пунктов Π_x и Π_y ; $i_i l_{ix}$, $i_i l_{iy}$ – моменты токов нагрузки относительно питающих пунктов Π_x и Π_y .

Реальные тяговые сети часто имеют сложные узлы и замкнутые контуры. Для упрощения расчета их преобразовывают и приводят к простейшим схемам одно- или двустороннего питания. При наличии более двух питающих пунктов распределение определяют в предположении равномерного распределения нагрузок внутри каждого элемента расчетного участка, а участки, смежные с рассматриваемым, разрезают в точках токораздела [3].

Рельсовые сети трамвая рассчитывают отдельно от КС, так как это значительно упрощает расчет, хотя и вносит в него дополнительные погрешности. В отличие от КС, рельсовую сеть не секционируют на участки. Ее рассчитывают на падение напряжения до точек токораздела при многостороннем отсасывании. Число отсасывающих пунктов и меры по поддержанию их эквипотенциальности выбирают так, чтобы разность

потенциалов между различными точками рельсовой сети не превышала установленных норм. С учетом стохастического характера тяговых нагрузок вероятностное значение падения напряжения до точек токораздела рельсовой сети определяют для участков двустороннего и одностороннего питания соответственно:

$$\Delta U''_p = (I r_p l / 8) [1 + (n / 3)]; \quad (13)$$

$$\Delta U'_p = I r_p l / 2, \quad (14)$$

где I – нагрузка участка, А; l – его длина, км; r_p – сопротивление рельсового пути, Ом/км; n – число поездов, одновременно находящихся между отсасывающими пунктами.

Результаты электрического расчета тяговой сети дают возможность определить требуемое количество и место расположения ТП. Наивыгоднейшая мощность и вариант расположения ТП определяются системой внешнего и внутреннего электроснабжения, которые на начальной стадии проектирования неизвестны. Поэтому окончательный вариант электроснабжения устанавливают методом технико-экономического сравнения предварительно выбранных по капиталовложениям и эксплуатационным расходам с учетом требующихся затрат цветных металлов.

Сечение контактных проводов выбирают с учетом стоимости по экономической плотности тока $I_{пр}$ (А/мм²) вблизи питающих пунктов из условия наивыгоднейших соотношений между расходом цветных металлов и потерями электрической энергии в тяговой сети.

При выборе сечений кабелей отрицательных питающих линий трамвая с учетом необходимости соблюдения среднесуточного эквипотенциального режима работы пунктов присоединения их к рельсам требуется обеспечить равенство падений напряжений во всех отрицательных питающих кабелях одной ТП.

Резюмируя, можно сделать вывод, что наивыгоднейшая мощность единичной ТП соответствует варианту, который обеспечивает минимум суммы амортизационных отчислений, эксплуатационных расходов по ТП и кабельной сети, а также стоимости потерь энергии в кабелях. Для ориентировочного выбора наивыгоднейшей мощности ТП, которая в последующем уточняется методом технико-экономического сравнения вариантов, используют формулу А.Х. Зильберталя (для разветвленных тяговых сетей):

$$I_{\text{ТП}} = c\sqrt[3]{I_{\text{ср}} / F}, \quad (15)$$

где $I_{\text{ТП}}$ – средний ток ТП, соответствующий ее наивыгоднейшей мощности, А [4].

Литература

1. Слепцов М. А., Долаберидзе Г. П., Прокопович А. В. и др. Основы электрического транспорта: учебник для студ. высш. учеб. заведений / под общ. ред. М. А. Слепцова. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 464 с.

2. Силовые преобразователи электрической энергии в электрическом транспорте: программа и метод. указания по изучению дисциплины / сост.: Р. Н. Хизбуллин, М. Ф. Замалдинов. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. 42 с.

3. Бегагоин Э. И., Пасынков А. С., Шамаева В. Я. Теория электрической тяги. Ч.1. Основы теории тяги поездов: конспект лекций. Екатеринбург: УрГУПС, 2007. 86 с.

4. Хизбуллин Р. Н. Силовые преобразователи электрической энергии в электрическом транспорте: курс лекций. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2005.

УДК 621.314.26

ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КАСКАДНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ЧАСТОТНО- РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Трегуб Дарья Романовна
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург
dari.romanovna@gmail.com

В работе рассмотрены вопросы управления каскадным преобразователем частоты в аварийных режимах. Проведен анализ процессов в системе «каскадный преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» при отказе и последующем шунтировании различного числа ячеек в каждой из фаз. Методами компьютерного моделирования исследованы алгоритмы симметрирования трехфазной системы токов обмотки статора электродвигателя.

Ключевые слова: каскадный преобразователь, несимметричный режим, широтно-импульсная модуляция.

RESEARCH OF EMERGENCY OPERATING MODES OF A CASCADE FREQUENCY CONVERTER OF A FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE

Tregub Daria Romanovna

ETU, Saint-Petersburg

dari.romanovna@gmail.com

The paper deals with the management of a cascade frequency converter in emergency conditions. The analysis of processes in the system "cascade frequency converter – asynchronous electric motor" in case of failure and subsequent shunting of a different number of cells in each phase is carried out. Computer simulation methods are used to study the algorithms for balancing a three-phase system of currents of the stator windings of an electric motor.

Keywords: cascade converter, unbalanced mode, pulse width modulation

В современных мощных электроприводах среднего и высокого напряжения все чаще находят применение многоуровневые преобразователи частоты (ПЧ), построенные по каскадной схеме. В каждой фазе такого ПЧ используются низковольтные ячейки преобразования частоты с однофазными мостовыми автономными инверторами напряжения (АИН), соединенными последовательно. Пример такой схемы при питании каждого АИН от изолированного источника напряжения и последовательном соединении пяти АИН в фазе приведен на рис. 1.

Применение таких ПЧ связано с целым рядом факторов: возрастающие требования к качеству выходного напряжения; возможность использования низковольтных ключей для обеспечения питания высоковольтной нагрузки; возможность обеспечения модульной структуры, повышающей живучесть и ремонтпригодность ПЧ в целом.

Кроме того, рассматриваемый каскадный ПЧ имеет возможность сохранить работоспособность при отказе любой из низковольтных ячеек путем ее шунтирования, т. е. исключения из работы, и последующей модификации алгоритма управления.

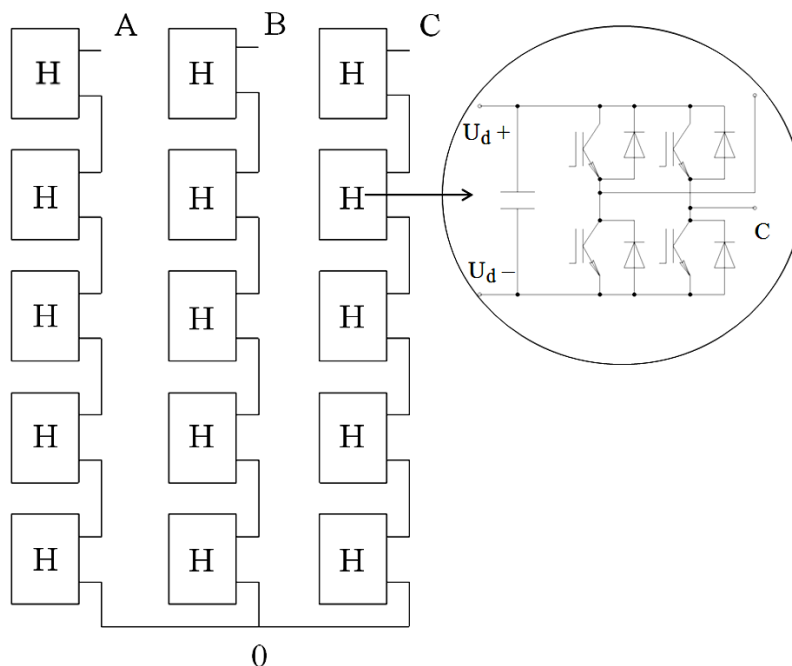


Рис. 1. Электрическая схема одиннадцатиуровневого каскадного ПЧ

Для управления каскадным ПЧ в симметричном режиме работы, т. е. когда все элементарные низковольтные ячейки исправны, как и для других видов многоуровневых ПЧ, принято использовать алгоритмы формирования широтно-импульсной модуляции (ШИМ). В работе рассматривается алгоритм синусоидальной (скалярной) ШИМ с фазовым сдвигом, основанный на сравнении высокочастотного, например треугольного, несущего сигнала:

$$u_{\text{нес}}(t) = 1 - 4f_{\text{нес}} \cdot |t - kT_{\text{нес}}/2|, \quad kT_{\text{нес}} \leq t < (k+1)T_{\text{нес}} \quad (1)$$

и его смещенных по фазе копий, где $f_{\text{нес}}$ – частота формирования ШИМ; $T_{\text{нес}}$ – период формирования ШИМ; k – порядковый номер периода ШИМ, и системы опорных синусоидальных напряжений:

$$\begin{cases} u_{A0}^* = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = MU_d \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \\ u_{B0}^* = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0 - 2\pi/3) = MU_d \cos(\omega_0 t + \varphi_0 - 2\pi/3), \\ u_{C0}^* = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + 2\pi/3) = MU_d \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + 2\pi/3), \end{cases} \quad (2)$$

где M – коэффициент модуляции; U_0 , ω_0 и φ_0 – амплитуда, частота и фаза первой гармоники напряжения, формируемого АИН; U_d – напряжение звена постоянного тока. Для формирования синусоидальной ШИМ в случае

многоуровневого ПЧ с системой опорных синусоидальных напряжений (2) сравнивается системы высокочастотных несущих сигналов (1), содержащая ряд смещенных по фазе треугольных сигналов, число которых на единицу меньше числа возможных уровней в формируемом линейном напряжении на выходе ПЧ.

Более подробно алгоритмы формирования ШИМ на выходе каскадного АИН обсуждаются, например, в [1]. Для формирования системы симметричных токов в нагрузке используется симметричная система опорных синусоидальных напряжений, в которой гармоники, отвечающие за формирование напряжения на выходе отдельной фазы, сдвинуты относительно друг друга на π рад или 120 эл. град., что показано на рис. 2, а. При этом, если принять значение напряжения каждой ячейки равным одной относительной единице (о. е.), то все фазные и линейные напряжения будут равны между собой и составят соответственно 5 и $8,66$ о. е.

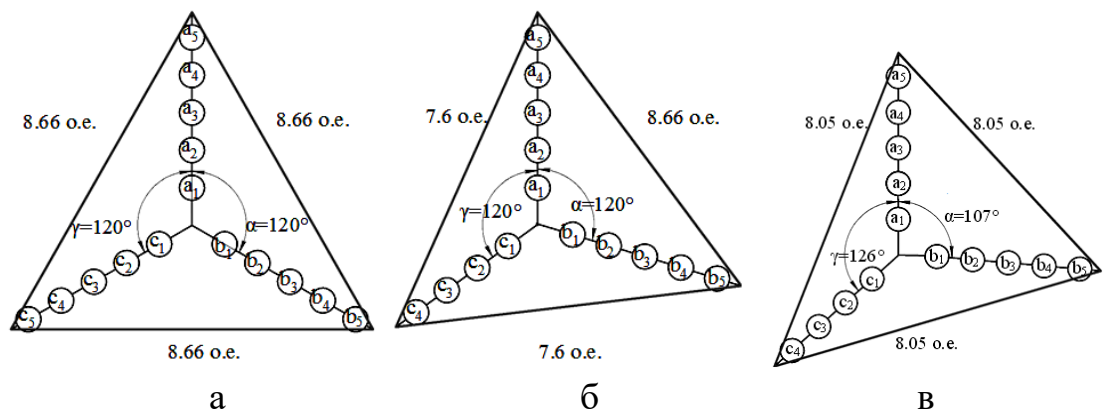


Рис. 2. Векторные диаграммы одиннадцатиуровневого каскадного ПЧ при работе в:
а – симметричном режиме; б – несимметричном режиме; в – в несимметричном режиме с компенсацией

Более подробно рассмотрим работу каскадного ПЧ при отказе одной из низковольтных ячеек, т. е. в несимметричном (аварийном) режиме. Допустим, что применен известный алгоритм диагностики неисправностей низковольтных ячеек каскадных ПЧ (например, [2, 3]). Тогда при отказе одной из таких ячеек должен срабатывать обходной контактор. Заданный режим работы системы поддерживается оставшимися функционирующими ячейками.

Если алгоритм управления, основанный на сравнении несущего сигнала (1) и системы опорных напряжений (2), не модифицировать, то это приведет к разбалансу как фазных, так и линейных напряжений, т. е. возникновению составляющих токов нулевой последовательности. При этом напряжение фазы, в которой произошел отказ, например фазы «С»,

уменьшится с 5 до 4 о. е., а двух других фаз останется неизменным. Соответственно, при уменьшении напряжения одной из фаз произойдет уменьшение и двух линейных напряжений до величины, равной 7.6 о. е. Третье линейное напряжение останется неизменным. Векторная диаграмма такого режима приведена на рис. 2, б.

Для обеспечения симметричного режима работы нагрузки при возникшей несимметричной структуре ПЧ предлагается выровнять значения всех линейных напряжений. Очевидно, что при заданных напряжениях фаз это можно сделать за счет изменения сдвига фаз между ними от 120 эл. град. до некоторого расчетного значения. Таким образом, необходимо модифицировать систему опорных синусоидальных напряжений (2), не изменяя при этом амплитуд синусоид.

Расчет углов между фазами возможен посредством применения различного математического аппарата. Одним из возможных вариантов поиска углов, обеспечивающих равенство всех линейных напряжений, является решение системы тригонометрических уравнений, записанных с использованием теоремы косинусов:

$$\begin{cases} U_{AB} = U_{BC} \\ U_{AB} = U_{CA} \\ \alpha + \beta + \gamma = 2\pi \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U_A^2 + U_B^2 - 2U_A U_B \cos(\alpha) = U_B^2 + U_C^2 - 2U_B U_C \cos(\beta) \\ U_A^2 + U_B^2 - 2U_A U_B \cos(\alpha) = U_C^2 + U_A^2 - 2U_C U_A \cos(\gamma) \\ \alpha + \beta + \gamma = 2\pi \end{cases}, \quad (3)$$

где U_{AB} , U_{BC} и U_{CA} – модули векторов линейных напряжений; U_A , U_B и U_C – модули векторов фазных напряжений; $\alpha = \angle(u_A, u_B)$, $\beta = \angle(u_B, u_C)$ и $\gamma = \angle(u_C, u_A)$ – сдвиг фаз между соответствующими фазными напряжениями. Такой метод будем называть фазным алгоритмом симметрирования токов нагрузки.

В результате решения системы уравнений (3) в *MatLab* для случая отказа одной низковольтной ячейки в одиннадцативольном каскадном ПЧ получены значения искомых углов: $\alpha = 107$ эл. град., $\beta = 126$ эл. град., $\gamma = 126$ эл. град. При этом восстановлен баланс амплитуд и фаз линейных напряжений, которые составляют 8.05 о. е. (рис. 2, в).

Стоит отметить, что приведенный алгоритм симметрирования токов нагрузки является неединственным. Так, некоторые источники, например [1], предлагают к рассмотрению другой алгоритм – амплитудно-фазовый, подразумевающий, что угол между фазами, в которых есть отказы ячеек, равен 180 эл. град. Это обеспечивает максимально достижимое значение линейных напряжений после симметрирования.

Рассмотрим сравнение этих алгоритмов на примере случая, когда в фазах «В» и «С» отказали три и две ячейки соответственно.

Применение фазового алгоритма требует решения системы (3), которое дает значения углов $\alpha=60$ эл. град., $\beta = 60$ эл. град., $\gamma = 240$ эл. град. Баланс линейных напряжений восстановится таким образом, что они будут составлять 4.35 о. е., что приведено на рис. 3, б. При этом стоит отметить, что при некоторых сочетаниях отказавших ячеек в фазах одиннадцатиполюсного АИН приведенный алгоритм симметрирования токов не может дать корректного решения. Это связано с тем, что используемая теорема косинусов применяется для треугольников, и, соответственно, углы под знаком косинуса не должны превышать 180° , в противном случае корректный результат может получиться только в частных случаях ввиду периодичности функции косинуса. В рассматриваемых же векторных диаграммах искомые углы из внутренних углов треугольника превращаются во внешние. Это можно учесть, переписав для каждой комбинации отказавших ячеек систему (3), что приведет к потере общности решения.

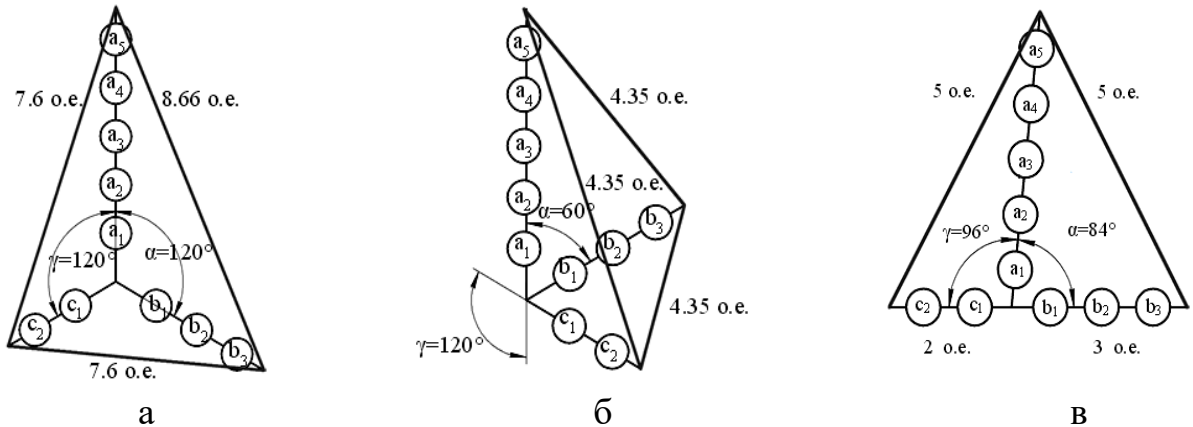


Рис. 3. Векторные диаграммы одиннадцатиполюсного каскадного ПЧ при работе: а – в несимметричном режиме; в – в несимметричном режиме с компенсацией

Рассмотрим амплитудно-фазовый алгоритм (рис. 3, в), позволяющий получить более высокие значения линейных напряжений. Угол между векторами линейных напряжений с наибольшим числом неработающих ячеек в этом алгоритме принимается равным 180 эл. град, а дальнейший баланс амплитуд достигается изменением коэффициента модуляции одной из опорных синусоид системы (2).

Тогда в исследуемом случае напряжение фазы «А» должно быть уменьшено до значения при регулировке коэффициента модуляции M в фазе «А». Уменьшение коэффициента модуляции осуществляется, исходя из необходимости обеспечения равенства сторон прямоугольного треугольника:

$$U'_A = \sqrt{U_h^2 + (U_B - (U_B - U_C)\cos 60^\circ)^2},$$

где U_h – высота треугольника, проведенная к основанию, образованному фазами «В» и «С».

$$U'_A = \sqrt{U_B^2 + U_B U_C + U_C^2}, \quad (4)$$

С учетом (4) углы могут быть рассчитаны следующим образом:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\sqrt{3} U_B + U_C}{2 U'_A}\right), \quad (5)$$

$$\begin{cases} \gamma = 180^\circ - \alpha, \\ \beta = 180^\circ. \end{cases} \quad (6)$$

Тогда линейные напряжения фаз станут равными 5 о. е., что приведено на рис. 3, в.

Аналогичные рассуждения применяются для расчета амплитудно-фазового алгоритма и для других сочетаний отказавших ячеек.

В таблице сведены результаты вычислений углов между фазами и фазными напряжениями.

Сравнение двух методов показывает, что, действительно, фазовый метод не во всех случаях отказов ячеек дает возможность вычислить углы между фазами и линейные напряжения, что связано с применяемым математическим аппаратом. В отличие от фазового, амплитудно-фазовый алгоритм позволяет получить углы и линейные напряжения при отказах любого количества ячеек. При этом с помощью амплитудно-фазового алгоритма возможно получить более высокое линейное напряжение для фазы, в которой число работающих ячеек наибольшее, меняя коэффициент модуляции.

Сравнение фазового и амплитудно-фазового методов

Число работающих ячеек			Фазовый метод			Амплитудно-фазовый метод			
Фаза А	Фаза В	Фаза С	α	γ	U_u	α	U_a'	U_u	ΔU_u
5	4	1	60°	60°	4,5828	70,9°	4,5826	5	8,348 %
5	3	2	60°	60°	4,3589	83,4°	4,3589	5	12,82 %
5	3	1	–	–	–	73,9°	3,6056	4	–
5	2	2	–	–	–	90°	3,4641	4	–
5	2	1	–	–	–	79,1°	2,6458	3	–
5	1	1	–	–	–	90°	1,7321	2	–
4	2	2	60°	60°	3,4641	90°	3,4641	4	13,395%
4	2	1	–	–	–	79,1°	2,6458	3	–
4	1	1	–	–	–	90°	1,7321	2	–
3	2	1	60°	60°	2,6458	79,1°	2,6458	3	11,807%
3	1	1	–	–	–	90°	1,7321	2	–
2	1	1	60°	60°	1,7321	90°	1,7321	2	13,395%

Приведем эпюры токов и напряжений в момент возникновения аварийной ситуации и после коррекции алгоритма управления (рис. 4). Результаты исследования работы асинхронного двигателя от одиннадцатиуровневого каскадного ПЧ в несимметричном режиме с использованием фазового и амплитудно-фазового методов показаны на рис. 4.

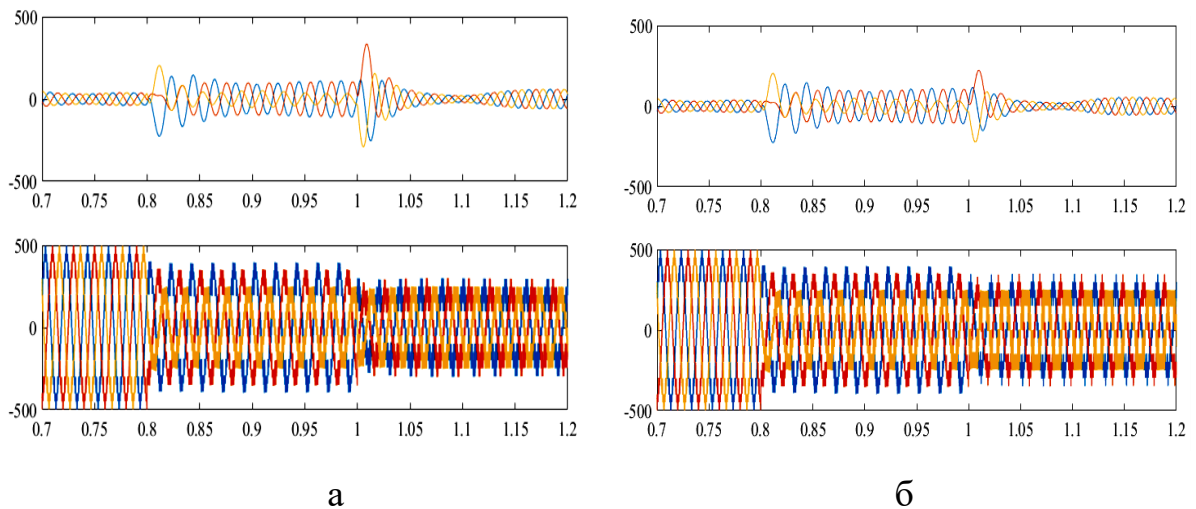


Рис. 4. Токи и напряжения в момент возникновения аварийной ситуации и после коррекции алгоритма: а – при фазовом методе, б – при амплитудно-фазовом методе

На рис. 5 представлены динамические режимы работы электропривода.

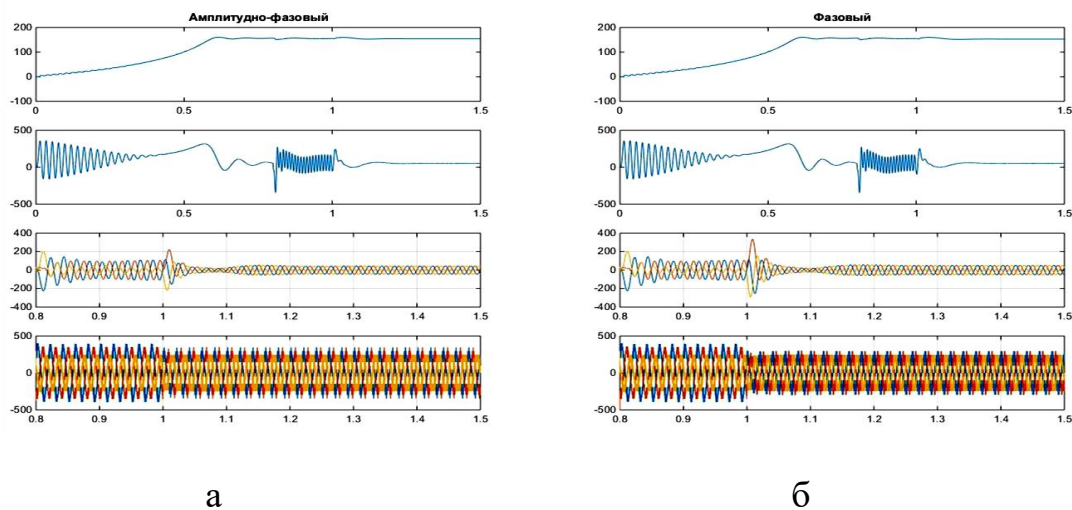


Рис. 5. Динамические режимы работы электропривода:
а – при фазовом методе, б – при амплитудно-фазовом методе

Как следует из графиков переходных процессов, отказ ячеек каскадного ПЧ сопровождается нарушением симметрии токов обмотки статора и, как следствие, появлением колебаний электромагнитного момента и скорости вращения. Эти процессы не только ухудшают качество работы электродвигателя, но и приводят к неравномерности нагрева фаз обмотки статора, что может вызвать быстрое старение изоляции и, как следствие, отказ двигателя. После коррекции алгоритма управления происходит выравнивание токов обмотки статора и стабилизация электромагнитного момента и скорости вращения асинхронного двигателя с соответствующим уменьшением мощности и критического момента.

В работе показана возможность формирования на выходе каскадного ПЧ в случае отказа одной и более элементарных ячеек системы напряжений, обеспечивающих протекание в нагрузке симметричной системы токов. Естественно, что симметрирование токов после отказов ячейки каскадного ПЧ сопровождается уменьшением возможного линейного напряжения и мощности, а значит, уменьшением жесткости механической характеристики асинхронного двигателя при сохранении критического скольжения. Приведенные результаты подтверждены моделированием в системе *MatLab*.

Литература

1. Rodriguez J., Hammond P., Pontt J., Musalem R., Lezana P., Escobar M. J. Operation of a medium-voltage drive under faulty conditions // IEEE Trans. Ind. Electron. 2005. Vol. 52. № 4. P. 1080–1085.

2. Aguilera R., Lezana P, Rodrguez J., Silva C. Fault Detection on Multicell Converter Based on Output Voltage Fre-quency Analysis // Proc. 32nd annual IEEE IECON. 2006. P. 1691–1696.

3. Baudesson P., Turpin C., Richardeau F., Forest F., Meynard T. Faultmanagement of multicell converters // IEEE Trans. Ind. Electron. 2002. Vol. 49. № 5. P. 988–997.

УДК 519.8, 621.31

ИНВЕРТОРНОЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ ИНДУКЦИОННЫХ МГД-МАШИН

¹Тяпин Алексей Андреевич, ²Кинев Евгений Сергеевич
¹ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
²ООО Тепловые электрические системы, г. Красноярск
¹Mishinskaya_AS@tamerlan-krk.ru, ²Kinev_ES@ontecom.com

В статье рассмотрены результаты поиска приемлемой структуры ШИМ-инвертора для электропитания двухфазных линейных индукционных металлургических машин, предназначенных для перемешивания расплава алюминия в печах. Для повышения эффективности регулирования электромагнитного режима МГД-машины с двухфазной обмоткой предложено применить сведенный транзисторный полумост взамен типовой трёхфазной мостовой схемы. Показано, что при раздельном питании обмоток двухфазного индуктора обеспечивается эффективное управление магнитным полем для перераспределения тягового усилия в расплаве.

Ключевые слова: транзисторный IGBT-инвертор, моделирование силовых цепей, мостовая схема преобразователя, линейная индукционная машина, векторная диаграмма МДС, двухфазная четырёхзонная обмотка.

INVERTER POWER SUPPLY OF METALLURGICAL LINEAR INDUCTION MHD MACHINES

¹Tyapin Alexey Andreevich, ²Kinev Evgeny Sergeevich
¹Siberian Federal University, ²Thermal Electrical Systems LLC
Krasnoyarsk
¹Mishinskaya_AS@tamerlan-krk.ru, ²Kinev_ES@ontecom.com

The article discusses the results of a search for an acceptable PWM inverter structure for powering two-phase linear induction metallurgical machines designed to mix aluminum melt in furnaces. To increase the efficiency of regulation of the electromagnetic mode of an MHD machine with a two-phase winding, it is proposed to use paired transistor half-bridges

instead of a typical three-phase bridge circuit. It is shown that with separate feeding of the windings of a two-phase inductor, effective control of the magnetic field is provided for the redistribution of traction in the melt.

Keywords: transistor IGBT inverter, power circuit simulation, converter bridge circuit, linear induction machine, vector diagram of magnetomotive forces, two-phase four-zone winding.

Среди металлургических линейных индукционных машин (ЛИМ), предназначенных для воздействия на расплавы цветных металлов, наибольшее распространение получили трехфазные индукторы [1]. Это обусловлено подтвержденными энергетическими характеристиками, простотой изготовления и применения. Индукционные МГД-машины для перемешивания алюминия могут достигать мощностей в сотни кВА и работают на частотах ниже 10 Гц, вплоть до 1–0,5 Гц. Для электропитания МГД-устройств удобно применять трехфазные инверторы в низкочастотном диапазоне токов [2]. Вместе с тем, наличие разомкнутого магнитопровода приводит к резкой несимметрии электромагнитного режима трехфазной обмотки, снижению тяговых свойств на значительном удалении от обмоток, обусловленном наличием в печи футеровки [3]. Схему соединения трехфазной обмотки в треугольник применяют чаще, поскольку соединение в звезду нередко приводит к неприемлемому уровню токов нулевой последовательности или недопустимому искажению симметрии напряжений [4]. Во всех случаях возможности регулирования амплитудно-фазовых соотношений в связанной системе трехфазных токов малополюсных индукторов ограничены схемой включения [5].

Существует способ улучшения симметрии поля путем расширения возможностей регулирования фазовых сдвигов токов в соседних обмотках МГД-машины, например при переходе к двухфазной конструкции обмоток в двухполюсном исполнении ($2p = 2$) с шириной фазной зоны $\alpha = \pi/2$. При этом возможно сохранить недорогое типовое трехфазное силовое инверторное звено для питания двухфазной конструкции с изменением характеристик управления [6]. Однако более перспективной представляется замена трехфазного ШИМ-инвертора двухфазным в конфигурации сдвоенных полумостов с отдельным согласованным управлением [2, 7]. Для уточнения возможностей отдельного регулирования токов гальванически не связанных однофазных мостов следует проанализировать схемотехнику и характеристики переключения транзисторных полумостов.

Результат может быть получен в ходе проведения комплексного исследования, после определения перечня требований в формате технического задания (ТЗ). В качестве источника питания для металлургических машин рассматриваемого класса применяют транзисторные IGBT-инверторы [8]. Нередко в перемешивателях используют сравнительно недорогие типовые трехфазные преобразователи, широко распространенные в частотном электроприводе. Однако опыт их применения в несимметричных режимах не дал устойчивого положительного результата [5, 8]. Применение совместно с ЛИМ элементной базы IGCT, как правило, нецелесообразно.

Пример схемы подключения типового трехфазного транзисторного инвертора к трехфазным обмоткам индукторов трёхзонной ($2p = 1$) и четырёхзонной ($2p = 4/3$) конструкции показан на рис. 1. Типовому включению обмоток звездой соответствует рис. 1, а. Для случая расщепленной обмотки фазы А характерен вариант включения трехфазного комплекта силовых модулей A_1, A_2, A_3 по рис. 1, б.

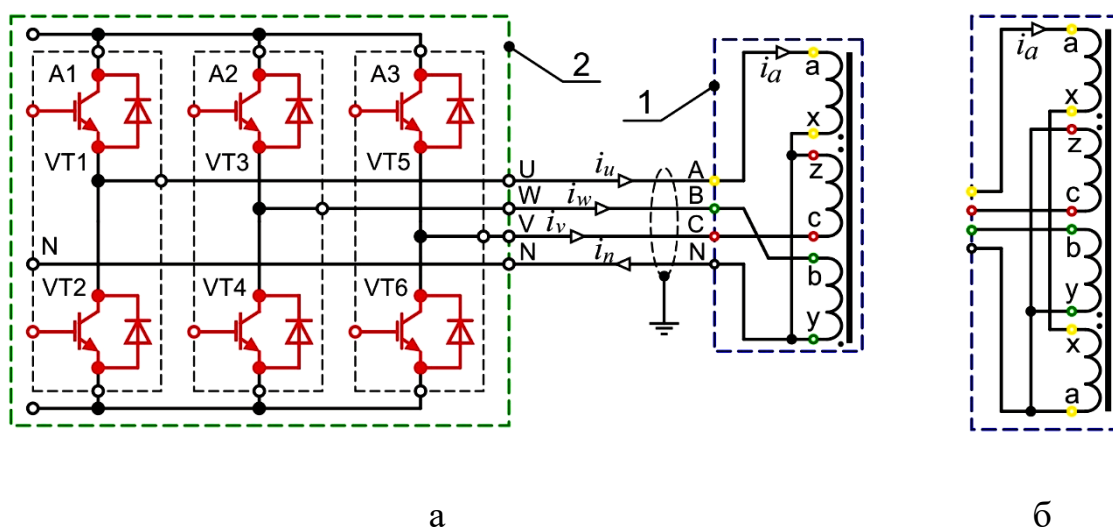


Рис. 1. Схема подключения трехфазного мостового звена инвертора к МГД-машине

Для представленных схем фазная зона обмотки составляет $\alpha = \pi/3$, поскольку обмотки сконфигурированы при варианте АУС равноценному с АЗВ, при условии инвертированной средней фазы. Уточняя характерное искажение симметрии токов индукторов, можно констатировать, что коэффициент несимметрии для трехфазной ЛИМ в габарите 250–400 кВА может втрое превышать, ограничения остановленные ГОСТ, следствием чего является искажение поля. Фазовые сдвиги в смежных фазах при реверсе могут изменяться в диапазоне $\pm 18 - 25^\circ$, а различие

линейных токов достигать 30 %. Согласно расчету токи нулевой последовательности в нейтральном проводе при соединении обмоток ЛИМ в звезду могут превышать двукратные номинальные. Поэтому переход к двухфазному электропитанию становится весьма актуальным.

Рассматривая несколько наиболее предпочтительных способов сопряжения с ШИМ-инвертором двухфазного индуктора, можно отметить возможность обеспечения гальванической развязки токов при подключении четырёхзонной МГД-машины к двухфазному силовому звену, фактически представленному совокупностью двух однофазных управляемых мостов (A_1, A_2) и (A_3, A_4). Пример схемы двухфазного индукционного устройства с полумостовыми модулями показан на рис. 2.

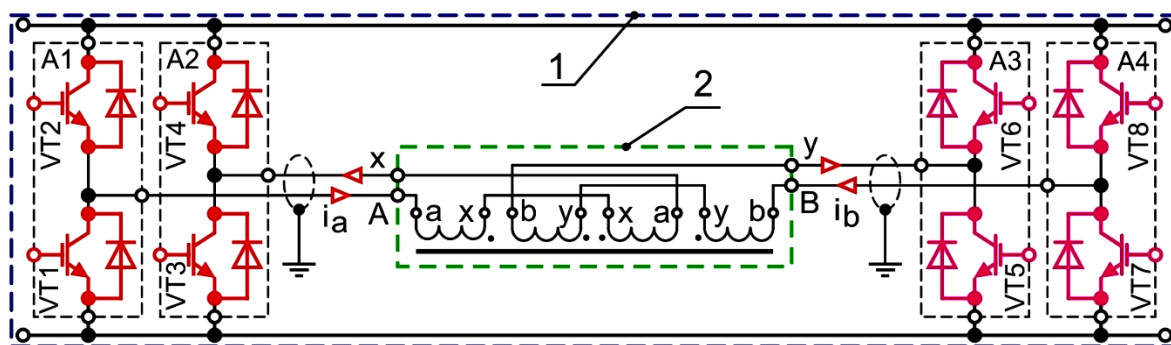


Рис. 2. Подключение сдвоенных полумостовых модулей к четырёхзонной ЛИМ

Для углубленного исследования представленного решения, в соответствии с заданной на рис. 2 конфигурацией ($\alpha = \pi/2$) формируют ТЗ к расчету параметров индуктора и инвертора и их последующего совместного моделирования. По заданным требованиям путем инженерного расчета определяют основные конструктивные характеристики МГД-машины. На последующем этапе математического моделирования рассчитывают рабочие характеристики, энергетику и тяговые свойства, а также уточняют конструкцию [9, 10]. Моделирование выполняют с применением программных модулей среды *Ansys Multiphysics* или *Maxwell* после построения соответствующей численной модели. Пример моделирования четырёхзонного двухфазного устройства 1, размещенного под ванной 2 с расплавом алюминия показан на рис 3, а. Параметры распределенного поля объёмной силы и плотности тока в расплаве при воздействии бегущего магнитного поля на частоте 1 Гц показан на рис. 3, б.

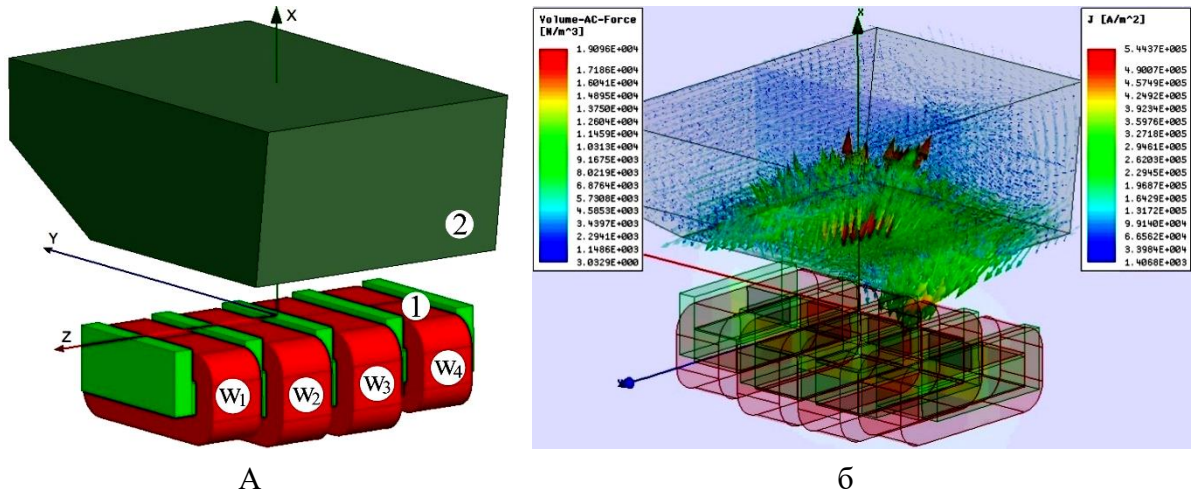


Рис. 3. Моделирование бегущего магнитного поля МГД-машины

Обычно для сравнительной оценки эффективности нескольких разновидностей МГД-машин составляют несколько моделей, опираясь на компоненты, являющиеся общими. В ходе исследования нередко используют несколько модулей и программных сред (*SFX, Fluent, Comsol, OpenFOAM*), позволяющих с применением конечноэлементного анализа рассчитывать дифференциальные характеристики электромагнитного, температурного и магнитогидродинамического полей. При необходимости подключения иного программного обеспечения выполняют конвертирование входных и выходных данных, а расчет завершают определением интегральных параметров комплекса [2, 8].

На следующем этапе разработки индукционного оборудования выполняют моделирование системы управления (СУ) режимами инвертора с ЛИМ [11, 12]. Традиционным способом исследования служит построение модели в программном симуляторе, например *Matlab Simulink*. Пример схемной модели, предназначенной для исследования, показан на рис. 4.

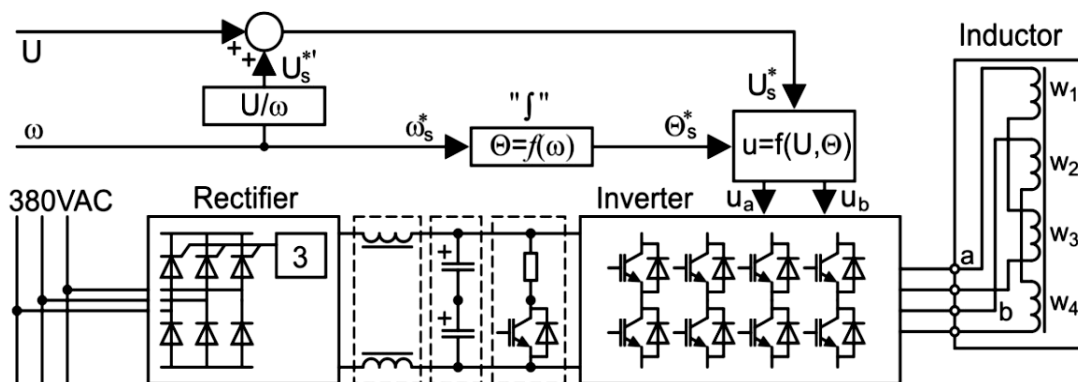


Рис. 4. Структура модели инвертора с двухфазной ИМ

В структуре функции управления $u = f(U, \Theta)$ реализуются уравнения:

$$u_a^* = \sqrt{2}U_s \sin \Theta_e, u_b^* = \sqrt{2}U_s \sin(\Theta_e - \pi / 2).$$

В результате моделирования определяют основные параметры системы управления, исследуют особенности применения реализованных законов и синтезируют основы алгоритма работы СУ [13].

Для характеристики работы ключевых элементов в выбранной конфигурации силового звена можно показать некоторые временные диаграммы, поясняющие принцип управления двухфазным вариантом ШИМ-инвертора. Пример диаграммы переключения сдвоенных полумостовых звеньев показан на рис. 5.

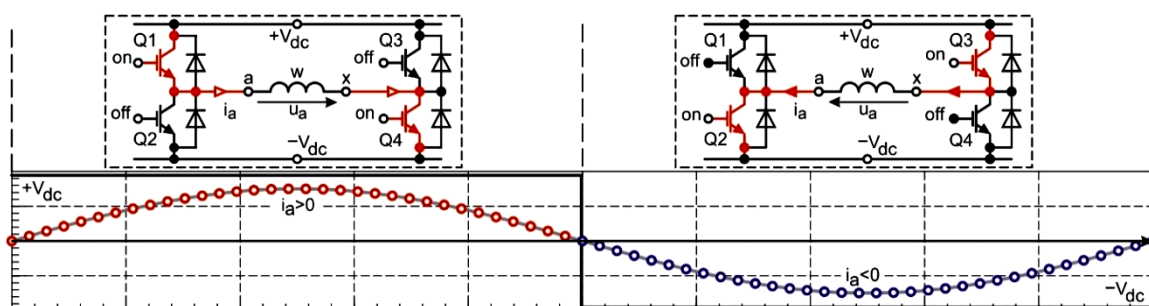


Рис. 5. Переключение состояний сдвоенных полумостовых звеньев инвертора

Алгоритм коммутации ключей должен учитывать текущее время и мгновенные токи обмоток, которые в идеализированном случае сдвинуты по фазе на $\pi/2$. Пример диаграмм мгновенных токов в обмотках индукционной машины с разделением на четыре четверти фазового угла 2π , соответствующего полному обороту на символической плоскости, показан на рис. 6. Ток фазы А зафиксирован с нулевым фазовым углом, а для фазы В угол задан значением 90 эл. град. В каждой четверти показаны эквивалентная схема обмоток ЛИМ с указанием магнитных связей для разомкнутого сердечника.

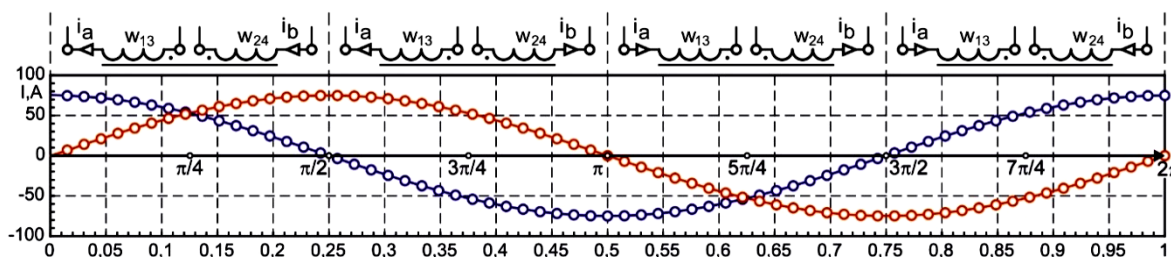


Рис. 6. Диаграммы мгновенных токов в фазах индукционной машины на периоде

При инверсии фазы любого из токов в каждой паре обмоток (13 и 24) индуктора согласно схемам (рис. 6) показано соответствующее изменение направления на четверти периода, требующее учета при формировании стратегии управления ключами [14–16].

Алгоритм управления *IGBT*-модулями в фактически однофазной структуре оказывается существенно проще по сравнению с вариантом питания двухфазной нагрузки от трехфазного трехплечевого силового звена [17]. Нужно заметить, что вариант двухфазной силовой схемы сопряженной с трехфазным мостом при наличии гальванических связей оказывается невыгодным еще и сточки зрения генерации неуравновешенной системы МДС обмоток. Это приводит к необходимости разработки мер противодействия симметричным составляющим обратной последовательности. Так, например, в конструкции четырехзонного индуктора предусмотрена дополнительная обмотка W_4 , в которой за счет инверсии поля исходного тока создается намагничивающая сила F_Y , уравнивающая базовую систему векторов в фазовом пространстве для типовых значений фазового сдвига $\alpha = \pi/2$, как показано на рис. 7. Собственно, поэтому четырехзонная обмотка индукционной машины в двухфазной исполнении оказывается более сбалансированной и создает сравнительно равномерное распределение тяговых усилий в расплаве.

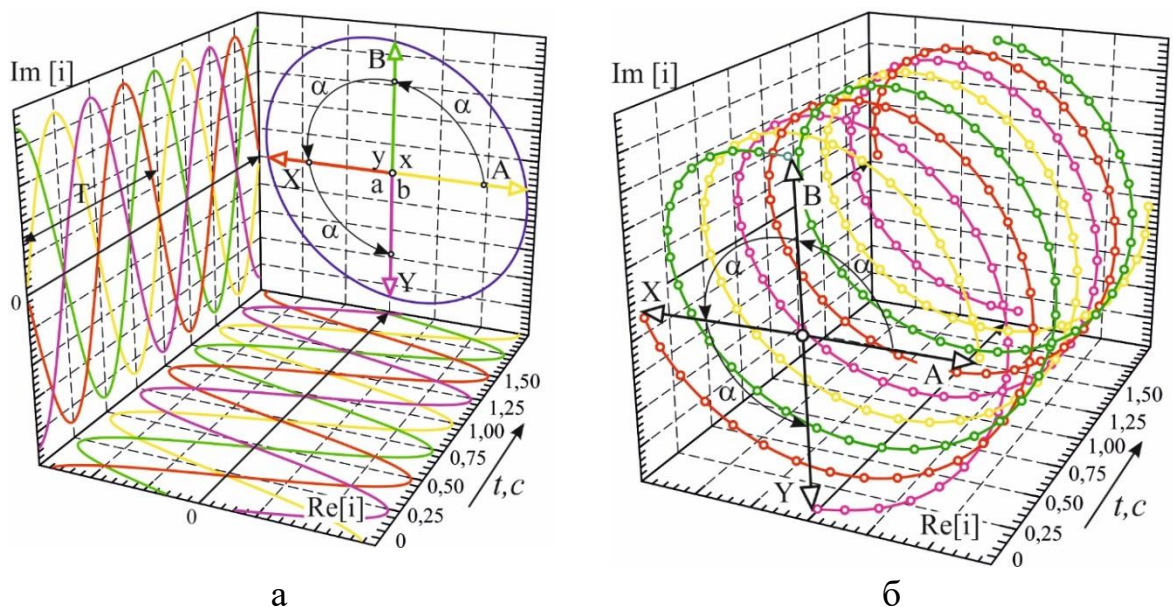


Рис. 7. Векторная диаграмма МДС силовых обмоток МГД-машины:

Предложенное гальваническое разделение фаз посредством применения сдвоенных силовых *IGBT*-полумостов ограничивают негативные последствия в виде искажения системы напряжений источника питания. Конструкционные меры согласования фаз магнитного включения обмоток

четырёхзонного индуктора позволяют получить уравновешенную систему МДС ($F = wi$). Подобным решением даже при искажении поля (для $\alpha < \pi/2$) с учетом взаимного размагничивающего влияния фаз удастся сбалансировать электромагнитный режим и понизить уровень вибраций ЛИМ на рабочей частоте инвертора.

Предложенная структура *IGBT*-инвертора для малополюсной двухфазной линейной индукционной машины позволяет реализовать раздельное управление режимом фаз. Это служит определяющим фактором повышения эффективности симметрирования магнитного поля индуктора с разомкнутым магнитопроводом и повышения тяговой эффективности МГД-машины. Выбор наиболее простой стратегии управления ключами и разомкнутая структура контура управления инвертора обеспечивают невысокую стоимость и надлежащую надежность работы оборудования. Использование четырехзонной конструкции двухфазной машины обеспечивает уравновешенную систему магнитодвижущих сил, также способствующую улучшению симметрии. Результирующую оценку эффективности двухфазного инвертора в сравнении с трехфазным выполняют по результатам математического моделирования электромагнитного поля для обоих решений с учетом гидродинамики расплава алюминия.

Литература

1. Тяпин А. А. Моделирование электромагнитного режима трёхфазных линейных индукционных машин // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2019. № 6. С. 28–37.
2. Tyapin A. A., Kinev E. S. Flat two-phase linear induction MHD machine for metallurgical purposes // American Scientific Journal. New York, USA, 2019. Vol.1. № 27. P. 61–67.
3. Тяпин А. А., Кинев Е. С. Двухфазная линейная индукционная МГД-машина трехзонной конструкции // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2019. № 7. С. 38–48.
4. Tyapin A., Kinev E. The magnetic field of a multi-phase induction device with switching windings from a triangle to a star // Norwegian Journal of development of the International Science. Oslo, 2019. Vol. 1. № 29. P. 45–52.
5. Кинев Е. С., Тяпин А. А. Схемотехника подключения *IGBT*-инвертора к многофазной индукционной машине // САПР и моделирование в современной электронике: сб. науч. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. Брянск: БГТУ, 2018. Ч. 1. С. 208–215. DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e61d557532.76134464.

6. Мещеряков В. Н., Белоусов А. С. Разработка алгоритма управления трехфазным инвертором двухфазного электропривода для снижения числа коммутаций ключевых элементов // Вестник ИГЭУ. 2019. Вып. 3. С. 49–61.

7. Jang D. H. Problems incurred in a vector-controlled single-phase induction motor, and a proposal for a vector-controlled two-phase induction motor as a replacement // IEEE Transactions on Power Electronics. 2013. Vol. 28. № 1. P. 526–536.

8. Tyapin A., Kinev E. Four-zone linear induction MHD machine with power from three-phase IGBT-inverter // Norwegian Journal of development of the International Science. Oslo, 2019. Vol. 1. № 28. P. 48–54.

9. Tyapin A. A., Kinev E. S. Four-zone linear induction machine with two-phase power // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Vienna, 2019. № 3-4. P. 38–44.

10. Abdel-Rahim N. M. B., Shaltout A. An unsymmetrical two-phase induction motor drive with slip-frequency control // IEEE Transactions on energy conversion. 2009. Vol. 24. № 3. P. 608–616.

11. Wilamowski B. M., Irwin J. D. The Industrial Electronics Handbook. Power electronics and motor drives // Taylor and Francis Group, LLC. Boca Raton, London, New York. USA. 2011. P. 974.

12. Williams B. W. Principles and Elements of Power Electronics // Devices, Drivers, Applications and Passive Components. Glasgow. United Kingdom, 2006. P. 1432.

13. Shaffer R. Fundamentals of Power Electronics with MATLAB // Charles River Media, Boston, Massachusetts. USA, 2007. P. 401.

14. Белоусов А. С., Кокорев А. В., Муравьев А. А. Алгоритм управления инвертором двухфазного тока // Современные сложные системы управления. – 2017. – С. 91–96.

15. Jang D. H. PWM methods for two-phase inverters // IEEE industry Applications magazine. 2007. V. 13, № 2. P. 50–61.

16. Bose B. K. Power Electronics and Motor Drives // Advances and Trends. Academic Press is an imprint Elsevier Inc. San Diego, California. USA, 2006. P. 935.

17. Мещеряков В. Н. Анализ инверторов тока и напряжения с системами релейного управления // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2016. № 2. С. 13–18.

УДК 681.513.3

НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

¹Файзуллина Аделя Рафаэлевна, ²Миназов Марсель Рустамович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹adelya-frik@bk.ru, ²marsel02031998@mail.ru

Задачей исследования являются синтез регуляторов для настройки системы стабилизации частоты синхронного генератора (ССЧСГ) на оптимум по модулю (ОМ) и симметричный оптимум (СО) и сравнительный анализ полученных результатов.

Ключевые слова: синхронный генератор, система стабилизации частоты, оптимум по модулю, симметричный оптимум, структурная схема динамической модели, регулятор частоты.

SETTING UP THE STABILIZATION SYSTEM THE FREQUENCY OF THE SYNCHRONOUS GENERATOR

¹Faizullina Adelya Rafaelevna, ²Minasov Marsel Rustamovich

KSPEU, Kazan

¹adelya-frik@bk.ru, ²marsel02031998@mail.ru

The aim of the study is to synthesize regulators for tuning the frequency stabilization system of the synchronous generator (SSCHSG) to the optimum modulo (OHMS) and symmetric optimum (CO), and a comparative analysis of the results obtained.

Keywords: synchronous generator, frequency stabilization system, module optimum, symmetric optimum, block diagram of dynamic model, frequency regulator.

Задающим воздействием ССЧСГ, показанной на рис. 1, является номинальное значение частоты f_0 , выходной координатой – фактическая частота синхронного генератора $f_{сг}$, а возмущающими воздействиями – отклонение напряжения на якоре $\Delta u_{я}$ и момент нагрузки $M_{н}$. Отклонение частоты от номинального значения $\Delta f = f_0 - f_{сг}$ является ошибкой системы.

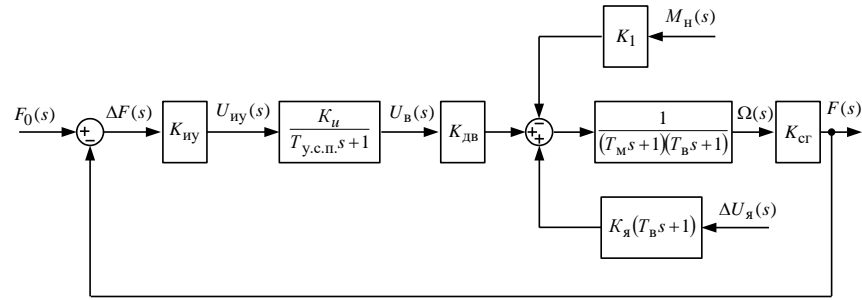


Рис. 1. ССДМ системы стабилизации частоты синхронного генератора:
 $K_{ИУ} = 5 \text{ В/Гц}$; $K_u = 4,22$; $T_{у.с.п.} = 0,0125 \text{ с}$; $K_{ДВ} = 1,706 \text{ рад/В}\cdot\text{с}$; $T_M = 0,4 \text{ с}$; $T_B = 0,02 \text{ с}$;
 $K_{сг} = 0,48 \text{ Гц}\cdot\text{с/рад}$; $K_1 = 10 \text{ 1/Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$; $K_я = 227 \text{ рад/В}\cdot\text{с}$; $M_H = 0,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $f_0 = 500 \text{ Гц}$;
 $\Delta U_я = 2 \text{ В}$

С целью определения структуры регулятора для настройки ССЧСГ на ОМ необходимо рассчитать передаточную функцию разомкнутой ССЧСГ с учётом включенного последовательно с усилителем регулятора частоты и сопоставить полученное выражение с известной передаточной функцией контура, настроенного на ОМ [1]:

$$W_{рч}(s) \frac{K_{ИУ} K_u K_{ДВ} K_{сг}}{(T_{у.с.п.}s + 1)(T_M s + 1)(T_B s + 1)} = \frac{1}{2T_{\Sigma} s (T_{\Sigma} s + 1)},$$

где $T_{\Sigma} = T_{у.с.п.} + T_B$ – суммарная малая постоянная времени.

Тогда передаточная функция регулятора частоты

$$W_{рч}(s) \approx \frac{T_M s + 1}{2K_{ИУ} K_u K_{ДВ} K_{сг} T_{\Sigma} s} = \frac{0,4s + 1}{1,123s}.$$

Полученное выражение соответствует передаточной функции ПИ-регулятора. ССДМ системы стабилизации частоты синхронного генератора, настроенной на ОМ, представлена на рис. 2.

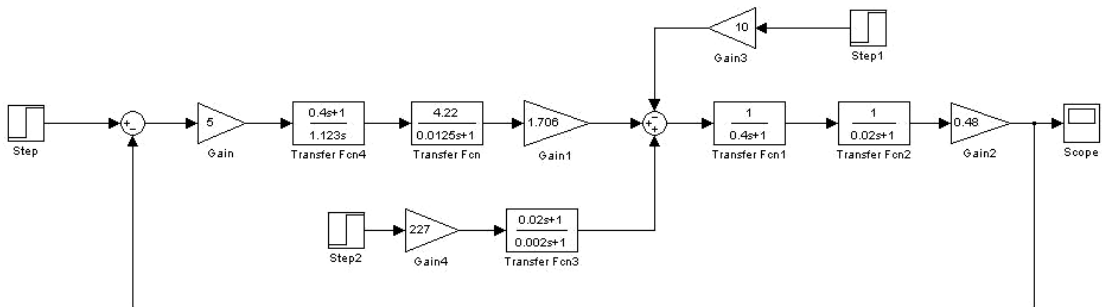


Рис. 2. ССДМ ССЧСГ, настроенной на ОМ

Полученные в результате моделирования переходные характеристики показаны на рис. 3–5.

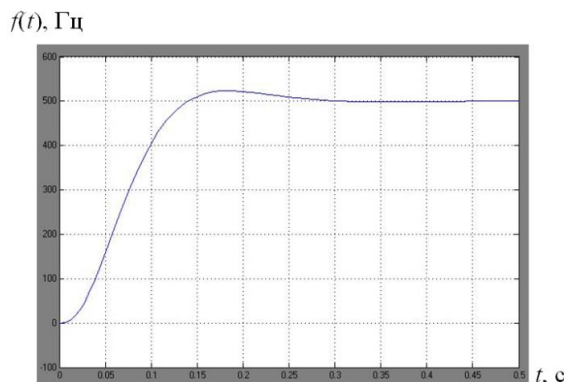


Рис. 3. Переходная характеристика ССЧСГ по задающему воздействию f_0

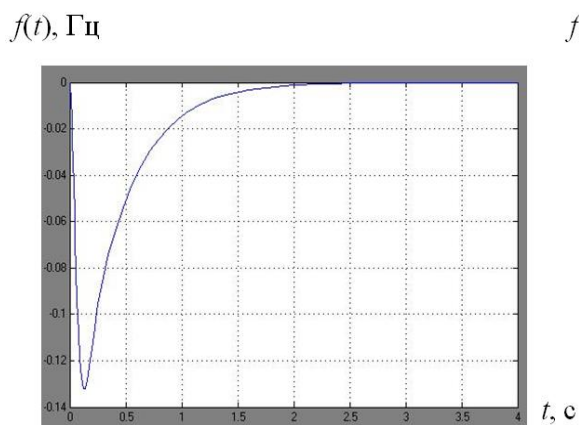


Рис. 4. Переходная характеристика ССЧСГ по моменту нагрузки M_H

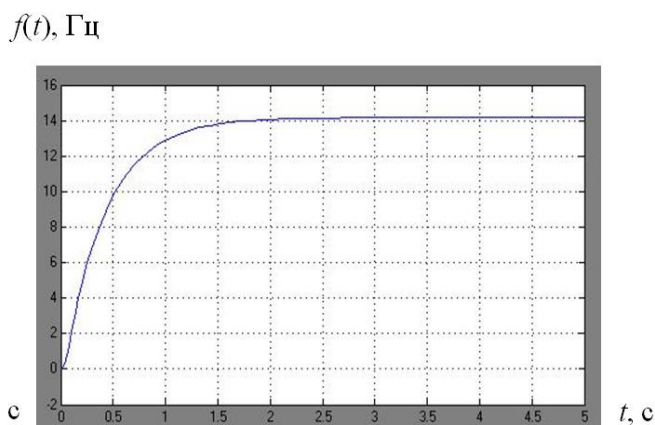


Рис. 5. Переходная характеристика ССЧСГ при обработке линейно возрастающего напряжения на якоре $\Delta\dot{U}_{я}t$

По переходной характеристике ССЧСГ по задающему воздействию f_0 (рис. 3) рассчитывается перерегулирование $\sigma = 4,6\%$. Время нарастания t_H составляет $0,14$ с и соответствует расчетному $t_H \cong 4,7T_{\Sigma} = 0,15$ с.

Из анализа переходной характеристики ССЧСГ по моменту нагрузки M_H (рис. 4) следует, что при воздействии неизменного по величине момента нагрузки M_H моментная составляющая ошибки $\Delta f_{ст}^M$ примерно через 2 с становится равной нулю. Увеличение точности обусловлено наличием в структуре регулятора частоты интегральной составляющей.

Однако при воздействии на систему линейно возрастающего напряжения на якоре $\Delta\dot{U}_{я}t$ появляется ошибка регулирования $\Delta f_{ст}^{\Delta u} = 14,16$ Гц (рис. 5).

Расчетное значение ошибки регулирования совпадает с результатами моделирования:

$$\Delta f_{\text{CT}}^{\Delta u} = \lim_{s \rightarrow 0} s \Phi_{\Delta f}^{\Delta u}(s) \frac{\Delta \dot{U}_{\text{я}}}{s^2} = -14,16 \text{ Гц.}$$

Передаточная функция разомкнутой ССЧСГ с учётом компенсации:

$$W(s) = \frac{1}{2T_{\Sigma} (T_{\text{у.с.п.}} s + 1) (T_{\text{в}} s + 1) s}.$$

Графики ЛЧХ разомкнутой ССЧСГ с учётом компенсации, построенные в программе MatLab, представлены на рис. 6.

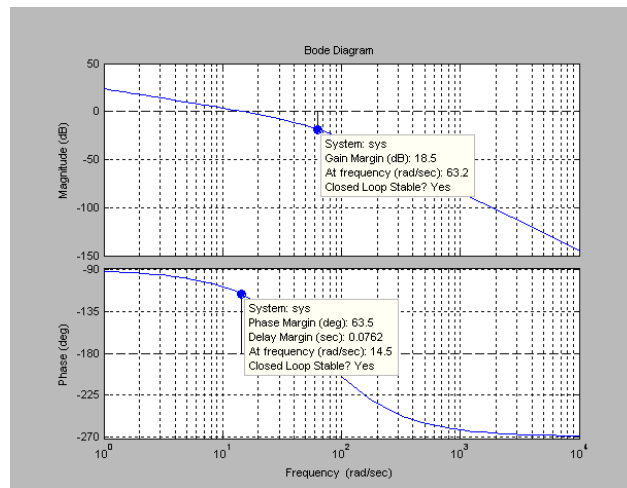


Рис. 6. ЛЧХ ССЧСГ, настроенной на ОМ

Запасы устойчивости по фазе и амплитуде составляют $\theta_3 = 63,5^\circ$ и $L_3 = 18,5$ дБ соответственно.

Результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что настроенная на ОМ ССЧСГ при обработке линейно возрастающего воздействия по цепи якоря имеет значительную величину погрешности. Для её устранения необходимо повысить порядок астатизма системы, применив настройку на СО.

Для определения структуры регулятора для настройки ССЧСГ на СО необходимо рассчитать передаточную функцию разомкнутой ССЧСГ с учётом включенного последовательно с усилителем регулятора частоты и сопоставить полученное выражение с известной передаточной функцией контура, настроенного на СО [1]:

$$W_{\text{рч}}(s) \frac{K_{\text{иу}} K_u K_{\text{дв}} K_{\text{сг}}}{(T_{\text{у.с.п.}} s + 1)(T_M s + 1)(T_B s + 1)} = \frac{(4T_{\Sigma} s + 1)}{8T_{\Sigma}^2 s^2 (T_{\Sigma} s + 1)},$$

где $T_{\Sigma} = T_{\text{у.с.п.}} + T_B$ – суммарная малая постоянная времени.

Тогда передаточная функция регулятора запишется как:

$$W_{\text{рч}}(s) = \frac{(T_M s + 1)(4T_{\Sigma} s + 1)}{8T_{\Sigma}^2 K_{\text{иу}} K_u K_{\text{дв}} K_{\text{сг}} s^2}.$$

Из полученного выражения следует, что структура регулятора частоты представляет собой последовательное соединение двух ПИ-регуляторов. ССДМ системы стабилизации частоты синхронного генератора, настроенной на СО, представлена на рис. 7.

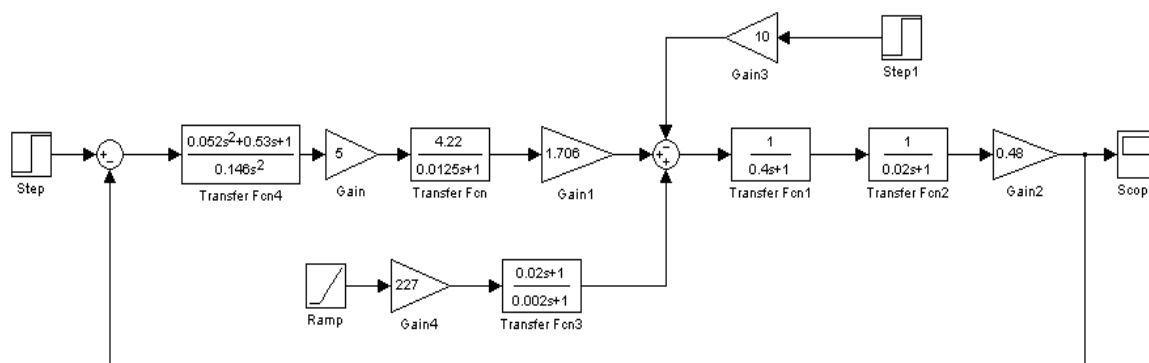


Рис. 7. ССДМ системы стабилизации частоты синхронного генератора, настроенной на СО

В результате моделирования получены: график переходной характеристики ССЧСГ при отработке задающего воздействия $f_0 = 500$ Гц (рис. 8), график переходной характеристики ССЧСГ при отработке линейно возрастающего напряжения на якоре $\Delta \dot{U}_y = 2$ В/с (рис. 9) и графики ЛЧХ (рис. 10).

Как видно из анализа графика переходной характеристики ССЧСГ при отработке задающего воздействия (рис. 8), появление в структуре ССЧСГ, настроенной на СО, дополнительного интегрирующего звена по сравнению с ССЧСГ, настроенной на ОМ, увеличило перерегулирование $\sigma = 46\%$ и уменьшило время нарастания до величины $t_H^{\text{КС}} = 0,1$ с, соответствующей расчётному значению $t_H^{\text{КС}} \cong 3,1T_{\Sigma} = 0,1$ с.

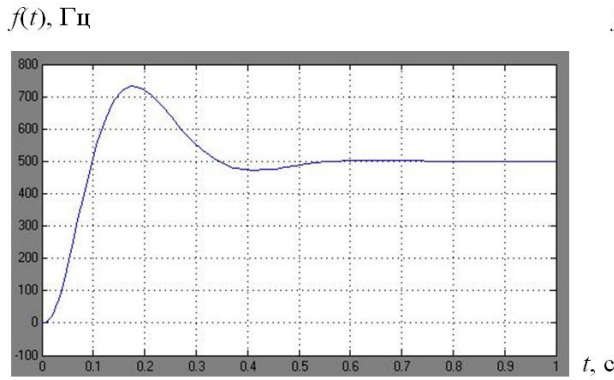


Рис. 8. Переходная характеристика ССЧСГ по задающему воздействию f_0

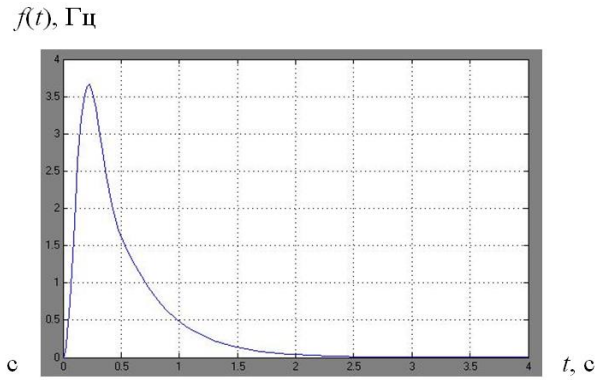


Рис. 9. Переходная характеристика ССЧСГ при обработке линейно возрастающего напряжения на якоре $\Delta U_{\text{я}} t$

Из графика переходной характеристики ССЧСГ при обработке линейно возрастающего напряжения на якоре $\Delta U_{\text{я}} t$ (рис. 9) видно, что за время 2,5 с составляющая ошибки становится равной нулю. Это свидетельствует о том, что система, настроенная на СО, стала точнее, чем система, настроенная на ОМ.

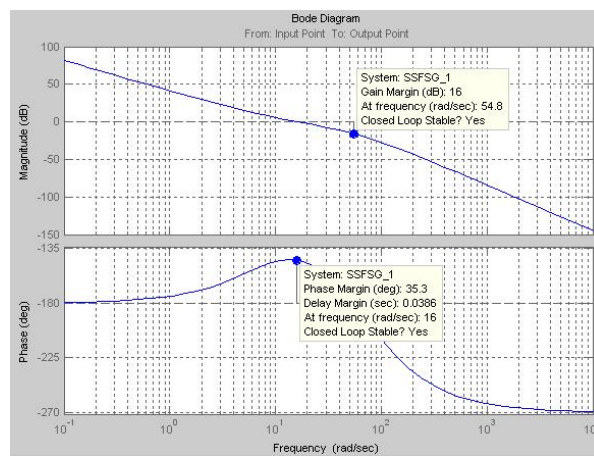


Рис. 10. ЛЧХ ССЧСГ, настроенной на симметричный оптимум

Запасы устойчивости по фазе $\theta_3 = 35,3^\circ$ и амплитуде $L_3 = 16$ дБ, полученные на основе анализа графика ЛЧХ ССЧСГ (рис. 10), подтверждают правильность расчёта параметров регулятора частоты.

Литература

1. Бутаков В. М., Гаязов Р. Р., Самигуллин Р. Р. Применение стандартных настроек в электроприводе постоянного тока // Сб. науч. тр. по итогам междуна. науч.-практ. конф. Томск, 2018. № 3. С. 35–39.

УДК 621.314

СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ИМПУЛЬСНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

¹Хисматуллин Азат Салаватович, ²Васильев Игорь Сергеевич,
³Ишмуратов Рамиль Шамилович, ⁴Аюпов Руслан Инсафович

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате, г. Салават

¹Hism5az@mail.ru, ²igor_vasilev_1999_goga@mail.ru, ³contraramilor@mail.ru,
⁴aiupoff.ruslan2013@gmail.com

В наше время импульсные трансформаторы являются распространенными электрическими приборами. Это связано с тем, что они просты в изготовлении и имеют высокие показатели КПД. Однако при работе в технологическом режиме импульсные трансформаторы выделяют большое количество тепла, которое влечет за собой ухудшение его работы и уменьшение срока службы устройства. О том, как не допустить избыточного выделения тепла в импульсных трансформаторах, пойдет речь в данной статье.

Ключевые слова: импульсные трансформаторы, тепловые потери, масляное охлаждение, транцилляторное охлаждение, циркуляция, барботаж, элегаз.

WAYS TO REDUCE THERMAL LOSSES IN PULSE TRANSFORMERS

¹Khismatullin Azat Salavatovich, ²Vasiliev Igor Sergeevich,
³Ishmuratov Ramil Shamilovich, ⁴Ayupov Ruslan Insafovich

Branch of USPTU in Salavat, Salavat

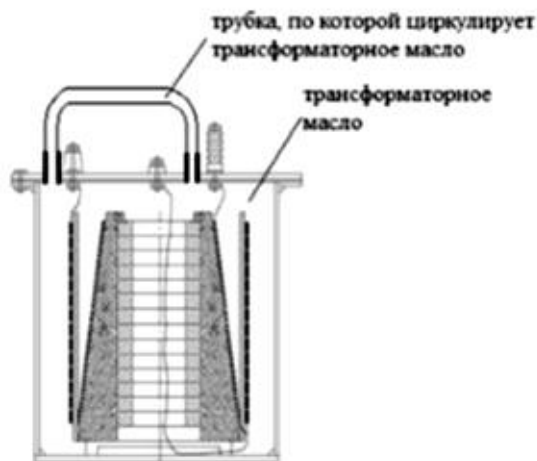
¹Hism5az@mail.ru, ²igor_vasilev_1999_goga@mail.ru, ³contraramilor@mail.ru,
⁴aiupoff.ruslan2013@gmail.com

Nowadays, pulse transformers are common electrical devices. This is due to the fact that they are easy to manufacture and have high efficiency indicators. However, when operating in technological mode, pulse transformers emit a large amount of heat, which entails a deterioration in its operation and a decrease in the life of the device. This article will discuss how to prevent excessive heat generation in pulse transformers.

Key words: pulse transformers, heat losses, oil cooling, transcollator cooling, circulation, bubbling, SF_6 gas.

В наше время импульсные трансформаторы приобрели широкую распространенность. За счет простоты и высокого КПД они нашли свое применение в бытовых приборах и различных производственных установках [1]. Однако стоит отметить, что работа ИТ на производстве заметно отличается от бытового использования. Для того, чтобы она была оптимальной, требуется создание дополнительных условий, которые, в свою очередь, способствуют сокращению энергетических потерь. Во время технологического использования ИТ из-за постоянной нагрузки на трансформаторе начинает выделяться тепло, которое снижает его КПД, пагубно влияет на срок службы. Проблема уменьшения тепловых потерь в импульсных трансформаторах в наше время очень актуальна и требует активных исследований.

На данный момент существует множество способов, которые позволяют уменьшить выделение тепла в ИТ [2–13]. Некоторые из них можно узнать из статьи «Исследование теплового режима импульсного трансформатора в технологическом режиме электроимпульсного разрушения», авторами которой являются А. Ф. Усов, А. С. Потокин, Д. В. Ильин. В ней описываются различные способы охлаждения импульсных трансформаторов, однако самым действенным среди них является естественное масляное охлаждение (см. рисунок).



Импульсный трансформатор с естественной циркуляцией масла

Суть их метода основывается на тепловом расширении трансформаторного масла и дальнейшем его охлаждении, в результате его циркуляции по отводной трубе. Также для обеспечения наилучшего теплообмена авторы предлагают использовать радиаторы и насосы.

Данный способ позволит быстро охлаждать трансформаторное масло, так как радиаторы способствуют лучшему теплообмену, а насосы ускоряют циркуляцию трансформаторного масла и позволяют ему пройти больший путь по трубкам, которые находятся в радиаторе.

Рассмотренный ранее способ охлаждения по-своему хорош. Однако его можно модернизировать, используя установку для трансцилляторного масляного охлаждения, описанную в патенте № 2018117055. Суть данной установки заключается в том, что в ней используется барботаж масла элегазом, который подается в масляный бак специальными компрессорами. Движение элегазовых пузырьков вызывает циркуляцию масла, вследствие которой происходит равномерный нагрев трансформаторного масла от трансформатора. Проходя через масляную среду, элегаз проходит стадии очистки и охлаждения. Затем он вновь возвращается в емкость, из которой компрессоры производят его подачу в бак с маслом. Также данная установка снабжена датчиком температуры, с помощью которого на управляющее устройство поступают данные о выделяющемся тепле с обмоток трансформатора. Данные с датчика температуры позволяют определить оптимальный режим работы компрессоров и элегазовых охладителей. Для исключения взрыва трансформатора вследствие превышения допустимого давления в установке для трансцилляторного охлаждения используется сигнализатор уровня, который также, как и датчик температуры, управляет работой компрессоров, подавая сигнал на управляющее устройство и отключая подачу элегаза в бак.

В наше время проблема уменьшения тепловых потерь в импульсных силовых трансформаторах активно решается. Все её решения сводятся к созданию оптимальных условий для работы трансформатора. Основным способом охлаждения трансформаторов, используемых в промышленности, является масляное. И поэтому для получения высоких показателей КПД и меньшего нагрева обмоток трансформатора следует использовать средства для охлаждения трансформаторного масла.

Таким образом, для уменьшения тепловых потерь в импульсных трансформаторах очень выгодно использовать масляное охлаждение, а также различные радиаторы, теплоотводные трубки, элегаз и компрессоры. Все это обеспечит наилучшие условия для циркуляции трансформаторного масла, его охлаждения и уменьшения температуры на обмотках трансформатора.

Литература

1. Bashirov M. G., Minlibayev M. R., Hismatullin A. S. Increase of efficiency of cooling of the power oil transformers // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2014. № 2. С. 358–367.
2. Ershov M. A., Baranov D. A., Mullakaev M. S., Abramov V. O. Reducing viscosity of paraffinic oils in ultrasonic field // Chemical and Petroleum Engineering. 2011. Vol. 47. № 7-8. P. 457–461.
3. Mullakaev M. S. Ultrasonic intensification of the processes of enhanced oil recovery, processing of crude oil and oil sludge, purification of oil-contaminated water. Moscow, 2018.
4. Абрамов О. В., Абрамов В. О., Муллакаев М. С., Артемьев В. В. Анализ эффективности передачи ультразвуковых колебаний в нагрузку // Акустический журнал. 2009. Т. 55. № 6. С. 828–844.
5. Баширов М. Г., Хисматуллин А. С., Хуснутдинова И. Г. Применение барботажа в системе охлаждения силовых трансформаторов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2014. № 3. С. 29–32.
6. Баширов М. Г., Хисматуллин А. С., Прахов И. В. Повышение надежности и безопасности эксплуатации силовых маслонаполненных трансформаторов // Безопасность в техносфере. 2018. Т. 7. № 2. С. 15–21.
7. Баширов М. Г., Прахов И. В., Хисматуллин А. С., Хуснутдинова И. Г. Совершенствование методов оценки технического состояния силовых трансформаторов // Промышленная энергетика. 2018. № 7. С. 2–10.
8. Кривоконева О. О., Кудояров Р. И., Мавлекаев Е. Ю., Коныс Е. М., Прахов И. В., Хисматуллин А. С. Продление ресурса масляных трансформаторов с длительным сроком эксплуатации // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2017. Т. 17. № 3. С. 60–66.
9. Филиппов А. И., Хисматуллин А. С., Мухаметзянов Э. В., Леонтьев А. И. Тепловой трансциллятор бегущей волны // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Естественные науки. 2011. № 1 (40). С. 78–86.
10. Хисматуллин А. С., Баширов М. Г., Солдатова Е. Г., Мавлекаев Е. Ю. Повышение эффективности охлаждения маслонаполненных трансформаторов // Научно-технические ведомости СПбПУ. Серия: Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 1. С. 38–49.

11. Хисматуллин А. С., Гареев И. М. Исследование переноса интегрального параметра в жидкости с газовыми пузырьками // Экологические системы и приборы. 2015. № 7. С. 38–42.

12. Усов А. Ф., Потокин А. С., Ильин Д. В. Исследование теплового режима импульсного трансформатора в технологическом режиме электроимпульсного разрушения // Труды Кольского научного центра РАН. 2015. № 8 (34). С. 46–54.

13. Баширов М. Г., Хисматуллин А. С., Сиротина Е. В. Установка для трансцилляторного охлаждения масляного трансформатора элегазом. Патент РФ №2018117055. 2018. Бюл. № 26.

УДК 620.179.14

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

¹Хуснутдинова Ильвина Гамировна, ²Артемьев Виктор Сергеевич

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате, г. Салават

¹ilvina011@mail.ru, ²shamin.vitia@yandex.ru, ³eapp@yandex.ru

Проведены исследования, направленные на совместное применение электромагнитно-акустического эффекта и математических моделей динамики напряженно-деформированного состояния металла электроэнергетического оборудования, что позволило бы существенно повысить безопасность данных объектов.

Ключевые слова: электроэнергетическое оборудование, дефекты металла, акустические волны, передаточная функция.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR REALIZATION OF METHOD OF ESTIMATION OF TECHNICAL CONDITION OF ELECTRIC POWER EQUIPMENT

¹Khusnutdinova Ilvina Gamirovna, ²Artemyev Victor Sergeevich

Branch of USPTU in Salavat, Salavat

¹ilvina011@mail.ru ²shamin.vitia@yandex.ru, ³eapp@yandex.ru

The research is aimed at the joint application of the electromagnetic-acoustic effect and mathematical models of the dynamics of the stress-strain state of the metal of electric power equipment, which would significantly improve the safety of these objects.

Keywords: electric power equipment, metal defects, acoustic waves, transfer function.

Проблема аварийности на объектах электросетевого хозяйства остается актуальной. Основным электроэнергетическим оборудованием, подверженным высоким механическим напряжениям, являются турбогенераторы. Длительная эксплуатация турбогенератора в напряженных условиях воздействия циклических нагрузок приводит к повреждениям из-за усталости металла. Причины обусловлены тем, что под действием температурных и механических напряжений в структуре металла происходят изменения: движение атомов кристаллической решетки, впоследствии перерастающее в трещины, приводящие к разрушению металла. В основном эти причины сказываются в виде дефектов рабочих лопаток, таких как обрыв, эрозионный износ, коррозионные повреждения. Возникающие в металлических конструктивных элементах генератора дефекты приводят к выходу генератора из строя и недопроизводке электрической энергии, порядка 2278 ГВт в сутки, что составляет 48,4 % от общей недопроизводки [1].

Применяемые в настоящее время методы оценки технического состояния технологических трубопроводов, основанные на идентификации параметров уже развившихся дефектов (трещины, поры, раковины, различные коррозионные поражения металла и др.), непригодны при наличии дефектов на ранних стадиях их развития, когда в структуре металла начинают происходить процессы деградации металла [2–4].

В последние годы уделяется значительное внимание разработке и применению неразрушающих методов оценки технического состояния изделий, основанные на электромагнитно-акустическом (ЭМА) эффекте, которые позволяют генерировать в объекте контроля акустические волны и считывать информацию о его техническом состоянии. При этом используются лишь некоторые параметры акустических волн, например: приращение времени их распространения, значения амплитуды и фазы, отношение времени распространения поперечных и продольных волн [5].

На основе разработанного программного обеспечения по обработке информативных параметров ЭМА сигнала, усовершенствован метод оценки технического состояния и прогнозирования ресурса энергетического оборудования с использованием ЭМА преобразователя.

В качестве интегрального параметра, отражающего совокупность электрических, магнитных, акустических и механических свойств

металла, характеризующих его эксплуатационные свойства, предложено использовать его передаточную функцию, получаемую с использованием электромагнитно-акустического эффекта. Изменения в структуре металла, зарождение и развитие повреждений вызывают изменение параметров его передаточной функции, поэтому анализ параметров передаточной функции позволяет идентифицировать эти изменения, оценить техническое состояние и ресурс безопасной эксплуатации электрооборудования [6, 7].

На рис. 1 представлена структурная схема системы оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) энергетического оборудования.

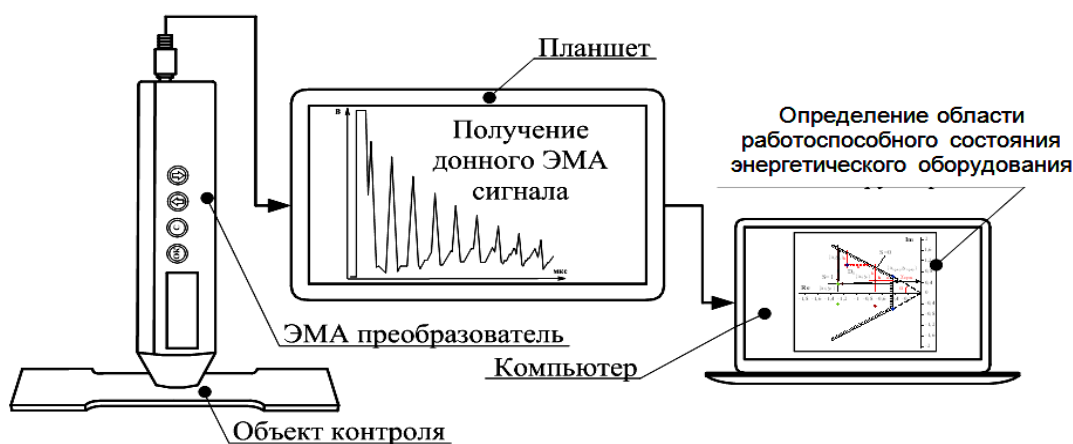


Рис. 1. Структурная схема системы оценки НДС энергетического оборудования

На рис. 2 представлен сигнал ЭМА преобразователя, прошедший через согласованный фильтр.

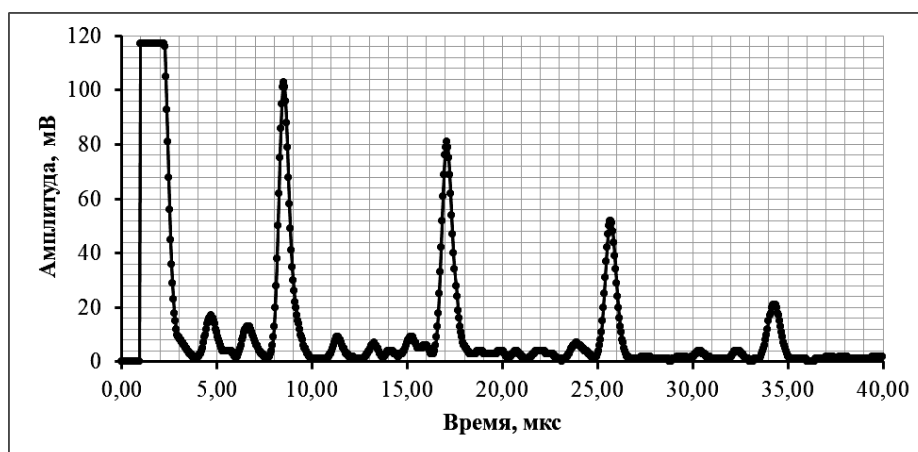


Рис. 2. Временная развертка ЭМА сигнала (зондирующий и донные сигналы после прохождения согласованного фильтра)

На рис. 3 приведен результат расчета программы для марки стали 09Г2С при растягивающем усилии 245,2 МПа.

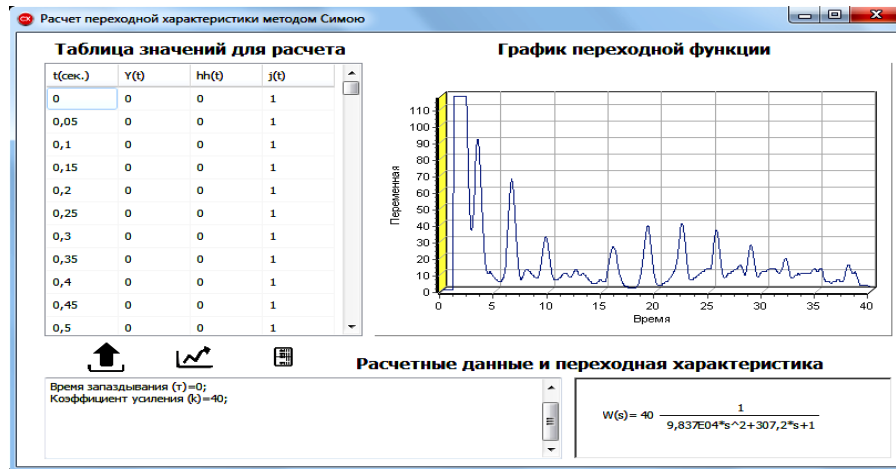


Рис. 3. Результат расчета программы для марки стали 09Г2С (определение передаточной функции)

Литература

1. Министерство энергетики Российской Федерации: Статистика [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/activity/statistic> (дата обращения 01.05.2017).
2. Баширов М. Г., Хуснутдинова И. Г., Хафизов А. М. Метод оценки состояния металлических конструктивных элементов электроэнергетического оборудования // Федоровские чтения: матер. XLIV Междунар. науч.-практ. конф. 2014. С. 113–115.
3. Баширов М. Г. Обеспечение безопасности эксплуатации и оценка ресурса оборудования для переработки нефти электромагнитными методами диагностики: дис. ... д-ра. техн. наук. Уфа, 2002. 364 с.
4. Баширов М. Г., Хуснутдинова И. Г. Разработка электромагнитно-акустического метода диагностики электроэнергетического оборудования // Наука. Технология. Производство – 2014: тезисы докл. Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. 2014. С. 68–70.
5. Баширова Э. М., Хуснутдинова И. Г. Метод оценки напряженно-деформированного состояния металлических конструктивных элементов // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – 2014: матер. Междунар. науч.-методич. конф. 2014. С. 217–219.
6. Усманов Д. Р., Хуснутдинова И. Г. Разработка электромагнитно-акустического метода оценки состояния металлических конструктивных элементов электроэнергетического оборудования // Наука. Технология. Производство – 2015: тезисы докл. Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. 2015. С. 56–58.

7. 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.

УДК 621.38

ПРИМЕНЕНИЕ ИНВЕРТОРОВ НА ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ ПРИ РЕКУПЕРАТИВНОМ ТОРМОЖЕНИИ

¹Черепенькин Иван Вячеславович, ²Катеев Сергей Эдуардович,

³Хизбуллин Роберт Накибович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹iwan.tcherepenkin@yandex.ru

В последние восемь лет рекуперативному торможению уделяется особое внимание, о чем говорит повышение объемов возврата электроэнергии. По состоянию на 2015 г. объем рекуперации достиг 1,96 млрд кВт·ч. За 2019 г. объем рекуперативного торможения по сети железных дорог значительно повысился и достиг показателя 2,435 млрд кВт·ч, что составляет порядка 6 % от расхода на тягу поездов. Такому росту объемов рекуперации способствует огромный ряд разработанных и успешно применяемых мероприятий и программ, в том числе и использование инверторов на электроподвижном составе. При этом результаты мониторинга совершенных поездок, проводимые по ряду дорог, говорят о том, что имеется значительный потенциал повышения объемов энергии рекуперативного торможения.

Ключевые слова: электрический транспорт, рекуперация, рекуперативное торможение, инвертор, энергия рекуперации, электроподвижной состав, тяговая подстанция, мостовая схема.

APPLICATION OF INVERTERS ON ELECTRIC ROLLING STOCK AT REGENERATIVE BRAKING

¹Cherepenkin Ivan Vaycheslavovich, ²Kateev Sergey Eduardovich,

³Khizbullin Robert Nakibovich

KSPEU, Kazan

¹iwan.tcherepenkin@yandex.ru

In the last eight years, regenerative braking has received special attention, as evidenced by the increase in the volume of electricity return. As of 2015, the volume of recovery reached 1.96 billion kWh. For 2019, the volume of regenerative braking on the railway network has increased significantly and reached the figure-2.435 billion kWh, which

is about 6% of the consumption for traction trains. Such an increase in the volume of recovery contributes to a huge number of developed and successfully applied measures and programs, including the use of inverters on electric rolling stock. At the same time, the results of monitoring of trips made on a number of roads indicate that there is a significant potential to increase the amount of regenerative braking energy.

Keywords: electric transport, recuperation, regenerative braking, inverter, recuperation energy, electric rolling stock, traction substation, bridge circuit.

Основными факторами, препятствующими увеличению объема рекуперированной энергии, являются случаи отсутствия приемников энергии рекуперации, недостаточное использование резервов технологии вождения электроподвижного состава, отсутствие условий применения рекуперации в системе тягового электроснабжения, несовершенство в организации движения поездов, неполадки в системе рекуперации в пути следования.

Повышение эффективности рекуперативного торможения достаточно актуальная тема на сегодняшний день. Рассмотрим один из основных методов повышения эффективности рекуперативного торможения путем применения инверторов на электроподвижном составе.

Первые теоретические работы в данной тематике были проведены Чернышевым А.М. Под его непосредственным руководством были созданы первые инверторные агрегаты, которым впервые нашлось применение в 1952–1953 гг. на Свердловской железной дороге. Первые установки выполнялись на ртутных приборах. Использовалась нулевая схема: две обратные звезды в совокупности с уравнительным реактором. В процессе эксплуатации обнаружилось, что ртутные приборы не обеспечивали устойчивой и надежной работы. В связи с этим произошел переход на полупроводниковые приборы. Это позволило создать инверторные агрегаты, отличающиеся достаточной надежностью и качеством работы. Тиристорные инверторы выполняются по трехфазной мостовой схеме. Первые тиристорные инверторы для тяговых подстанций были созданы под руководством Соколова С.Д. в 70-х гг. [3]

На тяговой подстанции инвертор подключается к общим шинам параллельно с выпрямительными агрегатами (рис. 1).

Угол опережения β инвертора устанавливается таким, при котором напряжения холостого хода выпрямителя ($U_{ХХ.В}$) и инвертора ($U_{ХХ.И}$) будут равны:

$$\frac{3\sqrt{6}E_{2B}}{\pi} = \frac{3\sqrt{6}E_{2И}}{\pi} \cos\beta = U_{XX.B} = U_{XX.И}. \quad (1)$$

Из соотношения (1) следует:

$$E_{2И} = E_{2B} \frac{1}{\cos\beta}, \quad (2)$$

где $E_{2И}$, E_{2B} – эффективные значения фазных напряжений холостого хода соответственно инвертора и выпрямителя.

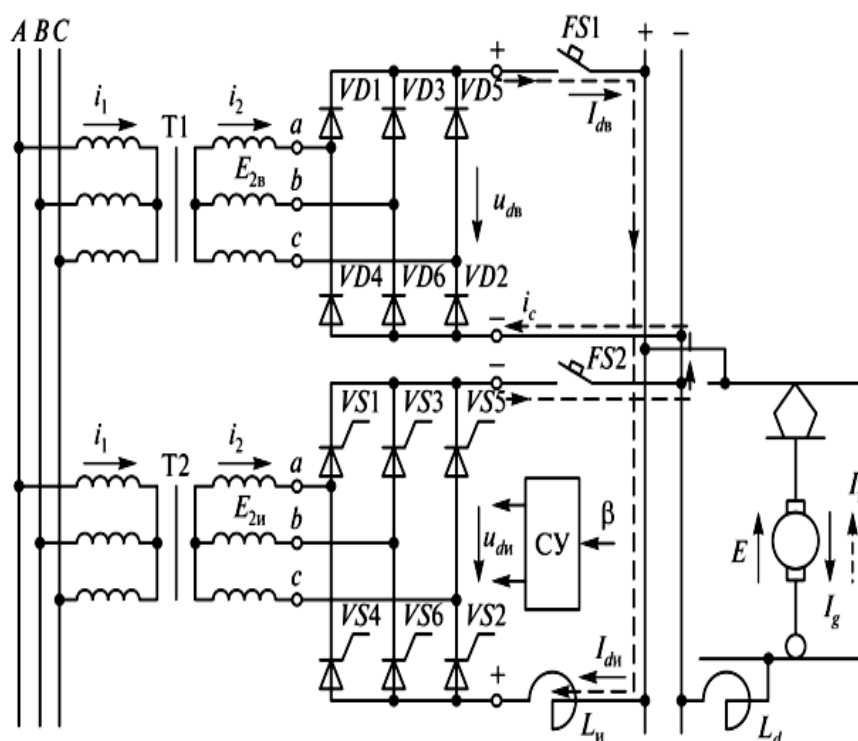


Рис. 1. Схема параллельного включения выпрямителя и инвертора

Неравенство вторичных напряжений $U_{2И}$ и U_{2B} при параллельном подключении вызывает протекание пульсирующего циркуляционного уравнительного тока, в связи с действием разности мгновенных значений электродвижущих сил выпрямителя u_{dB} и инвертора $u_{дИ}$ (рис. 2).

При положительном значении разности $u_{dB} - u_{дИ}$, ток циркуляции I_C нарастает, а при отрицательной спадает. Скорость нарастания тока $\frac{di}{dwt}$ ограничивается суммарной индуктивностью контура циркуляционного тока:

$$L_C = L_{И} + 2L_{ТВ} + 2L_{ТИ}, \quad (3)$$

где $L_{И}$, $L_{ТВ}$, $L_{ТИ}$ – соответственно индуктивности инверторного реактора, обмоток выпрямительного и инверторного трансформаторов.

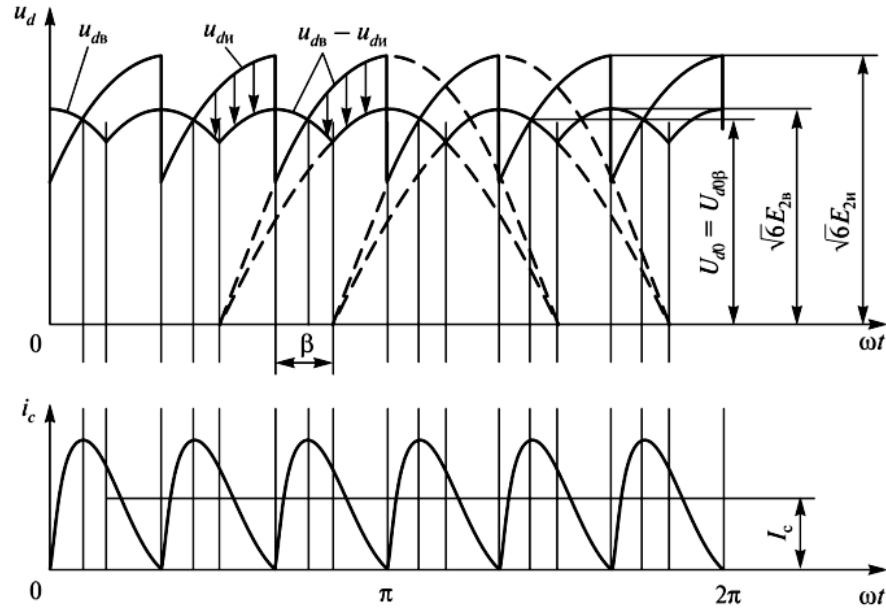


Рис. 2. Кривые циркуляционного тока, протекающего между выпрямителем и инвертором

Среднее значение тока I_C зависит от индуктивности L_C . Так как индуктивности трансформаторов достаточно малы, то ограничение циркулирующего тока происходит за счет включения специального реактора инвертора.

Так как напряжение холостого хода инвертора должно быть выше, либо равным, напряжению холостого хода выпрямителя, то число витков вторичной обмотки преобразовательного трансформатора инвертора принимается на 20–25 % больше, чем для выпрямительного трансформатора. Вместо этого может использоваться специальный вольт-добавочный трансформатор [3]. В результате рационального управления инвертором с помощью быстродействующих регуляторов возможно достаточно большое снижение уравнивающих токов, путем снятия сигналов управления с инвертора в двигательном режиме (потребления тока $I_{dВ}$) (рис. 1).

Ток выпрямителей протекает от положительной шины в контактную сеть, а ток инвертора в противоположном направлении – из контактной сети к положительной шине. Поэтому построение внешних характеристик выпрямителя и инвертора лучше осуществлять в двух первых квадрантах (рис. 3).

При холостом ходе выпрямителя напряжение на шинах подстанции $U_{jq} > U_{dli} = 3300$ В на величину коммутационной потери напряжения U' .

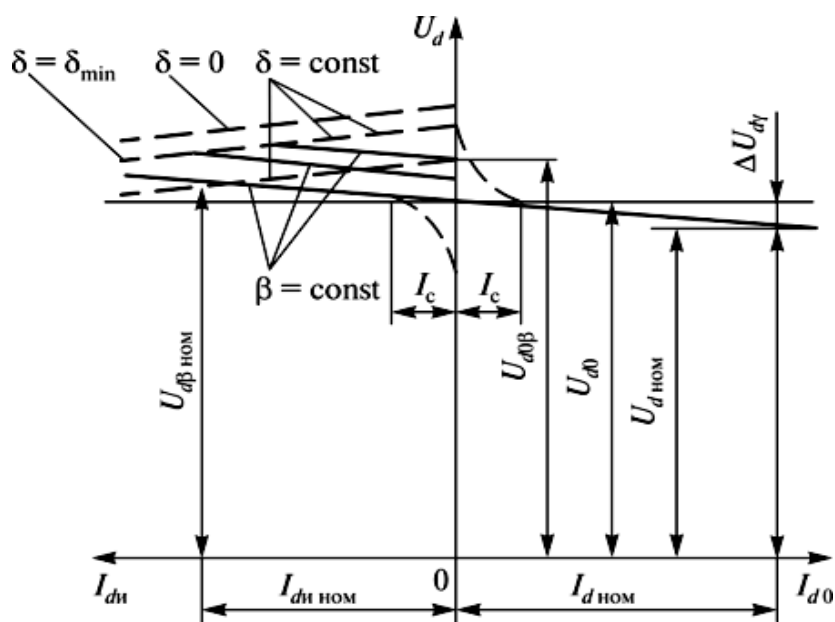


Рис. 3. Внешние характеристики инвертора и выпрямителя

Переход тяговой подстанции в режим приема избыточной энергии рекуперации происходит с повышением напряжения холостого хода, которое не должно превышать допустимого максимального значения (3800 В). При достижении такой величины напряжения на инвертор подается сигнал управления с регулированием постоянства угла $\delta > \delta_{\min}$. При возрастании тока рекуперации напряжение на шинах подстанции падает и при номинальном токе инвертора $I_{dvi}^{\text{ном}}$ достигает 0. В этом случае обеспечено наименьшее значение циркуляционного тока.

Литература

1. Аннин В. А. Рекуперация электроэнергии // Основное направление энергосбережения. 2012. №5. С. 12–15.
2. Незевак В. Л., Шатохин А. П., Стищенко К. П. Влияние параметров системы тягового электроснабжения постоянного тока на эффективность использования энергии рекуперации // Материалы международной научно-практической конференции. Омск: ОмГУПС, 2014. С. 228–238.
3. Черемисин В. Т., Ушаков С. Ю., Каштанов А. Л. Единая автоматизированная система учета электроэнергии на электроподвижном составе (ЕАСУЭ ЭПС) постоянного тока // Известия Транссиба. 2013. № 3 (15). С. 108–114.

4. Черемисин В. Т., Пашков Д. В., Ушаков С. Ю. Автоматизированный мониторинг энергетической эффективности работы электроподвижного состава ОАО «РЖД» // Известия Транссиба. 2014. № 3 (19). С. 87–91.

5. Силовые преобразователи электрической энергии в электрическом транспорте: программа и метод. указания по изучению дисциплины / сост.: Р. Н. Хизбуллин, М. Ф. Замалдинов. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. 42 с.

6. Хизбуллин Р. Н. Силовые преобразователи электрической энергии в электрическом транспорте: курс лекций. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2005.

УДК 621.3

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

¹Баширов Мусса Гумерович, ²Чурагулов Данис Гаязович,
³Попов Никита Константинович, ⁴Овчинникова Анастасия Юрьевна

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате, г. Салават

¹eapp@yandex.ru, ²danis.ch.g@mail.ru, ³mr.NikitaRB2010@mail.ru, ⁴nst-sia@yandex.ru

В настоящее время машинные агрегаты с приводом от асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором составляют достаточно высокую долю оборудования в промышленности. Асинхронные электродвигатели получили широкое распространение в производстве благодаря своей простоте в эксплуатации, относительно невысокой цене по сравнению с другими аналогами, а также надежности, от которой зависит вся работа и технологический процесс промышленных установок и всего производства в целом. Тем не менее, даже при их высокой надежности и работоспособности не исключены повреждения в механической, а также электрической частях. И данные повреждения могут вызвать отказ двигателя агрегата, что, в свою очередь, может привести к экономическим, экологическим последствиям, а также может нести угрозу для жизни и здоровья людей. Поэтому для предотвращения таких случаев необходимы создание и разработка эффективной системы диагностики и контроля технического состояния электродвигателя. В статье описан метод спектральной диагностики электродвигателя, основанный на анализе параметров высших гармонических составляющих тока и напряжения, рассмотрены преимущества практической реализации такого метода по сравнению с альтернативными методами диагностики и оценки поврежденности электродвигателей.

Ключевые слова: диагностика, повреждение, гармоники, электродвигатель, ротор, статор, техническое состояние, преобразование Фурье.

TECHNICAL POSITION ASSESMENT OF ASYNCHRONOUS MOTORS BY PARAMETRES OF CURRENT AND VOLTAGE HIGHER HARMONIC COMPONENTS

¹Bashirov Mussa Gumerovich, ²Churagulov Danis Gayazovich,
³Popov Nikita Konstantinovich, ⁴Ovchinnikova Anastasia Yurievna

Branch of USPTU in Salavat, Salavat

¹eapp@yandex.ru, ²danis.ch.g@mail.ru, ³mr.NikitaRB2010@mail.ru, ⁴nst-sia@yandex.ru

At the present time machine assemblies driven by asynchronous motors with squirrel-cage rotor is a fairly high proportion of equipment in the industry. Asynchronous electric motors are widely used in production due to their flexibility in application, relatively low price compared to other analogues, as well as reliability, on which all the work and technological process of industrial plants and the whole manufacture depends. However, even with their high reliability and performance, damage to the mechanical and electrical parts is not excluded. And these damages can cause motor failure of the unit, which in turn can lead to economic, environmental effects, and can also carry a threat to life and health. Therefore, to prevent such cases, it is necessary to create and develop an effective system of diagnostics and control of the technical condition of the electric motor. The article describes the method of spectral diagnostics of the electric motor, based on the analysis of the parameters of the current and voltage higher harmonic components, the advantages of practical implementation of this method compared with alternative methods of diagnosis and evaluation of damage to electric motors.

Keywords: diagnostics, fault, harmonics, motor, rotor, stator, technical position, Fourier transform.

На сегодняшний день ускорение темпов и расширение масштабов производства в современных условиях очень тесно сопряжено с нарастающим использованием опасных технологий, а также взрывопожароопасных и химически опасных веществ. Вследствие чего, увеличивается риск для жизни и здоровья людей, а также потенциальная угроза экологических катастроф и огромных экономических потерь, вызванные техногенными авариями, которые, в свою очередь, возникают из-за отказов оборудования. Особенно это касается промышленных предприятий нефтегазовой отрасли, состояние которой в значительной степени определяется безотказностью машинных агрегатов [2]. В противном

случае, их отказ может привести к созданию аварийных ситуаций, сопровождающихся значительным экономическим и экологическим ущербом [1]. Также, согласно данным ВНИИПО, порядка 50 % пожаров на предприятиях нефтехимии и нефтепереработки происходят по электротехническим причинам, в том числе из-за отказа элементов электроприводов машинных агрегатов приходится на машинные агрегаты.

Машинные агрегаты состоят из двух частей: электрической и механической. Механическая часть состоит из подвижного органа электромеханического преобразователя, механических передач и исполнительного органа. В электрическую часть входят устройства, преобразующие и передающие электрическую энергию от источника питания к электромеханическому преобразователю.

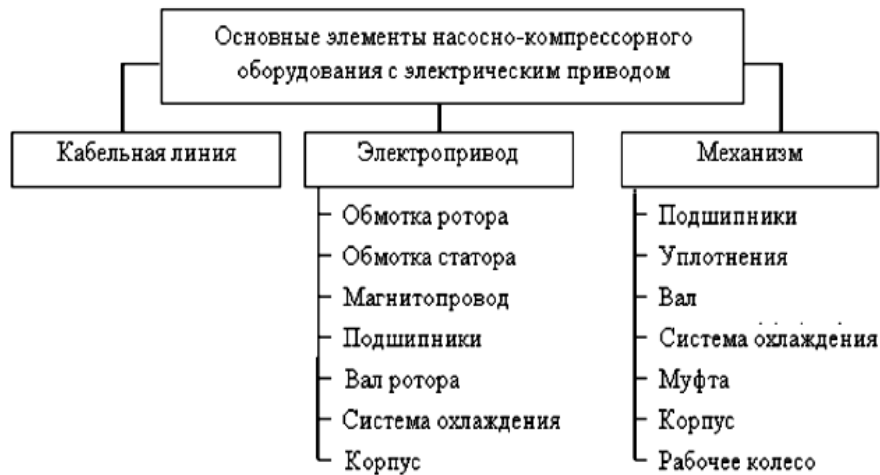


Рис. 1. Основные элементы оборудования с электрическим приводом

Следовательно, электропривод взаимодействует как с системой электроснабжения в целом, так и с технологическим процессом через исполнительный механизм агрегата. Таким образом, отказ любого элемента данной цепочки приводит к расстройству сложного технологического процесса (рис. 1).

Ввиду данной ситуации требуется владеть современной технологией обслуживания оборудования по фактическому состоянию, способной выполнять в зависимости от реального текущего состояния оборудования, дистанционный контроль с помощью анализа соответствующих параметров.

На сегодняшний день наиболее широкое распространение в диагностике электродвигателей получил вибрационный метод диагностики

(также называемый «вибродиагностика»). Основными достоинствами такого метода являются высокая чувствительность и малое время обнаружения дефекта [3]. Рассматриваемый метод подразумевает установку непосредственно на корпусе приводного механизма и электродвигателя нескольких вибрационных датчиков для измерения параметров вибрации в характерных точках, где возможны неисправности. Однако вибродиагностика ориентирована в большей степени на обнаружении неисправностей в механической части и в гораздо меньшей степени приспособлена к выявлению электрических неисправностей, которые также важно учитывать. Поскольку, например, в подавляющем большинстве случаев выход из строя двигателя происходит тогда, когда изоляция обмотки статора приходит в негодность [4], влекущее за собой межвитковое замыкание, которое уже, в свою очередь, переходит в межфазное замыкание или замыкание на «землю».

Также стоит отметить, что датчики вибрации имеют высокую стоимость и сложное конструктивное исполнение, а также требуют прямой доступ к элементам электродвигателя и механизма агрегата, что не всегда представляется возможным ввиду малого пространства внутри машинного агрегата.

Поэтому в качестве альтернативы вибродиагностики в последнее время широко развиваются методы диагностики состояния электродвигателей путем анализа гармоник токов и напряжений. Рассматриваемый метод позволяет с высокой степенью достоверности определять как электрические, так и механические повреждения и, в отличие от вибродиагностики, не нуждается в установке датчиков на корпусе агрегата. При этом диагностика машинного агрегата может быть выполнена не только непосредственно на электродвигателе, но и в распределительном щите, от которого двигатель получает питание.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что двигатели электропривода при определенных режимах работы, возникновении и развитии повреждений отдельных элементов электрической и механической части генерируют характерный спектр гармонических составляющих, тем самым изменяя форму кривой тока и напряжения. Измеряя потребление тока и напряжения электродвигателя, далее производят преобразование Фурье полученного сигнала, и, получив с помощью данного преобразования спектры токов и напряжений, уже выявляют неисправности и судят о тяжести повреждения [5].

Рассмотрим более детально возможности описываемого метода с точки зрения обнаружения различных видов повреждений и характерных для них гармоник.

Например, при таком виде неисправности, как дисбаланс ротора, при разложении фазных токов и напряжений электродвигателя в спектре гармоник потребляемого напряжения, как показано на рис. 2, появляются пиковые гармоники одной из фаз, в то время как в спектре гармоник потребляемого тока (рис. 3) наблюдается снижение значения данной гармоники относительно других [5].

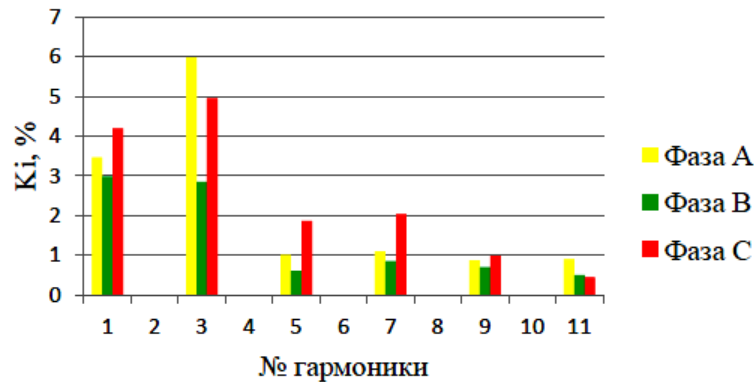


Рис. 2. Гармонические составляющие тока при дисбалансе ротора

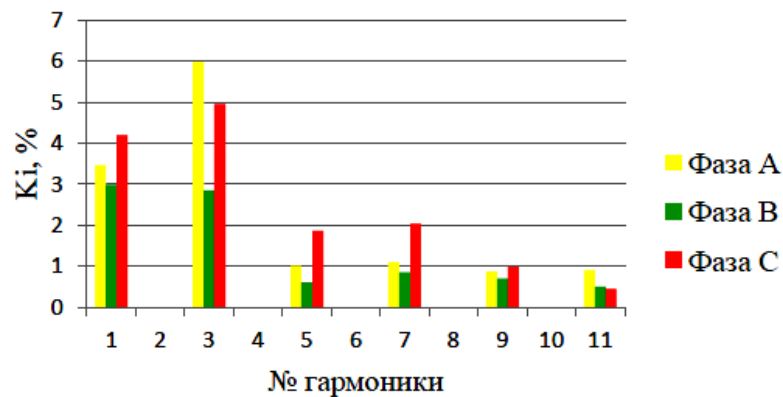


Рис. 3. Гармонические составляющие напряжения при дисбалансе ротора

Метод анализа гармонических составляющих также позволяет производить контроль текущего технического состояния электродвигателя с мониторингом динамики развития неисправностей (повреждение в обмотках статора и ротора электродвигателя, повреждения подшипников, ослабление прессовки пакета стали обмотки статора или ротора и др.) и прогнозирование срока эксплуатации оборудования без ремонта, формировать отчеты в соответствии с текущим состоянием и необходимых ремонтных работах электродвигателя машинного агрегата, их объеме и сроках проведения.

В составе такого диагностического комплекса (рис. 4) входят датчики токов и напряжений с линейными частотными характеристиками, которые подключаются в цепь электродвигателя и снимают сигнал с питающей сети, фильтр низких частот, препятствующий прохождению ложных сигналов, аналого-цифровой преобразователь, в котором происходит дискретизация аналогового сигнала, персональный компьютер с программным обеспечением, необходимый для сбора, обработки информации и предоставления результата тестирования электродвигателя.



Рис. 4. Структурная схема диагностического комплекса для реализации спектрального метода диагностики оборудования

В данной статье в процессе исследования современных методов диагностики асинхронных электродвигателей особое внимание было обращено на метод анализа гармонических составляющих напряжения и тока, генерируемых электродвигателем. Рассмотренный метод позволяет обнаружить повреждения в электрической и механической частях машины на ранних стадиях, когда их выявление альтернативными методами ещё не представляется возможным, а также существенно снизить трудоемкость и стоимость проводимой диагностики электрооборудования.

Литература

1. Баширов М. Г., Прахов И. В., Самородов А. В. Исследование взаимосвязи режимов работы и характерных повреждений насосно-компрессорного оборудования с параметрами генерируемых двигателем электрического привода высших гармонических составляющих токов и напряжений // Нефтегазовое дело. 2011. № 2. С. 50–55.

2. Юмагузин У. Ф., Баширов М. Г. Оценка безопасности эксплуатации нефтегазового оборудования с использованием нечетких множеств. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. 150 с.

3. Афанасьев Д. О. Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации. Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012. 130 с.

4. Седунин А. М., Афанасьев Д. О., Сидельников Л. Г. Методы вибродиагностики асинхронных электродвигателей // Научные исследования и инновации. 2011. № 2. С. 191–194.

5. Баширов М. Г., Чурагулов Д. Г. Интеллектуальная система управления техническим состоянием и энергетической эффективностью машинных агрегатов нефтегазового производства с электрическим приводом // Промышленная энергетика. 2019. № 6. С. 32–41.

СЕКЦИЯ 4. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ СВЕТОТЕХНИКА

УДК 628.9

РАЗРАБОТКА СВЕТОВОГО ПРИБОРА ДЛЯ КОНЮШЕН

¹Баранов Александр Владимирович, ²Абдусадыков Давид Тимурович,
³Толкачева Ксения Петровна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет», г. Томск

¹lianovann@gmail.com, ²david.aboun@gmail.com, ³tkp@tpu.ru

В настоящее время актуальным является вопрос влияния искусственного света на живые организмы. На примере физиологии лошадей в работе представлены требования к световым приборам, а также сценарии освещения оптимального светового климата в конюшнях не только для человека, но и для лошадей.

Ключевые слова: мелатонин, циркадные ритмы, световой прибор для животных, лошадь, конюшня, система управления освещением, искусственное освещение.

DEVELOPMENT OF A LIGHT DEVICE FOR STABLES

¹Baranov Aleksandr Vladimirovich, ²Abdusadikov David Timyrovich,
³Tolkacheva Ksenia Petrovna

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

¹lianovann@gmail.com, ²david.aboun@gmail.com, ³tkp@tpu.ru

The effect of artificial lighting on living organisms is becoming relevant today. In the article requirements for light devices is presented on example the physiology of horses. Also, in article described scenarios for lighting the optimal light climate for stables for humans and horses.

Keywords: melatonin, circadian rhythms, light device for animal, horse, stable, lighting control system, artificial lighting.

В настоящее время задачами домашних животных адаптироваться под биологические особенности человека являются: циркадные ритмы, световосприятие, работоспособность и др. Животный мир также подвержен влиянию искусственного света, однако эта тема редко становится объектом исследования, а существующие примеры направлены на удовлетворение нужд человека.

Практика знает немало решений освещения ферм, зоопарков, террариумов, однако не всегда такие системы учитывают особенности фотопериодизации животных, поскольку освещение создается для человека и под его потребности. Оптимальная система освещения включает потребности людей и животных.

Рассматривая вопросы освещения конюшен, можно отметить, что в природе лошадь 24 ч проводит под открытым небом. В среднем в сутках около 12 ч солнце присутствует на небосклоне. При конюшенном уходе за лошадьми удается выпустить лошадь на улицу максимум на 2–3 ч. Если посчитать, то станет очевидным тот факт, что лошадь получает лишь 15–20 % необходимого солнца. В северных широтах России, где естественный солнечный дефицит является нормой, ситуация усугубляется в 2–3 раза.

Свет необходим животным, как и человеку, для выработки жизненно важного витамина *D*. Без должного количества излучения наступает сбой в выработке гормона мелатонина, при недостатке которого лошади испытывают стресс, могут отказываться от еды, болеть и даже испытывать депрессию [1].

Важное значение в физиологии животных имеют суточные, лунные и годовые циклы, которые влияют на гормональный баланс организмов. И это не только сигналы к размножению, но и подготовка к зимнему анабиозу, запасу пищи или нагулу жира. Примером циркадного ритма у животных является цикл сон-бодрствование [2].

Воздействие яркого света ночью сильно подавляет секрецию мелатонина у людей и других животных, нарушает циркадные ритмы и может оказать прямое влияние на многие физиологические аспекты здоровья. У людей систематические нарушения циркадных ритмов связаны с повышенным риском развития различных серьезных заболеваний, таких как рак (молочной железы, толстой кишки и простаты), ожирение, диабет и депрессия.

В коневодстве взаимодействие с лошадьми для наблюдения, кормления и лечения происходит в ночное время. Это приводит к частым нарушениям в естественной темной фазе лошадей и, следовательно, к нарушениям синтеза мелатонина из-за кратковременного воздействия яркого света [3].

В 2019 г. учеными из Школы сельского хозяйства и пищевых наук (Ирландия) совместно с Центром циркадной биологии Тулана (США) [4] были проведены исследования изменения уровня выработки мелатонина у лошадей. Из работы можно выделить, что синтез мелатонина у лошадей практически не зависит от того, находятся ли они в свете

низкоинтенсивного красного света (5 лк) в ночное время или в темноте, что доказывает предположение ученых: низкоинтенсивный красный свет восприниматься лошадью как темнота.

В действующих нормативных документах отсутствуют единые нормы по организации освещения в конюшне. Согласно ОСН-АПК 2.10.24.001-04 [5] $E = 75$ лк, однако в НТП-АПК 1.10.04.003-03 [6] – E варьируется от 150 до 200 лк. Поэтому для создания комфортной световой среды для человека и лошадей определим следующие параметры освещенности: дневной период – $E = 200$ лк, ночной период $E = 5$ лк. Данные параметры освещенности помогут не нарушать секрецию мелатонина у лошадей в темное время суток.

Выделим основные требования к световым приборам, устанавливаемым в конюшнях (см. таблицу).

Требования к световым приборам

Учет особенности световосприятия лошадей	Лошади не различают красный монохроматический свет, поэтому в ночное время светильник должен светить только в рамках этого спектра.
Устойчивость к химически агрессивным средам	Вещества, с помощью которых производится санитарная обработка конюшен, а также аммиак, содержащийся в экскрементах, могут оказывать разрушающее воздействие, поэтому важен выбор материалов для светильника (IP выше 54).
Управляемость	Управление световым потоком, т.к. на основе светильника будет создана автоматическая система управления.

Для разработки светового прибора, удовлетворяющего всем вышеперечисленным требованиям, необходимо использовать RGBWW светодиодные чипы совместно с белыми холодного свечения. Данная комбинация позволит изменять цветовую температуру в дневное время, а также обеспечит цветовую имитацию солнечного цикла. Кривая силы света (КСС) светового прибора должна быть полуширокой, так как стоящая в коридоре конюшни лошадь может закрыть собой источник света повернувшись вбок. Полуширокая КСС создаёт равномерную вертикальную освещённость, что позволяет избежать этого.

Циркадные ритмы млекопитающих схожи с человеческими, для освещения конюшни можно предложить использование светильников, имитирующих солнечный закат и рассвет, а в течение дня способных изменять яркость и цветовую температуру. Подобные световые приборы

нуждаются в системе управления освещением, например DALI. Взаимодействие систем управления со световыми приборами осуществляется посредством запрограммированных сценариев или через панель управления.

В завершении работы представим 4 основных сценария освещения для создания световой среды:

сценарий 1 – имитация солнечного рассвета и заката, синхронизированная с реальным солнцем;

сценарий 2 – в дневное время осветительная установка обеспечивает $E = 200$ лк белого света;

сценарий 3 – в ночное время светильник переходит в монохроматическое излучение красного света (уровень освещенность не более 5 лк);

сценарий 4 – при необходимости в течение дневного времени будет возможность выключать освещение без сброса установок.

Литература

1. Свет – это жизнь! [Электронный ресурс]. URL: <https://horse.ru/oloshadi/structure.php?&cur=6203> (дата обращения: 20.11.2019).

2. Как искусственное освещение влияет на жизнь животных [Электронный ресурс] URL: <http://zooblog.ru/5916-kak-iskusstvennoe-osveschenie-vliyaet-na-zhizn-zhivotnyh.html> (дата обращения: 20.11.2019).

3. Stevens R. G., Zhu Y. Electric light, particularly at night, disrupts human circadian rhythmicity: is that a problem? // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2015. Vol. 370(1667). P. 20140120–20140120. DOI:10.1098/rstb.2014.0120.

4. Murphy B. A., O'Brien, C., Elliott J. A. Red light at night permits the nocturnal rise of melatonin production in horses // *The Veterinary Journal*, P. 105360. DOI:10.1016/j.tvjl.2019.105360.

5. ОСН-АПК 2.10.24.001-04. Нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений: Отраслевые строительные нормы. Введ. 01.12.2004. М.: Изд-во стандартов, 2004. 35 с.

6. НТП-АПК 1.10.04.003-03. Нормы технологического проектирования конно-спортивных комплексов. Система нормативных документов в агропромышленном комплексе. Введ 01.01.2004. М.: Изд-во стандартов, 2004. 47 с.

УДК 628.9:621.382.2

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП-РЕТРОФИТОВ

¹Баринаова Ирина Анатольевна, ²Грек Андрей Михайлович

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

¹barinovastf@yandex.ru, ²andreygrek@mail.ru

В данной работе рассматриваются современные светодиодные лампы с резьбовым цоколем различного конструктивного исполнения и описываются методики проведения и результаты исследований их фотометрических характеристик.

Ключевые слова: матричная светодиодная лампы, филаментная лампа, радиатор, колба, филаментная нить, светодиод, начальный световой поток, номинальный световой поток, световая отдача.

PHOTOMETRIC CHARACTERISTICS OF LED RETROFIT LAMPS

¹Barinova Irina Anatolyevna, ²Grekh Andrei Mikhailovich

National Research Mordovia State University, Saransk

¹barinovastf@yandex.ru, ²andreygrek@mail.ru

In this paper, we consider modern led lamps with threaded cap of different design and describe the methods and results of research of their photometric characteristics.

Keywords: matrix led lamp, filament lamp, radiator, bulb, filament filament, led, initial luminous flux, nominal luminous flux, luminous efficiency.

Современные светодиодные лампы-ретрофиты с резьбовым цоколем представлены разнообразными вариантами исполнений. Они могут быть матричными или филаментными, иметь различные виды рассевателей, варианты исполнения по форме колбы и т.д. Каждый из перечисленных факторов накладывает отпечаток на характеристики ламп.

Особое внимание в силу целого ряда достоинств привлекают внимание филаментные светодиодные лампы (ФСДЛ). Наиболее важным достоинством этих ламп с точки зрения потребителя является их схожесть с пользующейся популярностью в жилом секторе лампой накаливания. Однако зачастую возникает вопрос об эффективности применения в бытовых осветительных установках тех или иных светодиодных ламп.

В связи с вышесказанным были проведены исследования фотометрических параметров светодиодных ламп различных производителей, отличающихся по конструктивному исполнению. Для эксперимента были выбраны матричные и филаментные светодиодные лампы-ретрофиты с цоколем E27 мощностью 5, 7 и 10 Вт различных производителей («Космос», «Camelion», «REV», «Экономка LED», «General», «Ecola», «Inhome»).

В качестве экспериментальных установок использовались метрологический комплекс для измерения спектральной плотности излучения традиционных источников света, осветительных приборов на их основе, осветительных приборов на основе полупроводниковых излучателей (светодиодов), основным элементом которого является светомерный шар OL IS 7600 и гониофотометр GO 2000A.

Все эксперименты проводились при испытательном напряжении, за которое принималось номинальное напряжение. В случае указанного диапазона напряжения измерение проводилось при среднем его значении. Лампы исследовались в вертикальном положении горения «цоколем вверх».

Измерение светового потока ламп проводилось в светомерном шаре. В крепление помещался объект исследования, после чего на источнике питания устанавливалось номинальное напряжение. После стабилизации параметров проводилось снятие результатов [2].

Первым этапом эксперимента явилась проверка ламп на соответствие требованиям ГОСТ Р 54815 [1], согласно которым измеренный начальный световой поток лампы должен быть не менее 90 % номинального светового потока.

В табл. 1–3 приведены результаты измерений светового потока ламп, проведенных в светомерном шаре в положении горения «цоколем вверх» при их номинальной мощности.

Таблица 1

Результаты исследований светового потока ламп (10 Вт)

№ лампы	Тип	Производитель	Номинальный световой поток, лм	Измеренный световой поток, лм	Измеренный световой поток в процентах от номинального
1	СДЛ	Космос	850	700	82
2	СДЛ	Космос	850	970	114

В результате проведенных исследований фотометрических характеристик было выявлено, что далеко не все как светодиодные, так и филаментные лампы по номинальному световому потоку отвечают требованиям ГОСТ Р 54815 [1].

Таблица 2

Результаты исследований светового потока ламп (7 Вт)

№ лампы	Тип	Производитель	Номинальный световой поток, лм	Измеренный световой поток, лм	Измеренный световой поток в процентах от номинального
1	СДЛ	Космос	560	284	51
2	СДЛ	Camelion	560	386	69
3	СФЛ	REV	630	394	63
4	СФЛ	Inhome	630	955	152

Таблица 3

Результаты исследований светового потока ламп (5 Вт)

№ лампы	Тип	Производитель	Номинальный световой поток, лм	Измеренный световой поток, лм	Измеренный световой поток в процентах от номинального
1	СДЛ	REV	370	923	249
2	СДЛ	Экономка LED	350	325	93
3	СФЛ	Inhome 1	450	321	71
4	СФЛ	Inhome 2	450	963	214
5	СФЛ	Inhome 3	450	591	131

На величину светового потока большинства ламп значительное влияние оказывает также отклонение напряжения (ОН).

В табл. 4–5 приведены результаты измерений светового потока, проведенных в светомерном шаре в положении горения «цоколем вверх», при испытательном напряжении, а также при ОН на $\pm 5\%$, $\pm 10\%$.

Для всех типов исследуемых ламп при отклонении напряжения наблюдаются значительные скачки светового потока. Наименьшее отклонение значения светового потока наблюдалось у СДЛ 7 Вт.

Таблица 4

Результаты исследований изменения светового потока ламп
при ОН (10 Вт)

Тип	Производитель	ОН -10 %			ОН -5 %			Испытательное напряжение, В		ОН +5 %			ОН+10 %		
		U, В	Ф, лм	ΔФ, %	U, В	Ф, лм	ΔФ, %	U, В	Ф, лм	U, В	Ф, лм	ΔФ, %	U, В	Ф, лм	ΔФ, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
СДЛ	Космос 1	207	919	2,4	218	904	4	230	942	241	907	3,7	253	912	3,1
СДЛ	Космос 2	207	895	0,9	218	899	0,4	230	903	241	880	2,5	253	891	1,3
СФЛ	General	207	789	17	218	930	2,2	230	951	241	944	0,7	253	960	0,9
СФЛ	Ecola	207	975	0,2	218	970	0,3	230	973	241	972	0,1	253	974	0,1

Таблица 5

Результаты исследований изменения светового потока ламп при ОН (7 Вт)

Тип	Производитель	ОН -10 %			ОН -5 %			Испытательное напряжение, В		ОН +5 %			ОН +10 %		
		<i>U</i> , В	Φ, лм	ΔΦ, %	<i>U</i> , В	Φ, лм	ΔΦ, %	<i>U</i> , В	Φ, лм	<i>U</i> , В	Φ, лм	ΔΦ, %	<i>U</i> , В	Φ, лм	ΔΦ, %
СДЛ	Космос	207	503	10,3	218	503	10,3	230	561	241	592	5,5	253	636	13,3
СДЛ	Camelion	195	593	1,8	206	593	0,2	217	594	227	596	0,3	239	605	1,5
СФЛ	REV	207	669	1,8	218	661	2,9	230	681	241	662	2,8	253	667	2,1
СФЛ	Inhome	202	374	15,6	213	437	1,3	225	443	236	444	0,2	247	446	0,7

Таблица 6

Результаты исследований изменения светового потока ламп при ОН (5 Вт)

Тип	Производитель	ОН -10 %			ОН -5 %			Испытательное напряжение, В		ОН +5 %			ОН +10 %		
		$U, В$	$\Phi, лм$	$\Delta\Phi, \%$	$U, В$	$\Phi, лм$	$\Delta\Phi, \%$	$U, В$	$\Phi, лм$	$U, В$	$\Phi, лм$	$\Delta\Phi, \%$	$U, В$	$\Phi, лм$	$\Delta\Phi, \%$
СДЛ	REV	207	288	11,1	218	294	9,3	230	324	241	327	0,9	253	343	5,9
СДЛ	Экономка LED	207	245	11,2	218	259	6,1	230	276	241	291	5,4	253	308	11,6

Для всех типов исследуемых ламп при отклонении напряжения наблюдаются значительные скачки светового потока. Наименьшее отклонение значения светового потока наблюдалось у СДЛ, равное 7 Вт.

Исходя из результатов проведенных исследований, в качестве рекомендаций, можно предложить в электрических сетях, напряжение в которых часто превышает номинальное, применять филаментные лампы, а в сетях, отличающихся скачками напряжения до минус 10 % от номинального и ниже, – светодиодные лампы.

Литература

1. ГОСТ Р 5481-2011. Лампы светодиодные со встроенным устройством управления для общего освещения на напряжении свыше 50 В. Эксплуатационные методы. Введ. 2012-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2012. 6–10 с.

2. ГОСТ Р 55702-2013. Методы измерений электрических и световых параметров. Введ. 2013-11-08. М.: Изд-во стандартов, 2016. 3–13 с.

УДК 628.9.041.4

СВЕТОДИОДНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ, ЕГО ВЛИЯНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

¹Баширов Азамат Анзоревич, ²Сандаков Виталий Дмитриевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹Bu-bu-bu-bu@mail.ru, ²Vitalysandakov@gmail.com

С развитием науки и агропромышленности стало доступно такое перспективное направление как светодиодное освещение растений. Используя различные специализированные режимы освещения, в зависимости от желаемого результата, можно регулировать как скорость роста и цветения, так и различные морфологические признаки растения. Агрофотоника – молодая наука с большими перспективами. Большим шагом вперед станет автоматизация системы светодиодного освещения. С её помощью станет возможно своевременно изменять параметры системы исходя из желаемого результата и внешних воздействий. Дальнейшие исследования и расчёты параметров света, необходимого каждому виду растений, позволят значительно увеличить объем и качество выращиваемых культур.

Ключевые слова: светодиод, агрофотоника, растениеводство, автоматизация, регулирование, система освещения, спектр света.

LED LIGHTING, ITS INFLUENCE AND AUTOMATION IN CROPS

¹Bashirov Azamat Anzorovich, ²Sandakov Vitalii Dmitrievich

KSPEU, Kazan

¹Bu-bu-bu-bu@mail.ru, ²Vitalysandakov@gmail.com

With the development of science and agriculture, such a promising area as LED plant lighting has become available. Using various specialized lighting modes, depending on the desired result, it is possible to adjust both the growth and flowering rates, as well as various morphological characteristics of the plant. Agrophotonics is a young science with great prospects. A big step forward will be the automation of the LED lighting system. With its help, it will become possible to timely change the system parameters based on the desired result and external influences. Further studies and calculations of the parameters of light required by each type of plant will significantly increase the volume and quality of crops grown.

Keywords: LED, agrophotonics, crop production, automation, regulation, lighting system, light spectrum.

Бурное развитие науки в настоящее время способствует совершенствованию как технологических процессов, так и оборудования в агропромышленности. Одним из важнейших факторов, влияющих на растение, помимо температуры, питательных веществ, уровня углекислого газа, является освещение. Изучением этого занимается агрофотоника – область знаний о воздействии различных диапазонов излучения света на растение в процессе его роста и созревания.

В процессе эволюции растения научились подстраиваться под получаемый ими свет. Это значит, что искусственное освещение может быть применено для воздействия на рост и развитие растений, включая скорость фотосинтеза, форму растения, направление роста и время цветения. Светодиоды идеально подходят для решения этой задачи благодаря узкому пиковому диапазону частот, который позволил создавать специальные режимы освещения, оптимизированные для разных видов растений, условий выращивания и желаемых результатов. Регулируя интенсивность светового излучения, его частоту, а также длины волн можно добиться скорого прорастания семян, увеличить или уменьшить темпы роста и цветения и многого другого.

Растения поглощают свет хлорофиллом, фитохромами, каротиноидом и другими пигментами. У разных растений разные кривые поглощения света, например: кривые хлорофилла, в основном, характеризуют фотосинтез и рост; фитохромы же реагируют на окружающую среду и регулируют морфологию растения.

Различают закрытые и открытые системы освещения. В открытых системах солнечный свет дополняется досветкой узконаправленных светодиодов, так как естественное освещение имеет достаточно широкий спектр и охватывает полный диапазон излучения, которое растения могут поглощать. В закрытых системах нет широкополосного источника излучения, поэтому растение потребляет лишь тот свет, который формируется светильником. Поэтому помимо цветных светодиодов необходимо использовать обычные белые светодиоды, которые дают спектр, полно и равномерно заполняющий область, потребляемую растениями, и наиболее точно имитируют естественный свет.

При управлении ростом растений с помощью освещения при досвечивании выбираются области спектра с эффективной генерацией фотонного потока в диапазоне фотосинтеза 400–700 нм и особенно в области интенсивного поглощения (примерно 450 и 660 нм). Примером такого освещения будет является сочетание синих и гиперкрасных светодиодов в количественном соотношении 1:9 [5].

Для регулирования роста растений, используя один источник света – светодиодное освещение, применяется комбинация высокоэффективного гиперкрасного светодиода (660 нм) с эффективным белым светодиодом, которая дает растениям достаточно энергии для осуществления фотосинтеза. В данном случае используются один красный светодиод на каждые четыре белых (рис. 1).

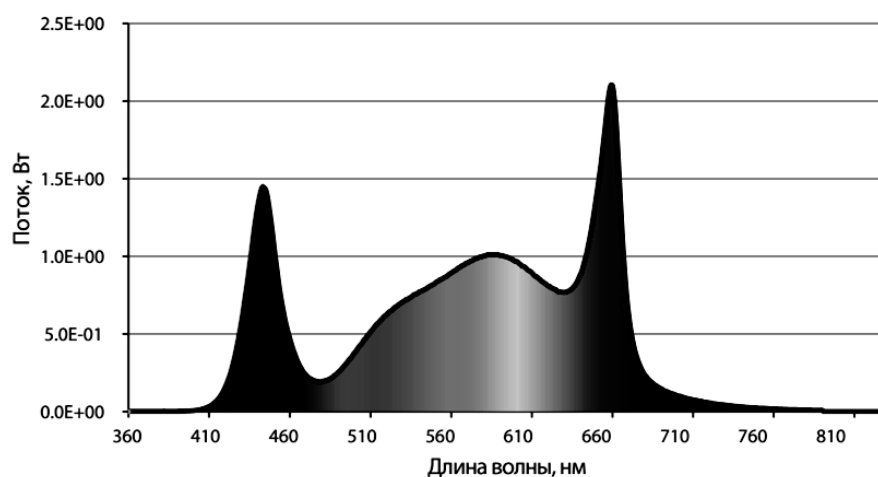


Рис. 1. Спектр излучения светодиодов, рекомендуемый для регулирования роста растений, при использовании одного источника света

Для прорастания семян и появления ростков растениям требуется интенсивный синий свет. Соответственно, в этом случае необходимо обеспечить значительную долю синего света с длиной волны 450 нм, который можно дополнить гиперкрасным [5].

При использовании светового источника, например в случае выращивания растений на вертикальных фермах, спектральный состав должен включать в себя белый свет и достаточное количество дальнего красного (730 нм), гиперкрасного и синего светодиодов (рис. 2).

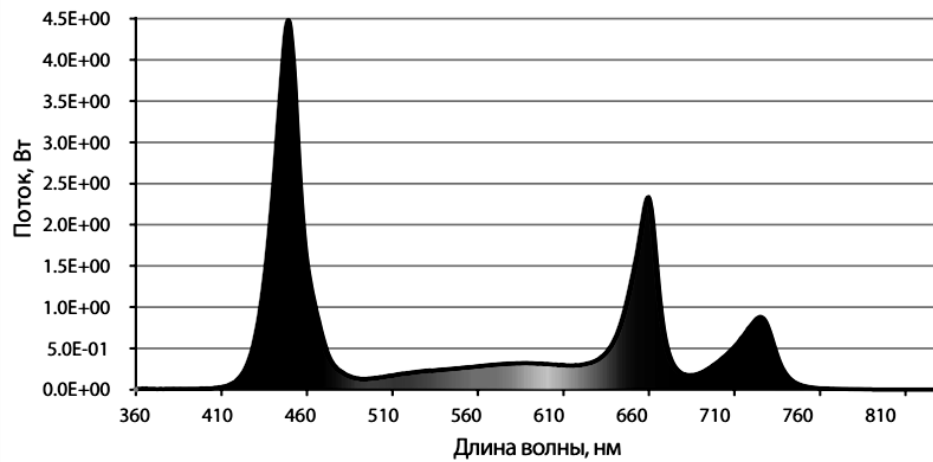


Рис. 2. Спектр излучения светодиодов, рекомендуемый для регулирования размножения растений, при использовании одного источника света

В качестве примеров применения светодиодного освещения в агропромышленности можно привести московский проект «РУСЭКО» по выпуску зелени; компания «Агро-Инвест» использует светодиодные светильники для выращивания томатов и огурцов. Итальянский проект «Fri-El Greenhouse» – отличный пример, иллюстрирующий использование досветки светодиодами в открытом стеклянном парнике для выращивания томатов [6].

Однако, так как агрофотоника довольно молодая наука, большинство культур выращивают без применения светодиодного освещения. Если же взглянуть на уже достигнутые результаты, применение светодиодного освещения позволяет повысить биомассу продукции до 15 %, а также сократить сроки определенных периодов развития растения почти вдвое, то можно смело говорить о перспективах развития этой области. Автоматизация освещения, подводимого к растениям, позволит увеличить количество и качество выпускаемой продукции при гораздо меньших затратах времени и энергии.

В качестве автоматизации системы светодиодного освещения может быть применено следующее решение. Рядом с растениями необходимо установить приборы для считывания поступающих на них характеристик света (интенсивность, длину волны и прочие), которые будут посылать сигнал системе управления для коррекции освещения.

Данная тема нова и требует дальнейших исследований для полного понимания каждого её аспекта. Углубляясь в изучение влияния светодиодного освещения на растения, предстоит выяснить идеальные условия света для выращивания различных видов в зависимости от желаемого результата, что продвинет нас на шаг ближе к внедрению системы автоматизированного освещения в агропромышленность.

Литература

1. Алехина Н. Д., Балнокин Ю. В., Гавриленко В. Ф. и др. Физиология растений / под ред. Ермакова И. П. М.: Издательский центр «Академия», 2005.
2. Протасова Н. Н. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений // Физиология растений. 1987. № 4. С. 60–63.
3. Тукшаитов Р. Х., Шириев Р. Р. К устранению разночтения и неопределенности в представлении коэффициента мощности светодиодных осветительных приборов // Практическая силовая электроника. 2019. № 1 (73). С. 32–36.
4. Ломан В. М. Курс светокультуры растений / 2-е изд. М: Высш. школа, 1976.
5. Тукшаитов Р. Х., Нигматуллин Р. М. К устранению разночтения при анализе диаграмм силы света светодиодных осветительных приборов // Энергетика Татарстана. 2016. № 2.
6. Иванова В. Р., Роженцова Н. В. Инновационные системы управления освещением // В кн.: Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике. В 3 т. / под общ. ред. Э. Ю. Абдуллазянова, Э. В. Шамсутдинова. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 2. С. 198–221.

УДК 621.32

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ

¹Белов Валерий Васильевич, ²Идрисова Евгения Дмитриевна,
³Свешников Артемий Григорьевич,
¹ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА, г. Чебоксары
²АО «РМ Рейл Инжиниринг», г. Саранск
¹belovdtn@gmail.com, ²genyai@rambler.ru, ³artemachaki@mail.ru

В статье рассмотрена актуальность данной темы исследования. Подчёркивается, что есть необходимость в разработке и совершенствовании энергосберегающих и биологически эффективных облучательных приборов и установок для освещения и облучения сельскохозяйственных растений. Приведена

конструкция макета образца комбинированной облучательной установки, предлагаемой для облучения сельскохозяйственных растений, и описан принцип его работы. Представлены полученные результаты измерений светотехнических характеристик сконструированного макетного образца облучательной установки. Описан результат исследования макетного образца облучательной установки в лабораторных условиях.

Ключевые слова: облучение, спектр излучения, макетный образец, светотехнические характеристики, светодиоды, люминесцентная лампа.

IMPROVEMENT OF ARTIFICIAL IRRADIATION OF PLANTS

¹Belov Valery Vasilyevich, ²Idrisova Evgenia Dmitrievna,
³Sveshnikov Artemiy Grigoryevich,
¹FSBEI HE Chuvash SAA, Cheboksary
²JSC "RM rail Engineering", Saransk
¹belovdtn@gmail.com, ²genyai@rambler.ru, ³artemachaki@mail.ru

The article considers the relevance of this research topic. It is emphasized that there is a need to develop and improve energy-saving and biologically effective irradiation devices and installations for lighting and irradiation of agricultural plants. The design of the model of the sample of the combined irradiation installation offered for irradiation of agricultural plants is resulted, and the principle of its work is described. The obtained results of measurements of lighting characteristics of the designed model sample of the irradiation unit are presented. The result of the study of the model sample of the irradiation unit in the laboratory is described.

Keywords: irradiation, radiation spectrum, model sample, lighting characteristics, LEDs, fluorescent lamp.

Ранее проведенные исследования показывают, что для облучения и освещения сельскохозяйственных растений благоприятно использовать источники излучения, с оптимально подобранными спектрами излучения в зависимости от нескольких ключевых факторов, таких как, например, родная климатическая среда растения, наличие цвета и плодов [1–3].

С учетом Федерального закона от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» необходимо решать проблему энергосбережения, повышать эффективность облучательных систем. Это обуславливает актуальность данной работы, заключающейся в необходимости разработки и совершенствования энергосберегающих и биологически эффективных

облучательных приборов и установок для освещения и облучения сельскохозяйственных растений.

Решение задач оптимизации технологического освещения и облучения состоит в необходимости удовлетворения физиологических требований биологических объектов к свету за счет искусственного освещения и облучения с требуемыми количественными и качественными характеристиками излучения, в совершенствовании технических средств облучения, повышенной энергоэффективности [4–7].

В результате анализа климата Поволжья объектом исследований была определена рассада листового салата «Азарт». Скороспелость составляет 60–70 дней. С учетом потребностей выбранного объекта исследований и проведенных теоретических расчетов оптимального спектра излучения в качестве источника для целей освещения применялись улучшенные люминесцентные лампы типа FL36W/765 (ЛД-36) с экспериментально увеличенным световым потоком и повышенной энергоэффективностью, в качестве дополнительного освещения (досветки) выбрана светодиодная лента красной цветности (СД(к)), на базе которых был сконструирован макет комбинированной облучательной установки (рис. 1, 2).

В рамках лабораторных исследований влияния рассчитанного спектра, учтенного в разработанном макете комбинированной облучательной установки на показатели роста и развития рассады, было сформировано две выборки, контрольная и исследуемая, по 3 шт. в каждой.

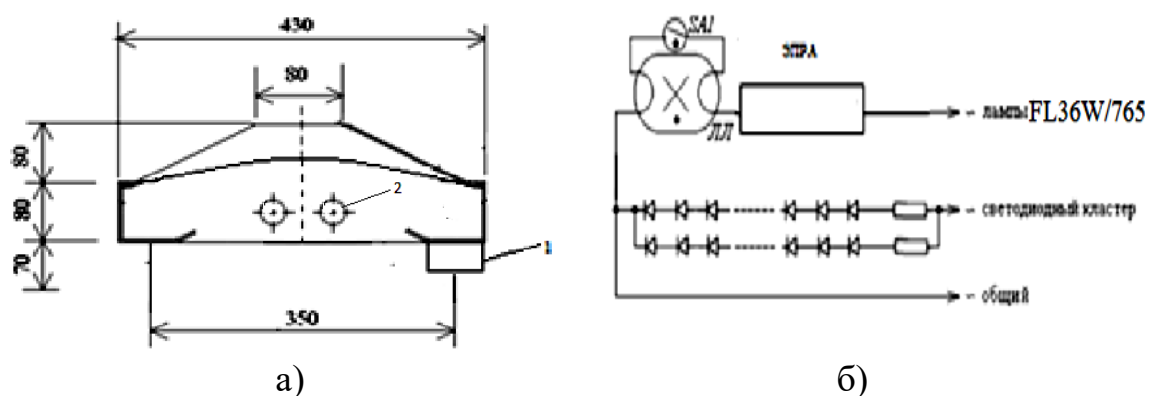


Рис. 1. Конструкция макетного образца облучательной установки:

а – 1 – красный светодиодный блок, 2 – ЛД-36,

б – электрическая схема облучательной установки

В целях проведения эксперимента сконструированный макет облучательной установки был установлен над объектами исследования (рис. 2). В облучательный прибор для облучения первой экспериментальной партии входят люминесцентные лампы «дневной» цветности мощностью

36 Вт, $T_{цв} = 6500$ К, $\Phi = 2400$ Лм; в макет облучательной комбинированной установки для облучения второй экспериментальной партии рассады входят улучшенные люминесцентные лампы «дневной» цветности типа FL36W/635 мощностью 36 Вт, $T_{цв} = 6500$ К, $\Phi = 2500$ лм с добавлением красной светодиодной ленты *SMD 3528, 300 Led, IP33, 12V, Econom*.

Облучатели были соединены последовательно и крепились на общее основание – подвес на высоте 1 м над рассадой. Были использованы вспомогательные средства измерения: люксметр *Lightmeter HS1010* ($\delta = \pm 5\%$), электронные весы *Beurer KS 22* ($\Delta = \pm 1$ г), линейка для замера высоты и ширины образцов.

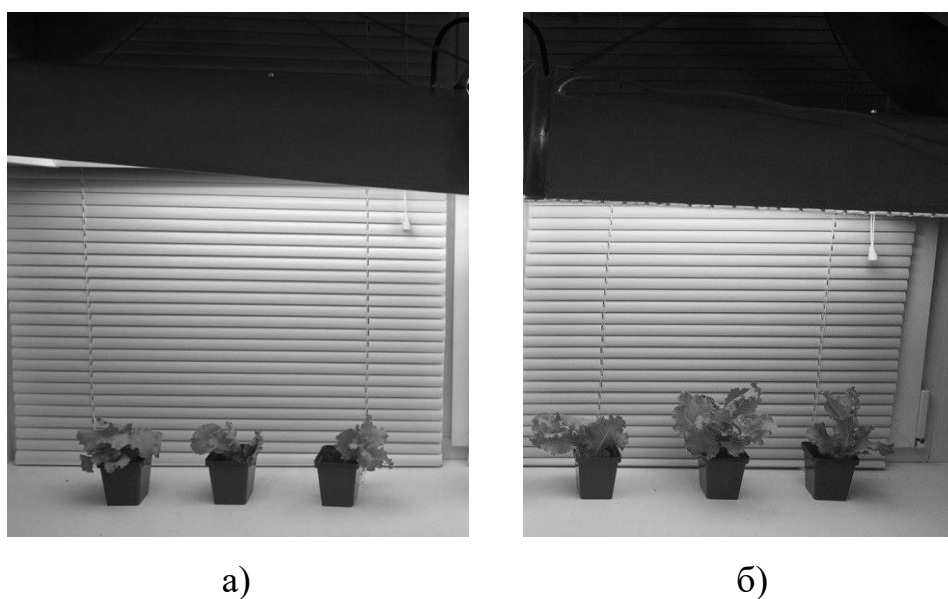


Рис. 2. Облучательная установка для рассады: а – облучение рассады стандартными источниками излучения, б – облучение рассады люминесцентными лампами 2хЛД-36+СД(к)

Досветка рассады контрольной группы осуществлялась по 2 ч в сутки с момента захода солнца. Облучение рассады опытной группы проводилось облучателем с экспериментальными лампами типа FL36W/765 с улучшенными показателями по 2 ч в сутки. Кроме того на 5–7 мин в сутки подключался блок с красными светодиодными источниками света. В течение периода от посадки до контрольного замера рассада листового салата «Азарт» получала солнечный свет в дневное время суток, средняя освещенность составила 17,1 клк. При досветке по два часа для обеих групп в темное время суток включались облучатели, дополнительно над второй выборкой образцов подключался блок светодиодов красного света периодически на 5–7 мин, средняя освещенность составила 7–10 клк [3].

Красная часть спектра, воздействуя на растения, ускоряет его рост и развитие, образцы второй выборки, облучаемые дополнительно красным светодиодным источником света, являются в среднем выше. С учетом доверительных интервалов (R_i) при вероятности $P = 0,95$ установлено, что в некоторых случаях наблюдается перекрытие интервалов опытной и контрольной групп, что свидетельствует о необходимости продолжения исследований.

Полученные результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Полученные результаты

Масса листьев образца, m , г		Высота образца, h , мм		Ширина листа, $ш$, мм		
Облучение стандартными лампами ЛД-36	Облучение лампами типа FL36W/765+СД(к)	Облучение стандартными лампами ЛД-36	Облучение лампами типа FL36W/765+СД(к)	Облучение стандартными лампами ЛД-36	Облучение лампами типа FL36W/765+СД(к)	
7,0	12,0	87,0	150,0	59,5	65,0	
7,0	8,0	90,0	100,0	59,5	60,0	
9,0	10,0	110,0	135,0	61,0	63,0	
\bar{x}	7,6	10,0	95,6	128,3	60,0	62,3

Для анализа результатов эксперимента был проведен статистический анализ, результаты которого представлены в табл. 2.

Таблица 2

Статистический анализ результата эксперимента

№ Выборки	Среднее значение			СКО			Размахи			Медиана		
	$X_{i\text{ср}}$			S_i			R_i			$X_{i\text{мед}}$		
	m ,г	h ,мм	$ш$,мм	m ,г	h ,мм	$ш$,мм	m ,г	h ,мм	$ш$,мм	m ,г	h ,мм	$ш$,мм
1 выборка (контр.)	7,6	92,3	60,0	1,2	7,3	0,9	2,0	13,0	1,5	7,0	90,0	59,5
2 выборка (опыт)	10,0	128,3	62,6	1,6	20,9	2,0	4,0	50,0	5,0	10,0	135,0	63,0

Совершенствование облучательных установок позволяет повысить эффективность искусственного освещения растений. Проведенный анализ результатов экспериментальных исследований подтвердил наши

предпосылки о возможности повышения показателей роста образцов рассады салата опытной партии по сравнению с контрольной в среднем: по массе листьев – на 24 %, по высоте образцов – на 28 %, по ширине образцов – на 4 %.

Литература

1. Белов В. В., Микаева С. А., Овчукова С. А., Семенов Ю. Н. Возможность использования информационно-измерительных приборов на основе компактных люминесцентных ламп в тепличном растениеводстве // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. № 19. С. 10–13.

2. Белов В. В., Идрисова Е. Д. Исследование комбинированного облучательного прибора с лампой типа ЛБ-36 и модулем красных светодиодов // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. № 43. С. 5–9.

3. Гусева Е. Д. (Идрисова), Семенов Ю. Н., Белова Н. Н. Повышение эффективности люминесцентных ламп для светотехнических установок в АПК // Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики: матер. Всерос. научн.-практ. конф. Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. С. 23–26.

4. Свешников А. Г., Идрисова Е. Д., Белов В. В. Перспективный метод поддержания микроклимата теплиц // Молодежь и инновации: матер. XV Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (г. Чебоксары, 14–15 марта 2019 г.). Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 409–413.

5. Свешников А. Г., Степанова А. В., Белов В. В. Искусственное освещение теплиц // Студенческая наука – первый шаг в академическую науку: матер. Все-рос. студ. науч.-практ. конф. с участием школьников 10–11 классов: тез. докл. (Чебоксары, 14–15 марта 2018 г.). Ч. 2. Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. С. 118–121.

6. Свешников А. Г., Степанова А. В., Белов В. В., Семенов Ю. Н. Исследование светодиодных ламп в условиях теплиц // Актуальные проблемы энергетики АПК: матер. VII международной. науч.-практ. конф. / под общ. ред. Трушкина В.А. Саратов: ООО «ЦеСАин», 2016. С. 200–202.

УДК 621.38

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

¹Биккенин Азат Рустамович, ²Шириев Равиль Рафисович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹student_kgeu@mail.ru, ²shrr@list.ru

В статье предложена модель светотехнической установки для получения представления о распространении света, источников оптического излучения, в пространстве и визуализации результатов с помощью Matlab/Simulink.

Ключевые слова: фотометрическое тело, КСС, Arduino, Matlab, микроконтроллер.

RESEARCH OF PHOTOMETRIC BODIES OF OPTICAL RADIATION SOURCES

¹Bikkenin Azat Rustamovich, ²Shiriev Ravil Rafisovich

KSPEU, Kazan

¹student_kgeu@mail.ru, ²shrr@list.ru

The article proposes a model of a lighting installation to get an idea of the distribution of light, optical radiation sources in space and visualization of results using Matlab / Simulink.

Key words: photometric body, LIC, Arduino, Matlab, microcontroller.

Фотометрическим телом является трехмерное изображение области пространства, площадь поверхности которой образуются концами радиусов-векторов, интенсивности света в разных направлениях, выходящих из светового центра светового прибора, длина которых пропорциональна силе света в соответствующем направлении (рис. 1).

Кривая силы света (КСС), как известно, это графическое изображение распределения светового потока светильника в пространстве, представляется в виде графика. На практике для упрощения, ускорения, удешевления процесса выпуска новых изделий ограничиваются снятием КСС в двух плоскостях (рис. 2), что не дает полного представления распределения света в пространстве.

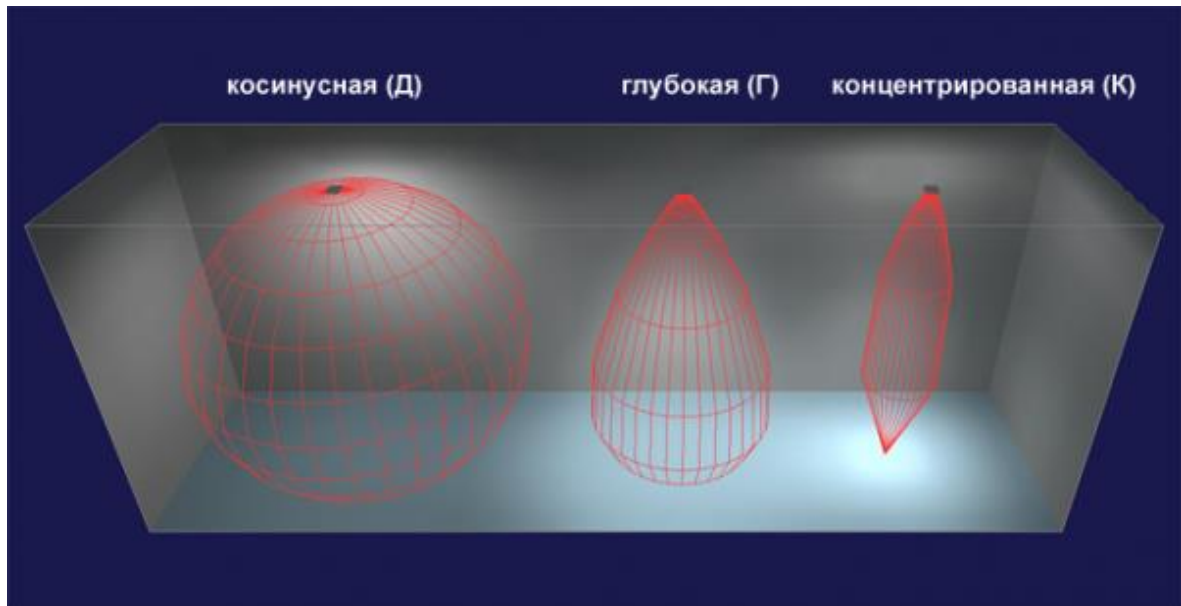


Рис. 1. Типы фотометрических тел

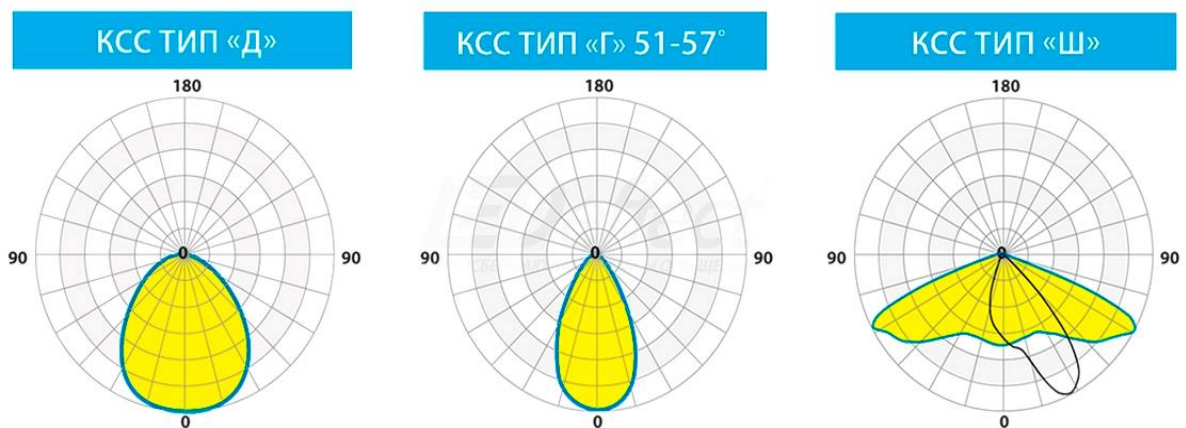


Рис. 2. Типы КСС

Существующие устройства, такие как гониофотометр, производят измерения с большой точностью с маленьким шагом. Сама процедура занимает много времени. Для обеспечения необходимой освещенности на определенной поверхности такая точность не требуется, и проводить измерения с такой точностью дорого.

Разработав макет светотехнической установки в форме сферы и поместив фоторезисторы по внутренней поверхности сферы, можно получить представление о форме фотометрического тела источника оптического излучения. Нами было создано устройство на основе платы Arduino, дающее представление о форме фотометрического тела.

Для визуализации результатов можно использовать Matlab. С помощью Matlab можно анализировать данные, разрабатывать алгоритмы, создавать модели и приложения.

Язык, инструментарий и встроенные математические функции позволяют вам исследовать различные подходы и получать решение быстрее, чем с использованием электронных таблиц или традиционных языков программирования, таких как C/C++ или Java. Matlab по сравнению с традиционными языками программирования (C/C++, Java, Pascal, FORTRAN) позволяет на порядок сократить время решения типовых задач и значительно упрощает разработку новых алгоритмов. Ядро Matlab позволяет максимально просто работать с матрицами реальных, комплексных и аналитических типов данных и со структурами данных и таблицами поиска. Именно поэтому, используя комплексные числа, удалось построить примерную визуализацию результатов исследования фотометрического тела на рис. 3.

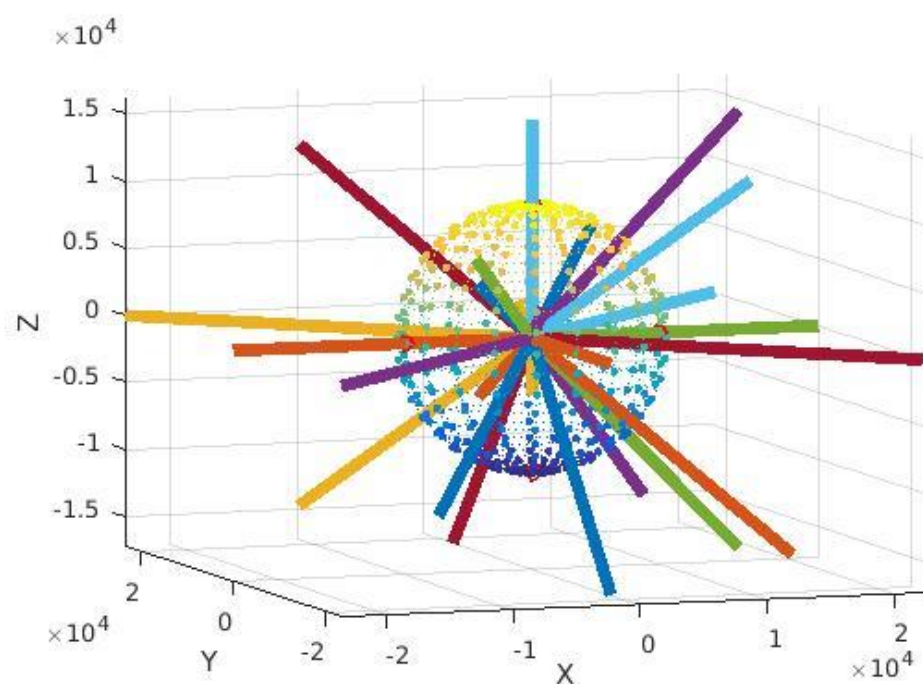


Рис. 3. Пример визуализации векторов силы света

Таким образом, на базе платы Arduino для измерений и, используя среду разработки Matlab для визуализации результатов, было создано устройство для исследования фотометрических тел и дающее представление о распространении света в пространстве от источника оптического излучения.

Литература

1. ГОСТ 16703-79. Приборы и комплексы световые. Термины и определения.
2. Гультяев А. Визуальное моделирование в среде Matlab: учеб. курс. СПб.: Питер, 2000. 430 с.
3. Мартынов Н. Н., Иванов А. П. Matlab 5.x. Вычисления, визуализация, программирование. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ. 2000. С. 336.

УДК: 628.92/.97

СВЕТОВОЙ ОБРАЗ СКВЕРА СУВОРОВА

¹Вишнякова Юлия Аркадьевна, ²Хохлова Анна Алексеевна,
³Толкачева Ксения Петровна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск

¹yulya_1997@mail.ru, ²aah37@tpu.ru, ³tkp@tpu.ru

Освещение парков и открытых пространств помогает создать не только световой образ, но и подчеркнуть уникальность каждой территории. Важной задачей при разработке функционального или декоративного освещения парковых зон является оптимизация затрат электроэнергии. В работе представлен проект с учетом следующих параметров осветительной установки: выбор энергоэффективных световых приборов, оптимальный шаг между опорами.

Ключевые слова: освещение, функциональное зонирование, светотехнический проект, световой прибор, нормы освещенности, шаг световых приборов.

LIGHT IMAGE OF SUVOROV SQUARE

¹Vishnyakova Yliya Arkadevna., ²Khokhlova Anna Alekseevna,
³Tolkacheva Kseniya Petrovna

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

¹yulya_1997@mail.ru, ²aah37@tpu.ru, ³tkp@tpu.ru

Lighting parks and open spaces helps to create not only a light image, but also emphasize the uniqueness of each territory. An important task in the development of functional or decorative lighting of park areas is the optimization of energy costs. The paper presents the project, taking into account the parameters: the choice of energy-efficient lighting devices, the optimal step between the supports.

Key words: lighting, functional zoning, lighting design, lighting device, lighting standards, step of lighting devices.

Комфорт и качественный свет основные инструменты, позволяющие преобразить облик любого пространства. Представленный в работе объект исследования (сквер им. Суворова) на сегодня не имеет комфортного облика в дневное и вечернее время. Основная достопримечательность сквера – новый памятник полководцу Суворову.

Первым этапом работы светотехнического проекта стало зонирование территории (рис. 1), представленное на построенной 3D-модели парка.

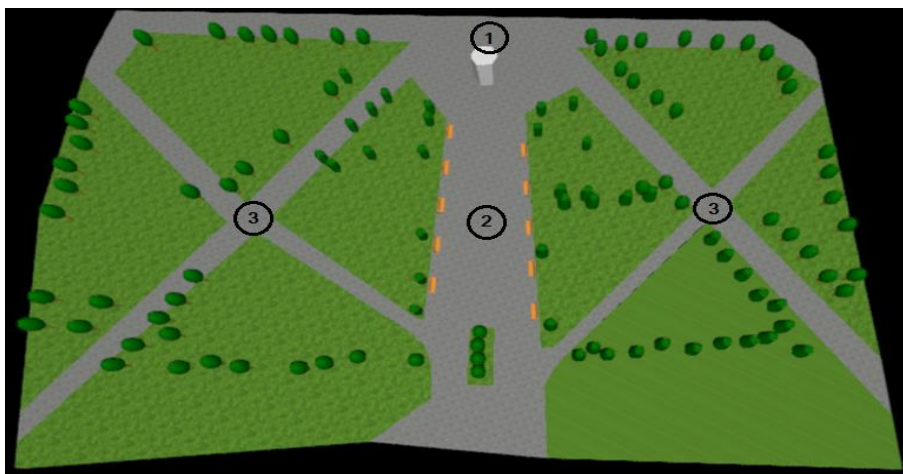


Рис. 1. Зонирование территории сквера:
зона 1 – памятник Суворову и территория вокруг; зона 2 – центральный вход;
зона 3 – второстепенные пешеходные дорожки

В работе предлагается два варианта функционального освещения территории сквера. На рис. 2, 3 представлены дизайн-проекты светового образа сквера.



Рис. 2. Дизайн-проекты освещения (вариант 1)



II

Рис. 3. Дизайн-проекты освещения (вариант 2)

Вариант 1. В зоне 1 для памятника полководцу Суворову используется силуэтное освещение, позволяющее подчеркнуть все грани объекта. Для зон 2, 3 используются световые приборы, позволяющие создать световой рисунок на пешеходных дорожках.

Вариант 2. В зоне 1 представлено заливающее освещение памятника. Для зон 2, 3 предложены традиционные венчающие фонари на опорах.

Дизайн-проект освещения должен не только отражать красивый световой образ, но и соответствовать нормативным требованиям, предъявляемые к искусственному освещению [1]. В табл. 1 представлены расчетные и нормативные светотехнические показатели для зон 2 и 3.

Таблица 1

Значения уровня освещенности (E , лк) и равномерности распределения

$$(U_0 = \frac{E_{\min}}{E_{\text{ср}}})$$

Параметр	Значение по СП 52.13330-2016	Вариант 1		Вариант 2	
		Зона 2	Зона 3	Зона 2	Зона 3
E , лк	20	23	25	31,7	27
U_0	0,3	0,2	0,25	0,59	0,32

Вариант 1, имеющий оригинальное освещение, проигрывает традиционному решению по равномерности распределения (это один из показателей комфортности освещения). Возможен вариант отклонения U_0 расчетного от требуемого связан с шагом между осветительными

установками, что в ПО устанавливается автоматически. В табл. 2 представлен расчет шага между световыми приборами для зоны 2, 3.

Методика расчета представлена в [3].

Таблица 2

Значения L

Зона	Значения L , м (вар 1/вар 2)	
	Расчетные	Программные
Зона 2	2,3/2	5/6,5
Зона 3	4/10	4/9

В заключение можно сделать вывод, что для зоны 3 (второстепенные пешеходные дорожки) оба варианта являются оптимальными, остается сделать только экономические расчет проекты. Для зоны 2 (центральный вход) – возможно увеличить количество световых приборов (так как в методике [3] шаг прямопропорционален количеству СП) или предложить дополнительное декоративное освещение входной зоны.

Литература

1. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Введ. 08.05.2017. М.: МИЭЭ, 2019. 168 с.
2. Щепетков Н. И. Световой дизайн города: учеб. пособие. М.: Архитектура-С, 2006. 320 с.
3. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат, 1995. 528 с.

УДК 621.31

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТОДИОДОВ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

¹Власова Екатерина Алексеевна, ²Рашевская Марина Александровна

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

¹veacat311298@gmail.com, ²mkr@list.ru

В статье описана автономная система наружного освещения, использующая солнечные батареи с литиевыми аккумуляторами и светодиодными светильниками. Несмотря на большие капитальные вложения они имеют определенные преимущества: независимость от внешних источников электроснабжения, экологическая безопасность.

Ключевые слова: автономное освещение, светодиоды, наружное освещение, солнечные батареи с аккумуляторами.

USE OF LEDS IN AUTONOMOUS STREET LIGHTING SYSTEMS

¹Vlasova Ekaterina Alekseevna, ²Rashevskay Marina Aleksandrovna

MPEI, Moscow

¹veacat311298@gmail.com, ²mkr@list.ru

The article describes a designed outdoor lighting system using solar panels with lithium batteries and LED lights. Despite large capital investments, they have certain advantages: independence from external sources of power supply, environmental safety.

Keywords: autonomous lighting, LEDs, outdoor lighting, solar panels with battery.

С приходом электричества в наш быт появились электрические уличные лампы. Первыми лампами были угольные дуговые источники света, далее лампы накаливания, затем газоразрядные: ртутные (ДРЛ), а наиболее часто натриевые лампы высокого давления (ДНаТ) и металлогалогенные (МГЛ). В процессе развития светотехнической отрасли все больше начинают использоваться светодиодные источники света. Они уже достаточно широко используются во внутреннем освещении, а с повышением эффективности и снижением стоимости появилась возможность использовать их для наружного освещения. Сейчас ими освещаются дороги, парки и пешеходные зоны, также они используются для освещения различных спортивных комплексов. Большие возможности дает использование светодиодов различной цветности для декоративного ландшафтного освещения и архитектурно-художественной подсветки зданий и памятников.

Светодиодный светильник – это сложный многокомпонентный прибор. В его составе светодиодный модуль: светодиоды, объединенные на единой плате. Также он включает в себя блок питания: трансформатор, выпрямитель, часто также стабилизатор тока. При изготовлении светодиодных источников не используют опасные вещества, такие как ртуть.

Светоизлучающий диод называют твердотельным источником света, т.к. он является полупроводниковым прибором, излучающим свет при протекании через него электрического тока. Преобразование электрической энергии в световую происходит за счет возбуждения электронов в области *p-n*-перехода [1].

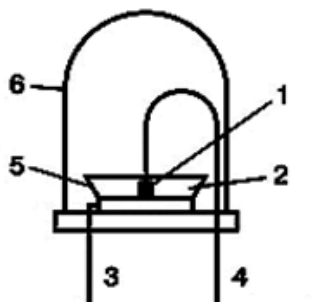


Рис. 1. Устройство светодиода

Основу светодиодов (рис. 1) составляет полупроводниковый кристалл 1, расположенный на проводящей подложке 2. К кристаллу и подложке подводится напряжение через вводы 3 и 4. Кристалл окружен отражателем 5, направляющим свет в одну сторону. От внешних воздействий кристалл защищен корпусом 6 из прозрачной эпоксидной смолы или поликарбоната.

Для питания светодиодов нужен постоянный ток низкого напряжения, величина которого зависит от цветности излучения: у красных светодиодов – это 1,9–2,1 В, у зеленых – 2,5–3 В, у синих и белых – порядка 4 В.

Основную массу выпускаемых в настоящее время светодиодов составляют светодиоды с куполообразным корпусом диаметром 5 мм. Их номинальный рабочий ток – 20 мА. Некоторые фирмы производят светодиоды диаметром 10 мм с рабочим током 40 мА.

В настоящее время достигнуты следующие параметры светодиодов массового производства: световая отдача белых до 55 лм/Вт, красных и зеленых – более 60 лм/Вт. Срок службы на сегодняшний день – 50 тыс. ч. На лабораторных образцах белых светодиодов достигнута световая отдача 125 лм/Вт [2].

Ряд достоинств, таких как высокая надежность, устойчивость к внешним воздействующим факторам (окружающей температуре, влажности, механическим нагрузкам), высокий коэффициент использования светового потока, легкая управляемость, полная экологическая безопасность, способствуют использованию светодиодов в различных проектах, невозможных с использованием других ИС.

Осветительные устройства на солнечных батареях – это технический комплекс, в основе которого лежит принцип автономного электропитания источника света. Автономное питание обеспечивается с помощью фотоэлементов, преобразующих световую энергию в электрический ток, который поступает на вход аккумуляторной батареи, происходит

накопление заряда в зависимости от емкости батареи. Аккумуляторы накапливают электрическую энергию в светлое время суток и расходуют ее, согласно установленной программы контроллера, в вечернее или ночное время. Зарядка осуществляется даже в пасмурную погоду и в зимнее время года. Контроллер не допускает полного разряда аккумулятора.

К аккумуляторам солнечной электростанции предъявляются следующие требования: большой зарядный срок; маленькое значение саморазряда; способность выдерживать большое количество циклов полного заряда и разряда; широкий диапазон температур, при которых аккумулятор может функционировать без проблем; простое обслуживание аккумулятора. На сегодняшний день выпускаются специальные аккумуляторы, предназначенные именно для солнечных батарей. В данном проекте используются литиевые аккумуляторы модели Energy life.

Контроллер в составе системы питания светильника управляет включением и выключением светодиодного светильника, получая сигнал об уровне естественного освещения от фотоэлемента.

Осветительные устройства с солнечными батареями наиболее эффективны в местах, где существует большое количество солнечных дней в году и продолжительный световой день. Комплексы с солнечными панелями незаменимы на объектах, где электричество отсутствует или нет возможности его подключения, а также затруднен доступ к осветительной установке. Особенно это актуально на удаленных автомобильных трассах, где есть требования качественно освещать проезжую часть, пешеходные переходы, стоянки отдыха и другую сопутствующую инфраструктуру, но нет возможности по каким-либо причинам проложить питающую трассу. Осветительные устройства комплектуются светодиодными светильниками мощностью от 25 до 90 Вт. Возможны варианты светодиодного светильника как на низковольтное, так и на 220 В, в зависимости от схемы питания. Плюс низковольтного варианта в том, что нет необходимости заземления светильника. Светотехнические параметры светодиодного светильника (световой поток, тип распределения светового потока в пространстве, цветовая температура) выбираются исходя из нормируемых значений освещенности дорожного полотна, в соответствии с действующим ГОСТом для данной категории дороги.

Расстояние, через которое устанавливаются данные осветительные устройства, высота опоры и конструктивные особенности (дизайн) светильников определяются согласно специфике объекта. Все светодиодные светильники обладают степенью защиты от условий окружающей среды

(проникновения пыли и влаги внутрь прибора), а также устойчивы к вибрациям и при необходимости могут изготавливаться в антивандальном исполнении.

В данной работе рассмотрена тема применения светодиодных осветительных устройств на солнечных батареях для освещения дороги в Крыму или аналогичном по условиям естественного освещения регионе.

Учитывая условия удаленности от пунктов питания наружного освещения, а также незначительную мощность установки и как следствие нецелесообразность устройства дополнительных пунктов питания, а также учитывая климатические условия данной местности с преобладанием солнечных дней в году, в данном проекте принято решение в качестве типа осветительных устройств выбрать автономные светильники с питанием от солнечного модуля, устанавливаемого непосредственно на опору.

Существенным фактором в принятии данного решения, кроме возможности автономного энергопотребления установки, является сведенное к минимуму воздействие на окружающую среду при соблюдении требуемых функциональных и эксплуатационных параметров.

Одним из наиболее важных аспектов является эффективность светодиодного источника света, то есть высокая светоотдача и эффективность солнечного модуля, что напрямую влияет на емкость батареи. Пока еще на сегодняшний день мощность подобного устройства ограничена не столько мощностью светодиодного светильника, сколько емкостью и габаритами аккумуляторной батареи. Поэтому для больших пространств все же целесообразно применять традиционные сетевые схемы питания.

Также большой срок службы позволяет свести к минимуму затраты на эксплуатационные расходы.

На рис. 2 представлена схема монтажа светильника.

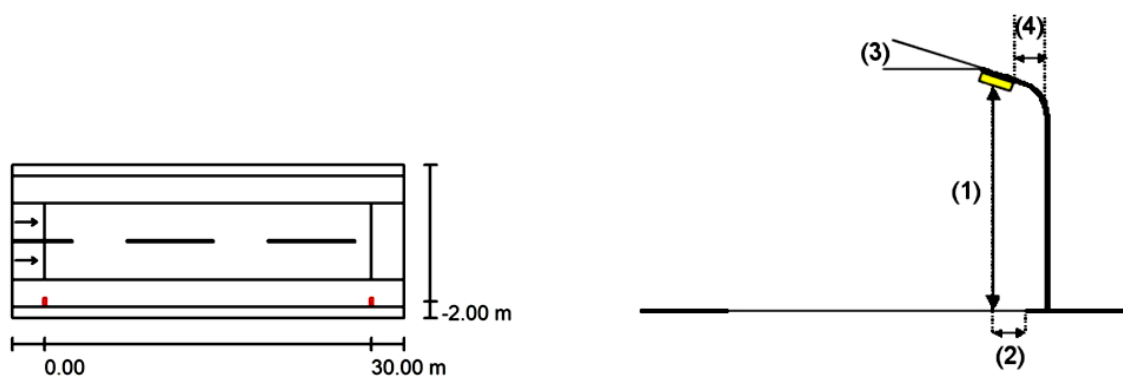


Рис. 2. Схема монтажа светильника: 1 – монтажная высота 10,00 м, 2 – вылет 1,973 м; 3 – наклон консоли 15,0 °; 4 – длина консоли 1,50 м

Характеристики светильников:

- световой поток (светильник) – 9350 лм;
- световой поток (лампы) – 9350 лм;
- мощность светильников – 60,0 Вт;
- расположение контроллера – с одной стороны внизу;
- расстояние между мачтами – 30,00 м;
- наибольшие значения силы света: при 70° – 766 кд/кЛм; при 80° – 86 кд/кЛм; при 90° – 15 кд/кЛм;
- компоновка отвечает классу силы света G3 и классу индекса ослепления D.5.

К конструктивным особенностям данного технического устройства можно отнести различные варианты установки оборудования батареи и контроллера, которые можно установить в отдельном ящике непосредственно на опору или же установить в бокс, предназначенный для установки оборудования в земле. В данном варианте выбрана установка компонентов в термошкафу на опоре, для удобства обслуживания. Установка в земле целесообразна в тех случаях, когда нужно снизить нагрузку на опору, но такой вариант ограничивает удобство обслуживания в зимнее время [3].

В результате расчетов для дороги категории 2, шириной 8 м и необходимой освещенность 10 лк были выбраны светодиодные светильники мощностью 60 Вт с боковым широким светораспределением и цветовой температурой 4000 К. Опора применена высотой 8 м и кронштейн высотой 1,5 м, шаг установки опор 30 м. Емкость батареи 160 А/ч [4].

На рис. 3 представлена расчетная точка для расчета освещенности.

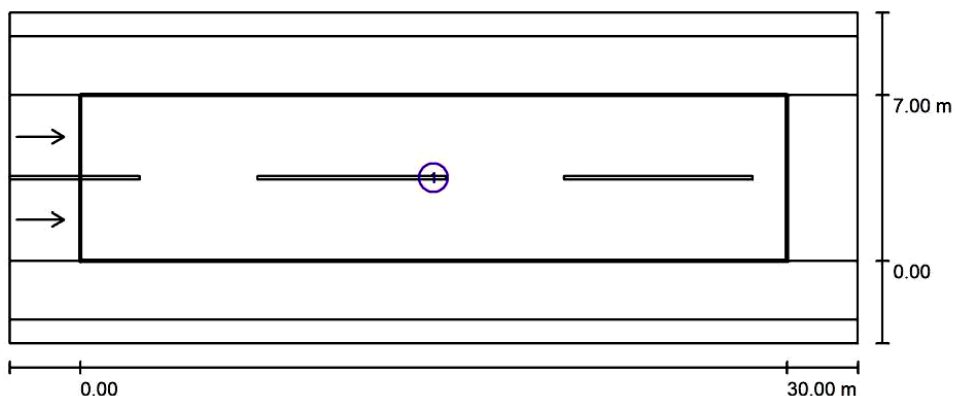


Рис. 3. Расчетная точка для расчета освещенности

Световой модуль мощностью 300 Вт. Данный комплекс обеспечивает работу светодиодного светильника на заданной мощности непрерывно в течение 16–18 ч (за это время заряд батареи снижается не более чем на 50 %).

Светодиодные светильники применены на питание 220 В переменного напряжения. Напряжение аккумуляторной батареи преобразуется до требуемого с помощью инвертора.

На сегодняшний день данный осветительный комплекс позволяет осветить дорогу или пешеходную зону в удаленных и труднодоступных местах, где не требуется высоких уровней освещенности, со значительной экономией за счет отсутствия прокладываемых кабелей и за счет снижения эксплуатационных расходов. Рекомендуется к применению особенно в местах с теплым климатом и отсутствием развитой системы электроснабжения. В дальнейшей перспективе при повышении эффективности светодиодов и фотоэлемента можно будет освещать большие пространства и обеспечивать большую освещенность.

Литература

1. Анчарова Т. В., Рашевская М. А. Проектирование осветительных установок: учеб. пособие по курсу «Потребители электроэнергии». М.: Издательство МЭИ, 2019. 77 с.

2. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Введ. 08.05.2017. М.: МИЭЭ, 2019. 168 с.

3. Указания по эксплуатации установок наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов. Введ. 01.01.2019. М.: Стройиздат. 128 с.

4. ГОСТ Р 58107.1-2018 Освещение автомобильных дорог общего пользования. Нормы и методы расчета. Введ. 03.01.2019. М.: Стандартинформ, 2018. 10 с.

УДК 628.9:519.6

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОХЛАЖДЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

¹Гаврилов Вадим Петрович, ²Карьгин Игорь Петрович, ³Кошин Илья Николаевич

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

¹gavrgvp@gmail.com, ²karyginip@mail.ru, ³koshinin@rambler.ru

Статья посвящена вопросам компьютерного расчета параметров радиаторов охлаждения светодиодов большой мощности. Практика подобного компьютерного моделирования радиаторов охлаждения позволяет снизить как временные, так и материальные затраты при проектировании и производстве световых приборов

на основе светодиодов большой мощности.

Ключевые слова: светодиоды, мощность, радиатор охлаждения, теплоотвод, тепловая модель, расчет.

DEVELOPMENT OF PROGRAMS FOR CALCULATION OF COOLING PARAMETERS OF HIGH POWER LEDS

¹Gavrilov Vadim Petrovich, ²Kargin Igor Petrovich, ³Koshin Ilya Nikolaevich

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk

¹gavrgvp@gmail.com, ²karyginip@mail.ru, ³koshinin@rambler.ru

The article is devoted to the computer calculation of parameters of cooling radiators of high-power LEDs. The practice of computer simulation of cooling radiators allows you to reduce costs in the production of lighting devices based on high-power LEDs.

Keywords: LEDs, power, cooling radiator, heat sink, thermal model, calculation

При разработке световых приборов и систем на их основе с использованием мощных светодиодных источников видимого излучения одним из важнейших требований является обеспечение адекватного отвода тепла от кристалла светодиода. Основной причиной деградации характеристик люминофора, ухудшения показателя светопропускания оптической системы и снижения световой отдачи светодиода является высокая рабочая температура кристалла светодиода. Перегрев кристалла светодиода приводит к смещению спектра в сторону синего цвета в совокупности с уменьшением интенсивности светового потока, что воспринимается как его заметное ослабление. В результате срок службы светодиодного источника света сокращается.

Гарантией заявленных значений светового потока, цветовой температуры и срока службы, а также существенного экономического эффекта применения светодиодов является недопущение возникновения перегрева кристалла светодиода. Создание условий, при которых отвод тепла от кристалла обеспечивает рабочую температуру 100 °С в наихудших режимах, а в нормальных условиях внешней среды находится на уровне 80 °С, является одним из основных факторов применения радиатора охлаждения.

Выбор форм радиаторов для систем принудительного (воздушного) охлаждения огромен: от ребристых и игольчато-штыревых до пластинчатых. При выборе материала для радиаторов охлаждения следует учитывать, что теплопроводность материала 5÷10 Вт/(м·К) достаточна для отвода

выделяемого светодионом тепла. Применение материалов с большей теплопроводностью является технически избыточным и экономически не обоснованным. Радиаторы изготавливаются металлическими (алюминий, дюралюминий, латунь и медь), теплопроводность которых достигает $200 \div 400 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, а также их изготавливают из теплопроводящих полимерных композитов (ТРПК) с теплопроводностью $0,1 \div 0,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Определение температурных режимов светодиодов известно несколькими способами, например: определение падения напряжения на кристалле светодиода в зависимости от его температуры; замена светодиода на подобный резистор (с точки зрения выделения количества теплоты). Кроме того, существует метод измерения температуры на участке «светодиод – контактная площадка – радиатор». Последний метод достаточно объективен. Он позволяет оперативно проверить результаты расчетов, рассмотреть разнообразные виды радиаторов в зависимости от режимов работы и условий эксплуатации светодиода, оценить теплопроводность материалов, используемых при конструировании светодиодного светильника.

В нашем случае предлагается последовательный расчет радиатора, в результате которого будет сделан выбор его конструкции и материала. Вид материала радиатора задается специалистом, проводящим проектирование радиатора в начале расчета. Расчет проводится поэтапно и требует знания характеристик радиаторов охлаждения.

Расчет радиатора мощного светодиода базируется на тепловой модели, предложенной в [1]. Для расчета принималось во внимание тепловое сопротивление между кристаллом и радиатором. В большинстве случаев мощные светодиоды монтируются на печатной плате с подложкой из алюминия. В свою очередь печатная плата монтируется на радиатор охлаждения. Тепловой поток пронизывает весь этот «слоеный пирог» в направлении от светодиода к окружающей среде. Чаще контактное тепловое сопротивление между светодиодом и печатной платой и радиатором достаточно мало по отношению к тепловому сопротивлению между переходом светодиода и местом монтажа, а также местом монтажа и окружающей средой. С целью удержания температуры перехода светодиода ниже максимально допустимого уровня необходимо подобрать радиатор с максимальным температурным сопротивлением не выше расчетного. Заметим, что прямые потери тепла из корпуса светодиода в окружающую среду достаточно малы, и они не учитывались в расчетах.

Исходными данными для расчёта в [1] являются максимальные температуры кристалла и окружающей среды, для определения последней используем методику, описанную в справочниках конструкторов радиоэлектронной аппаратуры. Максимальная температура кристалла принимается согласно технической документации от производителя светодиодов с учетом коэффициента запаса. Это позволит в реальных условиях снизить вероятность перегрева светодиода и обеспечить его требуемый срок службы. Примем за температуру окружающей среды 20 °С, а за температуру допустимого перегрева – 80 °С.

В модели [1] рассматриваются:

- тепловое сопротивление между кристаллом и основанием корпуса светодиода $R\theta_{j-p}$;
- тепловое сопротивление между корпусом светодиода и теплоотводом $R\theta_{p-h}$;
- тепловое сопротивление между теплоотводом и окружающей средой $R\theta_{h-a}^*$.

Таким образом результирующее тепловое сопротивление имеет вид:

$$R\theta_{h-a} = R\theta_{(j-p)\Sigma} + R\theta_{p-h} + R\theta_{h-a}^*. \quad (1)$$

По окончании расчета при соблюдении указанных допущений требуется проведение корректировки размеров элементов с последующим повторным расчетом.

Отличительной особенностью применения радиатора охлаждения светодиода в световом приборе является необходимость отвода тепла, выделяемого светодиодом во вне светового прибора, что усложняет и удорожает его конструкцию. Рациональным вариантом расположения радиатора охлаждения светодиодного источника в световом приборе является совмещение его конструктивно с корпусом. Такое устройство светового прибора упрощает его конструкцию и позволяет на порядок поднять поверхность охлаждения. Применение ТРПК позволит эффективно охладить светодиод и снизить габариты, вес (в среднем на 40 %) и себестоимость изготовления световых приборов на их основе, т.к. не требуется финишная обработка деталей из ТРПК.

На основе вышеизложенной модели теплового расчета мощных светодиодов было разработано программное обеспечение [2], позволяющее смоделировать тепловой режим и получить расчет радиатора для конкретной модели светодиода (рис. 1).

Расчёт радиатора для светодиода

Введите данные

100 предельная температура 50 температура окружающей среды

10 мощность рассеиваемая элементом 2 тепловое сопротивление между корпусом и рабочей областью

2 площадь контакта элем. с радиатором 2 тепловое сопротивление контакта между элементом и радиатором

2 эмпирическая площадь основания 0.983 коэффициент $0 < k < 1$

Выберете профиль и материал радиатора

Ребристый Игольчато-штыревой Пластиновый

Алюминий Дюралюминий Латунь Медь

Введите параметры радиатора (м)

h | Sh

d | d1

Задайте толщину основания радиатора

Результаты расчёта

Удельная мощность рассеивания

Перегрев в первом приближение

Коэффициент эффективной теплоотдачи

Площадь основания

Расчёт

Рис. 1. Интерфейс программы первого этапа расчета радиатора мощного светодиода

На основе вышеизложенной модели теплового расчета мощных светодиодов было разработано программное обеспечение [2], позволяющее смоделировать тепловой режим и получить расчет радиатора для конкретной модели светодиода (рис. 1).

При этом учитываются тип, геометрические параметры и материал радиатора. Обязательным условием является ввод данных по полям «Предельная температура», «Температура окружающей среды», «Мощность, рассеиваемая элементом», «Площадь контакта элемента с радиатором», «Эмпирическая площадь основания», «Температура окружающей среды» и т.д.

На вкладке «Выберете профиль и материал радиатора» предлагается на выбор тип радиатора: ребристый, игольчато-штыревой и пластиновый, а также четыре вида материала: алюминий, дюралюминий, латунь и медь. Затем следует указать требуемые параметры радиатора: высоту, диаметр игольчатого штыря радиатора, расстояние между штырями радиатора, и толщина пластины пластинового радиатора.

Результатам проведенного расчета являются удельная мощность рассеивания, коэффициент эффективной теплоотдачи, площадь основания, температура перегрева и т.д. Полученные здесь результаты носят скорее оценочный характер. Основываясь на них, можно принимать решение о форме и материале радиатора и о возможности его размещения в световом приборе.

Второй этап расчета (рис. 2) позволит получить конкретные значения рассеиваемой мощности при имеющейся температуре окружающей среды, позволит судить о необходимости дополнительной технологической операции чернения ребер радиатора, как и об их количестве, размерах и межреберных расстояниях, а также задается толщина основания радиатора.

тепловой расчет радиатора

Данные для расчета и расчет:

Коэффициент теплопроводности материала ребра, Вт/м*К =

Толщина ребра, мм =

Высота ребра, мм =

Расстояние между ребрами, мм =

Длина ребра, мм =

Количество ребер =

Мощность рассеивания, Вт =

Температура среды, С =

Приведенная степень черноты =

Ориентация радиатора = - Ребрами вверх
 - Вертикальное расположен
 - Ребрами вниз

Рис. 2. Интерфейс программы второго этапа расчета радиатора

При запуске программы кнопкой «Расчет» во вкладке «Результаты расчета» выводятся результаты расчета параметров радиатора: «удельная мощность рассеивания», «перегрев в первом приближении», «коэффициент эффективной теплоотдачи» и «площадь основания».

Важным фактором является положение радиатора в корпусе светового прибора (вверх или вниз ребрами). Этот фактор также учитывается программой при расчете.

В левом нижнем углу окна программы размещена кнопка «Данные в качестве примера». При ее использовании все исходные для расчета поля заполняются усредненными данными, так называемый «стандартный набор» значений для расчета радиатора. Такое предложение исходных данных оказывается полезным для студентов, изучающих основы конструирования световых приборов на основе светодиодов. На свободном поле окна программы расположен эскиз радиатора, который необходим для ориентации при выборе исходных данных. Пункт «коэффициент теплопроводности материала» отображает материал необходимый для изготовления радиатора.

Представленная в статье программа [2] предназначена для инженерных и научных работников, а также студентов и аспирантов с целью предварительной оценки параметров теплового режима разработанных световых приборов на основе мощных светодиодных источников излучения.

Литература

1. Полищук А. Обеспечение теплового режима мощных светодиодных ламп при разработке светотехнических устройств // Современная электроника 2006. № 3. С. 42–45.

2. Карьгин И. П., Кошин И. Н., Смольянов А. Г. Программа теплового расчета светодиодов. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012616164, Россия, 16.05.2012.

УДК 628.041.753.415

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКВАРИУМНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

¹Горбунов Алексей Алексеевич, ²Панкратов Олег Викторович

¹ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

¹alexds@mail.ru, ²pancratow.oleg2011@yandex.ru

Наличие света очень важно для рыб, которые заселяют аквариум, а также для находящихся в аквариуме растений, даже для бактерий. На данный момент свет аквариумных люминесцентных ламп остается наиболее популярным способом

освещения аквариумов. Помимо основных критериев выбора (мощность, длина) необходимо учитывать световой спектр излучения ламп. К световому спектру особенно требовательны аквариумные растения. Так, для успешного фотосинтеза растений требуется наличие двух узких цветовых диапазонов – фиолетово-синего (около 440 нм) и красно-оранжевого (приблизительно 660–700 нм).

Существует ряд особенностей при создании наиболее оптимальной и приближенной к естественным условиям световой среды и их нужно обязательно учитывать при подборе типа ламп и их комбинаций.

В данной статье представлены экспериментальные данные исследования спектральных характеристик аквариумных люминесцентных ламп.

Ключевые слова: люминесцентная лампа, аквариум, спектр, характеристики, люминофор, длина волны.

RESEARCH OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF AQUARIUM LUMINESCENT LAMPS

¹Gorbunov Aleksei Alekseevich, ²Pankratov Oleg Viktorovich

¹National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk

¹alexds@mail.ru, ²pancratow.oleg2011@yandex.ru

The presence of light is very important for the fish that inhabit the aquarium, as well as for plants in the aquarium, even for bacteria. At the moment, light from aquarium fluorescent lamps remains the most popular way of lighting aquariums. In addition to the main selection criteria (power, length), it is necessary to take into account the light spectrum of the lamp radiation. Aquarium plants are especially demanding on the light spectrum. So, for successful photosynthesis of plants, two narrow color ranges are required - violet-blue (about 440 nm) and red-orange (about 660-700 nm).

There are a number of features when creating the most optimal and close to natural conditions of the light environment and they must be taken into account when choosing the type of lamps and their combinations.

This article presents experimental data on the spectral characteristics of aquarium fluorescent lamps.

Keywords: fluorescent lamp, aquarium, spectrum, characteristics, phosphor, wavelength.

Освещение – один из основных факторов, определяющих внешний вид интерьера и обитателей аквариума. Искусственное освещение аквариума нельзя недооценивать. Ограничиваться светом от окна, либо от случайно подобранного светильника – это принципиально неверный подход.

Во-первых, вся красота природной окраски рыб будет проявляться в полной мере только в оптимально освещенном аквариуме. Во-вторых, жизнедеятельность, рост и внешний вид аквариумных обитателей напрямую зависят от светового режима. Поэтому нельзя подходить к вопросу искусственного освещения аквариума легкомысленно.

Для эксперимента использовались специальные люминесцентные лампы для аквариумов с разными спектрами: Flora-glo, Aqua-glo, Marine-glo, Sun-glo и Aquastar. Рассмотрим каждую из них подробнее.

Flora-glo – спектральная флуоресцентная лампа для аквариума. Средне-яркая лампа прекрасно подходит для аквариумов с живыми растениями или для террариумов, излучает спектр, способствующий фотосинтезу у растений. Рекомендуется использовать совместно с Sun-glo и Aqua-glo для живых растений, с Marine-glo – для морской окружающей среды [3].

Aqua-glo – специальная лампа, она способствует образованию хлорофилла А и В, оказывает воздействие на рост растений, излучает лиловый свет. Высокая цветовая температура способствует поддержанию окраски рыб. Для более рационального использования данные лампы рекомендуется сочетать с лампами Sun-glo и Flora-glo, иначе возникает опасность чрезмерного роста водорослей. Сочетание Aqua-glo с другими лампами идеально для оптимизации воздействия на окраску рыб и рост растений [1].

Marine-glo – спектральная флуоресцентная лампа. Имитирует глубоководную окружающую среду. Не поднимает температуру в аквариуме, идеальна для роста кораллов, морских рыб, цихлид. Комбинируется с лампами Life-glo и Power-glo [4].

Aquastar – универсальная аквариумная лампа со спектром, близким к тропическому солнечному свету. Лампа подходит как для пресноводных, так и для морских аквариумов, стимулирует рост растений и кораллов благодаря высокой доли красного и синего излучения в спектре, подчёркивает естественные цвета всех обитателей аквариума. Таким образом, Aquastar сосредоточила в себе все свойства необходимые для освещения аквариума в одной лампе [2].

Sun-glo – спектральная флуоресцентная лампа для аквариума, средне-яркая лампа с теплым белым свечением. Она способствует созданию натурального освещения в аквариуме и окраске рыб, рекомендуется использовать совместно с Aqua-glo и Life-glo [5].

Характеристики аквариумных люминесцентных ламп, заявленные фирмами-производителями, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики аквариумных люминесцентных ламп,
заявленные фирмами-производителями

Наименование	Потребляемая мощность, Вт	Цветовая температура, К	Индекс цветопередачи, R_a	Световой поток, лм	Срок службы, ч
Flora-glo	15	2800	–	420	7500
Aqua-glo	15	18000	–	290	7500
Marine-glo	15	–	–	405	7500
Aquastar	18	10000	48	900	10000
Sun-glo	20	4200	–	1300	9000

Исследование электрических и светотехнических характеристик проводилось с помощью спектрометрического комплекса [6, 7].

Результаты исследований электрических и светотехнических характеристик экспериментальных ламп показаны в табл. 2.

Таблица 2

Измеренные электрические и светотехнические
характеристики ламп

Наименование	Сила тока, А	Напряжение, В	Потребляемая мощность, Вт	Цветовая температура, К	Индекс цветопередачи, R_a	Световой поток, лм	Доминирующая длина волны, нм
Flora-glo	0,106	230	13	4127	91	375	–
Aqua-glo	0,108	230	13,1	13159	38	287	–
Marine-glo	0,105	230	13,2	–	–	260	470
Aquastar	0,111	230	13,8	14062	73	479	–
Sun-glo	0,110	230	13,7	4077	61	790	575

Сравнив светотехнические характеристики экспериментальных ламп, представленные фирмами-производителями с измеренными, при помощи спектрометрического комплекса, можно сказать, что заявленная производителем цветовая температура лампы *Flora-glo* отличается от измеренной на 32 %, лампы *Aqua-glo* – на 27 %, лампы *Aquastar* – на 29 %, а вот лампы *Sun-glo* – всего на 3 %.

Световые потоки ламп тоже разнятся: у лампы *Flora-glo* разница составляет 11 %, у лампы *Aqua-glo* практически не отличаются, у лампы *Marine-glo* – 36 %, у лампы *Aquastar* – 47 % и у лампы *Sun-glo* – 39 %.

На рис. 1–3 представлены спектры и диаграммы цветности исследуемых образцов ламп, представленные фирмами-производителями и измеренные при помощи спектрометрического комплекса.

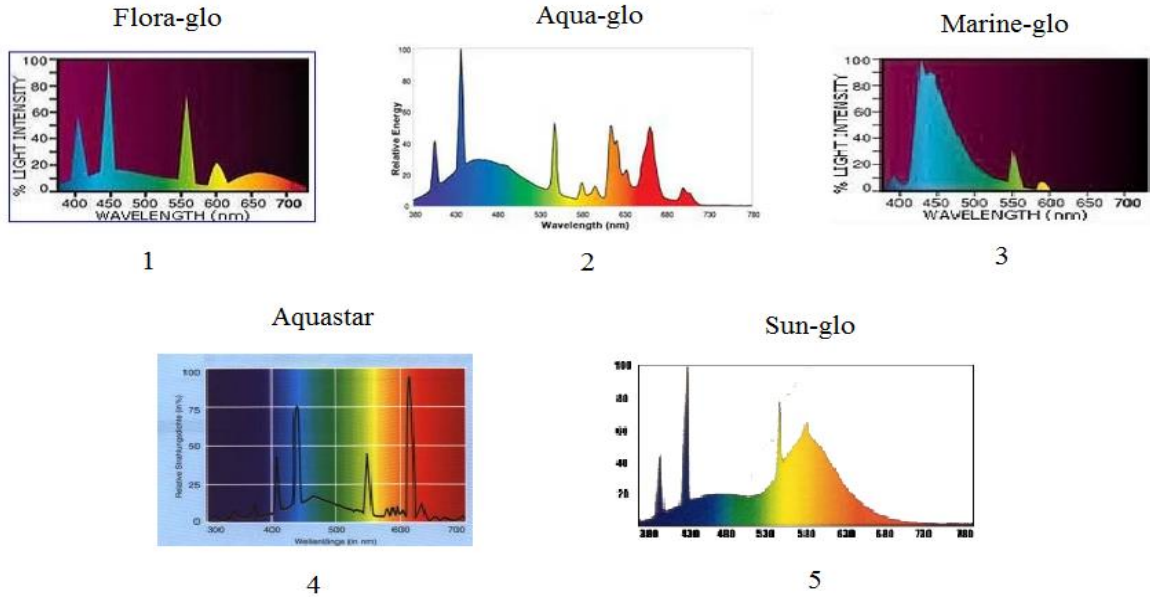


Рис. 1. Спектры излучения исследуемых ламп, представленные фирмами-производителями

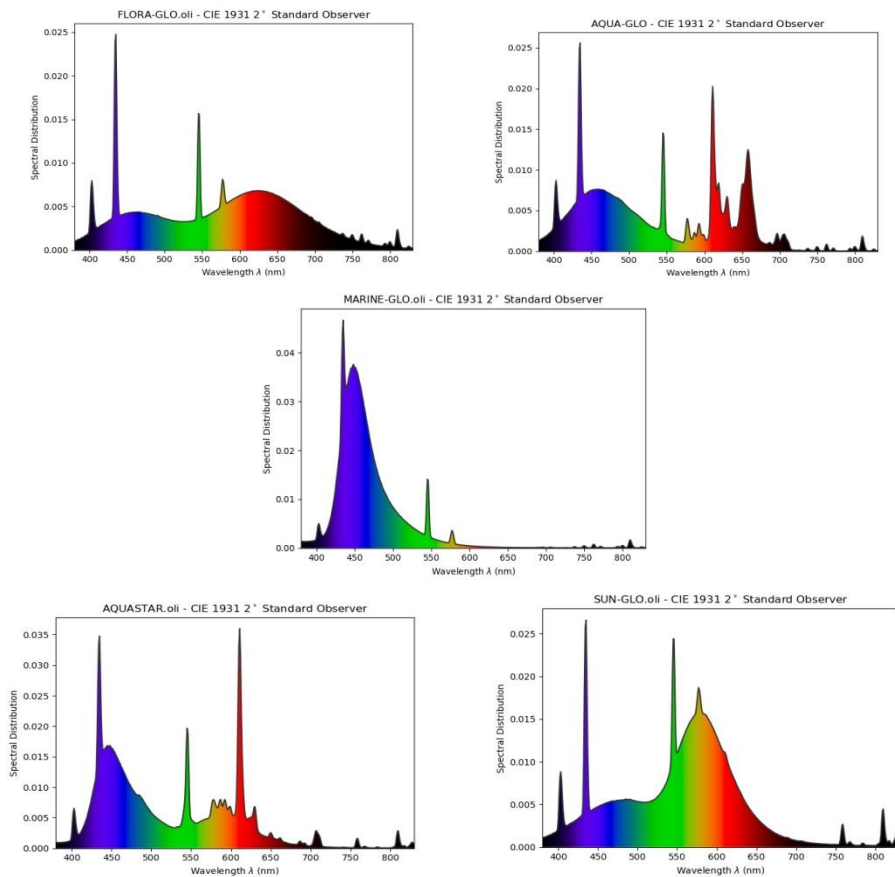


Рис. 2. Измеренные спектры излучения исследуемых ламп

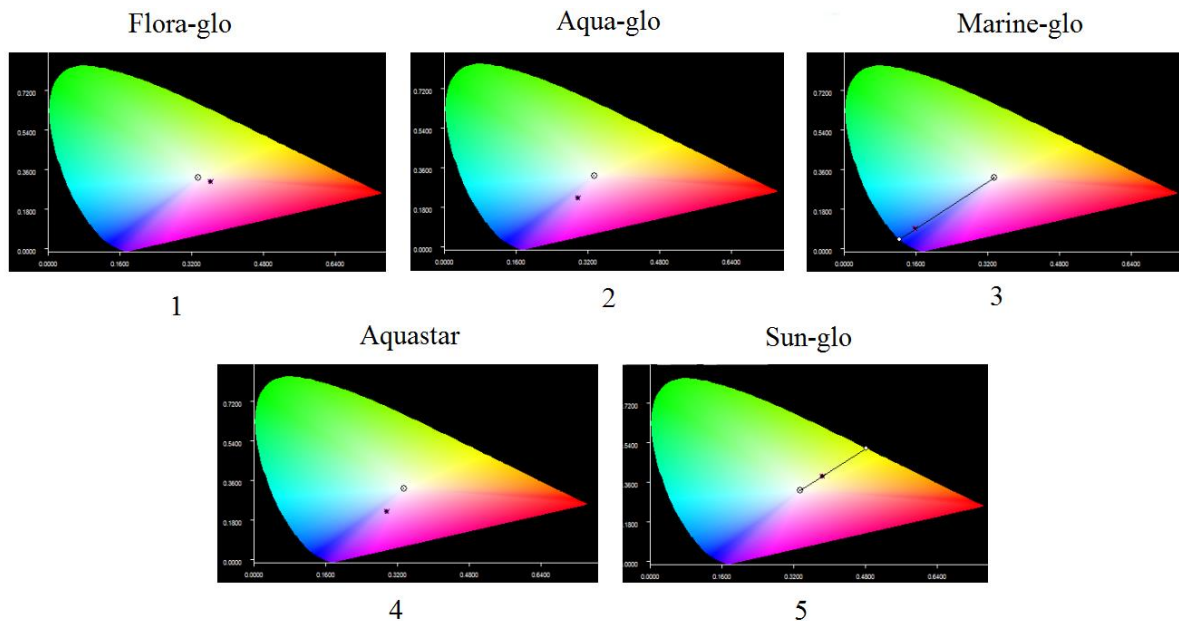


Рис. 3. Измеренные диаграммы цветности исследуемых ламп

Проанализировав полученные результаты, можно сказать, что представленные фирмами-производителями и измеренные спектры всех исследуемых ламп совпадают, за исключением *Aqua-glo*, у которой свечение в оранжевой области спектра (630 нм) оказалось сильнее, чем заявляет производитель.

В спектрах аквариумных люминесцентных ламп преобладают синяя, зеленая и оранжевые составляющие.

В заключение можно сказать о том, что измеренные с помощью спектрометрического комплекса цветовая температура и световой поток экспериментальных ламп значительно отличаются от представленных фирмами-производителями.

Спектры представленных фирмами-производителями исследуемых ламп и полученных в результате исследования совпадают, за исключением лампы *Aqua-glo*, свечение которой в оранжевой области спектра отличается от представленного фирмой-производителем.

Литература

1. Аквариумная люминесцентная лампа *Aqua-glo* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aqplus.ru/shop/hagen/lampa-aqua-glo-15-bt-43-74-sm-t8-hagen-ag15.html> (дата обращения: 30.01.2020).

2. Аквариумная люминесцентная лампа *Aquastar* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.biosalon.ru/shop/osveshchenie/lampy-t8/lampa-sylvania-aquastar-t8-18vt-60sm-2c-tsokol-g13-detail> (дата обращения: 30.01.2020).

3. Аквариумная люминесцентная лампа Flora-glo [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aquatovar.com/product/flora-glo-15/> (дата обращения: 30.01.2020).

4. Аквариумная люминесцентная лампа Marine-glo [Электронный ресурс]. URL: <https://juwel-aquarium.ru/magazin/tekhnicheskoe-osnashchenie-akvariuma/osveshchenie/lampy-t8-diametr-26mm/akvariumnaya-lampa-hagen-marin-glo-15-vt/> (дата обращения: 30.01.2020).

5. Аквариумная люминесцентная лампа Sun-glo [Электронный ресурс]. URL: <https://juwel-aquarium.ru/magazin/tekhnicheskoe-osnashchenie-akvariuma/osveshchenie/lampy-t8-diametr-26mm/akvariumnaya-lampa-hagen-sun-glo-20-vt/> (дата обращения: 30.01.2020).

6. Горбунов А. А., Балакин А. В., Микаева С. А. Исследование характеристик специальных люминесцентных ламп для подсветки аквариумов в сравнении с традиционными люминесцентными лампами // Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 12. С. 553–554.

7. Козлов И. Н., Балакин А. В., Горбунов А. А. Использование специальных люминесцентных и светодиодных источников света для подсветки аквариумов // Матер. XX науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва в 3 ч. Саранск, 2016. С. 104–108.

УДК 628.9:621.382.2

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ СВЕТОДИОДАМИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

¹Едунов Роман Владимирович, ²Синицына Людмила Васильевна

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

¹edunov.97@mail.ru, ²lvsinitsina@mail.ru

Статья посвящена разработке методики экспериментальных исследований эффективности освещения светодиодами при выполнении производительных зрительных работ.

Ключевые слова: светодиодное освещение, экспериментальные исследования, критическая частота слияния мельканий, эффективность.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFICIENCY OF LED LIGHTING IN THE PERFORMANCE OF INDUSTRIAL VISUAL WORKS

¹Edunov Roman Vladimirovich, ²Sinitsina Lyudmila Vasilevna

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk

¹edunov.97@mail.ru, ²lvsinitsina@mail.ru

The article is devoted to the development of a methodology for experimental studies of the efficiency of LED lighting when performing productive visual work.

Key words: LED lighting, experimental studies, critical flicker fusion frequency, efficiency.

Правильно организованное промышленное освещение повышает производительность труда, качество производимой продукции, снижает брак и вероятность производительного травматизма.

Исходя из этого, можно говорить о том, что исследование воздействия светового цвета, создаваемого светодиодами (СД) на орган зрения и возможность применения СД для целей внутреннего освещения без ущерба для здоровья человека на сегодняшний день более чем актуально. Целью данной статьи являлись разработка методики и ее апробация для оценки эффективности условий освещения СД при выполнении зрительных работ [1].

Для оценки эффективности условий освещения при выполнении напряженных зрительных работ производственного характера нами использованы следующие методики: показателей критической частоты слияния световых мельканий (КЧСМ) и субъективной оценки условий освещения.

Установлено, что КЧСМ как зрительная функция зависит от многих факторов, таких как: яркость наблюдаемой картины; отношение светлой части периода ко всему периоду; глубина модуляций яркости при мельканиях (амплитуда модуляций); угловой размер поля зрения; форма кривой, выражающей повышение и понижение яркости в процессе мельканий.

Измерение КЧСМ проводилось при помощи специального комплекса для психофизиологических исследований КПФК-99М «ПСИХОМАТ». Порядок проведения измерения КЧСМ был следующий:

- испытуемый должен подтвердить уяснение смысла задания;
- испытуемый должен наблюдать световой сигнал на приборе. Если наблюдались мелькания света, то нажать правую кнопку, если мельканий не было – то левую;
- испытуемый должен выполнять задание до сигнала окончания теста.

Измерение заканчивалось при достижении величины изменения периода 1 мс. По окончании работы комплексом выдавалось значение КЧСМ.

КЧСМ определялось как среднее арифметическое значение из трех полученных результатов измерений. Затем в течение 90 мин проходила напряженная зрительная работа. После работы КЧСМ измерялась повторно.

По окончании зрительной работы наблюдатели заполняли анкеты субъективной оценки световой среды.

Субъективные методы оценки необходимо использовать для максимального и всестороннего изучения влияния на человека светоцветовой среды. Это объясняется тем, что психологическое воздействие света определяет общую среду и соответственно субъективное впечатление. Существенным достоинством метода субъективного оценивания являлась его доступность.

Анкета обязательно заполнялась в ходе каждого эксперимента. В начале наблюдатели давали оценку своему самочувствию и настроению. Те анкеты, где эти два показателя были ниже удовлетворительного, не использовались при обработке. Остальные вопросы были направлены на оценку основных характеристик освещения и психоэмоциональное состояние наблюдателя.

В анкетах субъективной оценки учитывались ответы наблюдателей по таким пунктам, как: пульсация, неравномерность освещенности в рабочей зоне, качество цветопередачи ИС и общая оценка условий освещения.

В табл. 1 в качестве примера представлены результаты измерений показателя КЧСМ для 300 лк одного из наблюдателей.

Таблица 1

Результаты измерения КЧСМ одного из наблюдателей

Дата	До работы		После работы	
	Критический период, мс	Критическая частота, Гц	Критический период, мс	Критическая частота, Гц
1	2	3	4	5
1 день	24,22	41,29	25,78	48,79
2 день	25,78	38,8	26,08	37,57
3 день	24,22	41,29	24,22	41,29
4 день	28,9	36,2	20,05	55,97

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
5 день	25,31	39,94	20,57	55,13
6 день	25,93	38,58	28,9	36,2
7 день	28,9	36,23	26,3	38,46
8 день	24,74	40,45	20,31	52,37
9 день	24,22	41,29	19,06	58,87
10 день	24,22	41,29	19,06	58,87
11 день	28,9	55,97	22,18	49,05
12 день	14,6	71,11	11,56	98,2
13 день	20,05	55,97	14,06	71,11
14 день	24,22	41,29	20,05	55,97
15 день	24,22	41,29	17,18	61,63
16 день	28,9	36,23	14,06	71,11
17 день	24,22	41,29	28,9	36,2
18 день	24,22	41,29	14,06	71,11
19 день	11,72	85,33	6,56	152,38
20 день	24,22	41,29	14,06	71,11
21 день	24,22	41,29	16,56	88,96
22 день	24,22	41,29	20,05	55,97
23 день	24,22	41,29	16,56	85,96
24 день	24,22	41,29	24,22	41,29
25 день	24,22	41,29	24,22	41,29
26 день	24,22	41,29	24,22	41,29
27 день	24,22	41,29	24,22	41,29
28 день	24,22	41,29	24,22	41,29
29 день	24,22	41,29	14,06	71,11
30 день	24,22	41,29	24,22	41,29
31 день	24,22	41,29	24,22	41,29
32 день	24,22	41,29	24,22	41,29
33 день	24,22	41,29	14,06	71,11
34 день	24,22	41,29	24,22	41,29
35 день	24,22	41,29	24,22	41,29
Среднее значение	24,58	43,45	20,19	57,27
Дисперсия	7,95	91,87	99,13	518,64
Среднеквадратическое отклонение	2,86	9,72	5,45	23,1

Анализ результатов КЧСМ для первого наблюдателя показал, что для уровня освещенности в 300 лк после выполнения зрительной работы критический период уменьшился на 4,39 мс, а критическая частота увеличилась на 13,82 Гц.

Данные статистической обработки полученных результатов отдельных наблюдателей дали возможность провести обработку данных всех наблюдателей совместно. В табл. 2 представлены средние значения измерений для каждого наблюдателя. В табл. 3 представлены результаты среднего значения КЧСМ всех наблюдателей до и после зрительной работы для уровня освещенности 300 лк.

Таблица 2

Результаты исследования наблюдателей показателей КЧСМ
каждого наблюдателя

Наблюдатель	До работы		После работы	
	Критический период, мс	Критическая частота, Гц	Критический период, мс	Критическая частота, Гц
1	24,58	43,45	20,19	57,27
2	29,37	35,15	29,43	34,90
3	22,34	45,01	23,16	43,26
4	23,45	42,67	23,92	41,85
Среднее значение	24,92	41,57	24,19	44,32

Таблица 3

Результаты исследования наблюдателей показателей КЧСМ
каждого наблюдателя

Показатели	До работы		После работы	
	Критический период, мс	Критическая частота, Гц	Критический период, мс	Критическая частота, Гц
Среднее арифметическое	24,92	41,57	24,1	44,32
Дисперсия	12,9	33,76	33	137,8
Среднеквадратическое отклонение	2,1	5,11	3,24	7,98
Доверительный интервал	28,29	46,33	28,1	54,5
	21,57	36,8	19,7	34
Достоверность различий по t – критерию Стьюдента	< 0,05		< 0,05	

В результате исследования по показателям КЧСМ установлено, что при выполнении зрительных работ наблюдается изменение КЧСМ в процессе эксперимента, однако этот процесс обратим – к началу следующего дня показатели восстанавливались до исходных значений. Так-же установлено, что освещение СД второго поколения не оказывает угнетающего действия на центральную нервную систему.

Анализ анкет субъективной оценки наблюдателей показывает, что наблюдатели положительно оценили различные качественные характеристики освещения СД. О благоприятных условиях освещения для наблюдателей при выполнении зрительно-напряженных работ позволяет судить тот факт, что незначительное количество анкет субъективной оценки содержало предложение об изменении условий освещения.

Литература

1. Амелькина С. А., Железникова О. Е., Сеницына Л. В. Эффективность светодиодного освещения. Саранск: Издатель Афанасьева В. С., 2014. 300 с.

УДК: 628.987:621.382.2

ОЦЕНКА ПСИХИЧЕСКОГО И СОМАТИЧЕСКОГО СТАТУСА ОРГАНИЗМА В УСЛОВИЯХ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

¹Железникова Ольга Евгеньевна, ²Кирюхина Светлана Владимировна
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск
sarstf@mail.ru

В статье приведен анализ результатов исследований показателей психического и соматического статусов организма человека (электрокардиографических, электроэнцефалографических и эхоэнцефалографических) в условиях светодиодного освещения.

Ключевые слова: светодиодное освещение, психический и соматический статус, электрокардиограмма, электроэнцефалограмма, эхоэнцефалограмма, нейрокартографические показатели.

THE EVALUATION OF PSYCHIC AND SOMATIC STATUS OF AN ORGANISM IN THE CONDITIONS OF LED LIGHTING

¹Zheleznikova Olga E., ²Kiryuhina Svetlana V.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk
sarstf@mail.ru

The article gives the analysis of the results obtained from the research of indicators of psychic and somatic status of a human organism (electrocardiographic, electroencephalographic, and echoencephalographic) in the conditions of LED lighting.

Keywords: LED lighting, psychic and somatic status, electrocardiogram, echoencephalography, neurocartographic indicators.

Цель данной работы – проведение серии экспериментальных исследований по оценке влияния условий освещения светодиодами на состояние психического и соматического статусов организма при выполнении напряженных зрительных работ.

Организм – это сложная самовосстанавливающаяся система. В качестве основных показателей здоровья организма человека следует использовать уровень его приспособляемости к изменяющимся физиологическим и физическим параметрам, которые зависят от энергообеспеченности клеток организма и его функциональных резервов, основных жизнеобеспечивающих систем [1]. Для оценки психического и соматического статусов организма нами был выбран комплекс следующих методик:

- электрокардиографическое исследование;
- электроэнцефалографическое (ЭЭГ) исследование функциональной активности головного мозга с топографическим картированием его различных отделов;
- эхоэнцефалографическое исследование головного мозга.

На основании предварительных обследований в соответствии с разработанной комплексной методикой сформированы две группы наблюдателей, участвующих в проведении экспериментальных исследований, – контрольная, работающая в условиях люминесцентного освещения, и основная, работающая в условиях светодиодного освещения.

Экспериментальная исследовательская установка, условия и методика экспериментальных исследований подробно описаны в [2–5].

Электрокардиографические (ЭКГ) исследования групп наблюдателей проводились перед серией экспериментов и после ее окончания. Исследования выполнялись как для контрольной группы, работающей

в условиях люминесцентного освещения, так и для основной группы, работающей в условиях светодиодного освещения.

Результаты показателей ЭКГ для контрольной группы представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исследование динамики ЭКГ-показателей для контрольной группы

Показатель ЭКГ	Люминесцентное освещение		
	1-й день	30-й день	60-й день
Частота	67,47±7,53	62,17±5,58	59,35±5,58
<i>R-R</i>	902,53±22,53	980,40±26,99	920,15±30,58
<i>QRS</i>	89,30±2,06	91,27±2,02	93,01±1,98
<i>PR</i>	141,50±14,25	153,53±15,01	160,05±16,08
<i>QT</i>	369,00±3,46	379,10±4,82	388,20±5,8
Ось	53,40±5,12	55,13±4,59	56,90±4,00

При анализе электрокардиограмм (ЭКГ) наблюдателей особое внимание уделялось значениям временных интервалов между некоторыми зубцами, так как отклонение длительности этих интервалов за пределы нормы может свидетельствовать о нарушениях функции сердца. Для всех наблюдателей были построены таблицы изменений по времени обследования частоты сердечного ритма, электрической оси сердца и интервалов между зубцами *R-R*, *QRS*, *PRQT*.

Результаты исследования динамики показателей ЭКГ для основной группы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Исследование динамики ЭКГ-показателей для основной группы наблюдателей

Показатель ЭКГ	Светодиодное освещение		
	1-й день	30-й день	60-й день
Частота	71,00±2,65	72,07±2,53	73,09±2,48
<i>R-R</i>	875,70±30,38	840,03±39,44	830,70±48,80
<i>QRS</i>	90,17±2,15	92,23±2,18	94,47±2,25
<i>PR</i>	145,33±5,96	142,90±5,71	140,43±5,55
<i>QT</i>	370,87±5,36	368,57±5,14	366,72±5,00
Ось	83,80±2,93	83,40±3,23	83,02±3,83

Анализируя динамику показателей ЭКГ (на 1-ый и 60-ый день) у контрольной и основной групп можно заключить, что частота сердечного ритма и временные интервалы ЭКГ наблюдателей находятся в пределах физиологических норм, статистически значимых изменений вышеуказанных показателей (на 60-ый день) в сравниваемых вариантах освещения не установлено.

Результаты ЭЭГ для наблюдателей основной группы, работающей в условиях светодиодного освещения, на 1-ый день исследования показали, что показатели ЭЭГ находятся в пределах допустимых вариантов норм. При дальнейшем воздействии светодиодного освещения (на 30-ый и 60-ый дни) отмечается динамика амплитуды альфа-ритма в центрально-теменных и затылочных областях, она имеет плавно спадающий характер. Наблюдались незначительные изменения амплитуды спектрального пика.

Анализируя показатели амплитуды бета- и тета- ритмов на ЭЭГ у наблюдателей из основной группы, работающих в условиях светодиодного освещения, можно отметить, что амплитуда на 30-ый и 60-ый дни по сравнению с 1-ым остается на прежнем уровне.

При анализе электроэнцефалографических показателей на фоновой записи ЭЭГ отмечено, что альфа-активность – высокого индекса с умеренно выраженными модуляциями альфа-ритма – под действием светодиодного освещения не изменяется. На рис. 1–3 приведены примеры ЭЭГ наблюдателя из основной группы в разные дни обследования.



Рис. 1. ЭЭГ наблюдателя «У» из основной группы на 1-ый день исследования

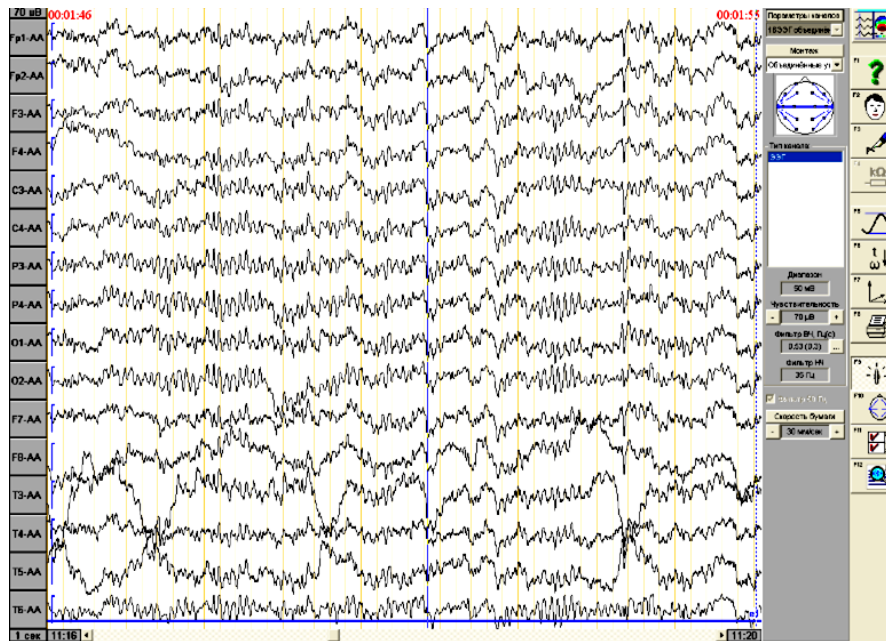


Рис. 2. ЭЭГ наблюдателя «У» из основной группы на 30-ый день исследования

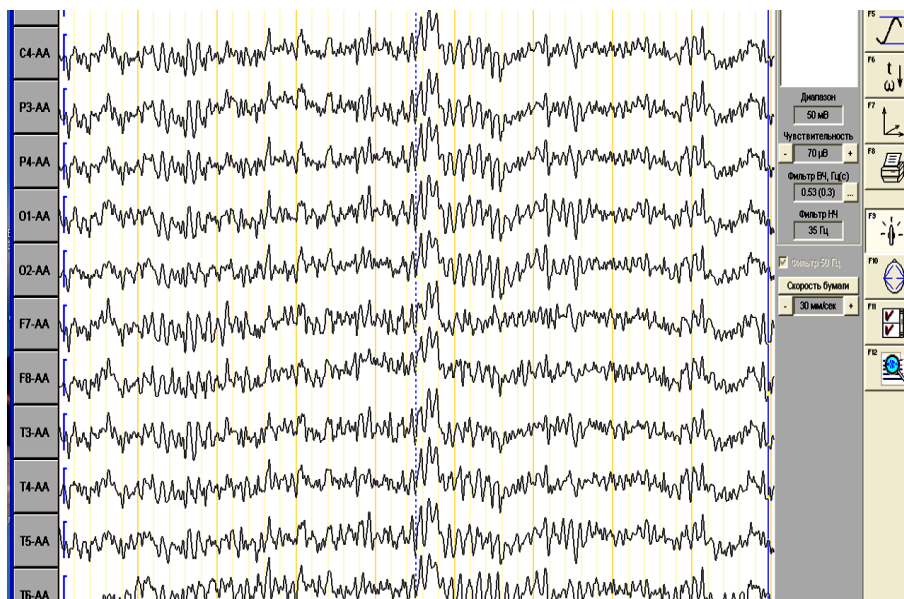


Рис. 3. ЭЭГ наблюдателя «У» из основной группы на 60-ый день исследования

Как следует из рис. 1, альфа-ритм – регулярный, среднего индекса, модуляции амплитуд четкие. На рис. 2 видно, что альфа-ритм регулярный, среднего индекса, модуляции амплитуд четкие, зональные различия хорошо выражены; бета-активность – умеренная.

Как показывает рис. 3, альфа-ритм – нерегулярный, среднего индекса, модуляции амплитуд хорошие, зональные различия выражены; бета-активность – умеренная.

Анализ полученного материала обследования показал, что ЭЭГ в основной и контрольной группах находятся в пределах физиологических норм. Для контрольной группы на 30-ый и 60-ый дни выявлено некоторое подавление активности альфа-ритма, что свидетельствует о развитии несколько большего утомления нервной системы при люминесцентном освещении.

Исследования ЭХО-графических показателей функционирования головного мозга выполнялись как для контрольной группы, работающей в условиях люминесцентного освещения, так и для основной группы, работающей в условиях светодиодного освещения. Для изучения механизмов изменения функциональных показателей головного мозга группы наблюдателей были дополнительно протестированы на 30-ый день исследований.

В контрольной группе статистически значимых изменений ЭХО-графических показателей головного мозга в процессе экспериментальных исследований не выявлено ($p > 0,05$).

Важнейшим критерием ультразвуковой диагностики является дислокация ЭХО-сигналов, измеряемых с правой и левой стороны. В норме эти расстояния одинаковы. В контрольной группе на 30-ый и 60-ый дни на ЭХО-ЭГ смещение срединных структур головного мозга не выявлено. Дополнительные ЭХО-структуры не регистрировались.

В основной группе, проводящей экспериментальные исследования в условиях светодиодного освещения, также статистически значимых изменений ЭХО-графических показателей головного мозга, так же, как и в контрольной группе (на 1-ый и 60-ый день), не выявлено.

Таким образом, анализ результатов обследования в основной и контрольной группах по ЭХО-ЭГ показателям функционирования головного мозга показал, что они находятся в норме, значимых изменений не выявлено. Следовательно, исследованные условия освещения – люминесцентное и светодиодное – по ЭХО-ЭГ показателям равноценны.

В результате исследования нейрокертографических показателей установлено, что они находятся в пределах физиологической нормы как в основной, так и в контрольной группах. Выявлено, что в контрольной группе (люминесцентное освещение) на 30-ый и 60-ый день наблюдается некоторое перераспределение основных ритмов ЭЭГ и их амплитудных взаимоотношений в виде одиночных медленных волн альфа-активности. Возможно, это связано с проявлением действия такого фактора, как спектральный состав излучения.

В ходе экспериментальных исследований установлено, что светодиодное освещение не вызывает вредного действия на организм человека. Имеющие место при выполнении зрительных работ изменения исследованных показателей входят в соответствующие границы физиологических колебаний и имеют обратимый характер.

Литература

1. Апанасенко Г. Л. О возможности качественной оценки здоровья человека // Гигиена и санитария. 1985. № 6. С. 55–57.
2. Amelkina S. A., Zheleznikova O. E. Experimental Research facility with LED Lights // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2015. Vol. 6. № 2. P. 94–100.
3. Zheleznikova O. E., Sinitsyna L. V. Methodological Grounds of Study of Light-Emitting Diode Illumination Effectiveness // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol.10. № 24. P. 44915–44919.
4. Амелькина С. А., Железникова О. Е., Микаева С. А. Экспериментальная исследовательская установка со светодиодными источниками света // Автоматизация. Современные технологии. 2015. №2. С. 37–40.
5. Железникова О. Е., Микаева С. А., Амелькин Э. А. Исследования светодиодного освещения // Справочник. Инженерный журнал. 2015. № 5 (218). С. 61–64.

УДК 628.9:519.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ СВЕТОДИОДА

¹Инюткин Сергей Николаевич, ²Карьгин Игорь Петрович,
³Кошин Илья Николаевич

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

¹sogmatbiu@yandex.ru, ²karyginip@mail.ru, ³koshinin@rambler.ru

Статья посвящена применению микроконтроллеров в цепях питания твердотельных источников света с целью регулирования излучаемых характеристик светодиодов.

Ключевые слова: микроконтроллер, светодиод, световой поток, полупроводниковый элемент, драйверы, метод ШИМ, алгоритм Брезенхема, яркость светодиода.

APPLICATION OF MICROCONTROLLERS IN POWER SUPPLY CIRCUITS OF SOLIDITY SOURCES OF LIGHT

¹Inyutkin Sergej Nikolaevich, ²Kargin Igor Petrovich, ³Koshin Ilya Nikolaevich

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk

¹sogmatbiu@yandex.ru, ²karyginip@mail.ru, ³koshinin@rambler.ru

The article is sanctified to application of microcontrollers in the foodchains of solid-state sources of light, with the purpose of adjusting of the radiated descriptions of light-emitting diodes.

Keywords: microcontroller, light-emitting diode, light stream, semiconductor element, drivers, method of PWM, algorithm of Brezenham, brightness of light-emitting diode.

Светодиодом, или излучающим диодом, называется полупроводниковый диод, генерирующий кванты света при протекании через него прямого тока. Поскольку светодиод – это полупроводниковый элемент, ключевой характеристикой, определяющей яркость его свечения, является не напряжение, а ток, проходящий через него. Для гарантированной работы драйверу необходимо устройство, стабилизирующее ток, протекающий через цепь светодиодов. Драйверы применяются как при питании светодиода от сети 220 В, так и от источников постоянного напряжения 3÷36 В. Первые используются при освещении помещений светодиодными лампами и лентами, вторые чаще встречаются в автомобильных и велосипедных фарах, переносных фонарях и т.д.

Драйвер поддерживает на своем выходе величину заданного тока. Напряжение при этом может меняться. Поэтому подключение светодиодов через драйвер, является предпочтительным, чем от источника питания, т.к. драйвер обеспечивает стабильный ток на светодиоде независимо от изменения напряжения на его входе.

Одной из главных задач управления интенсивностью свечения светодиода является управление яркостью. Для этой цели применяют микроконтроллер. При этом чаще всего микроконтроллер устанавливают в цепи питания светодиода, например в светодиодный драйвер. Блок-схема работы драйвера светодиода под управлением микроконтроллера приведена на рис. 1.

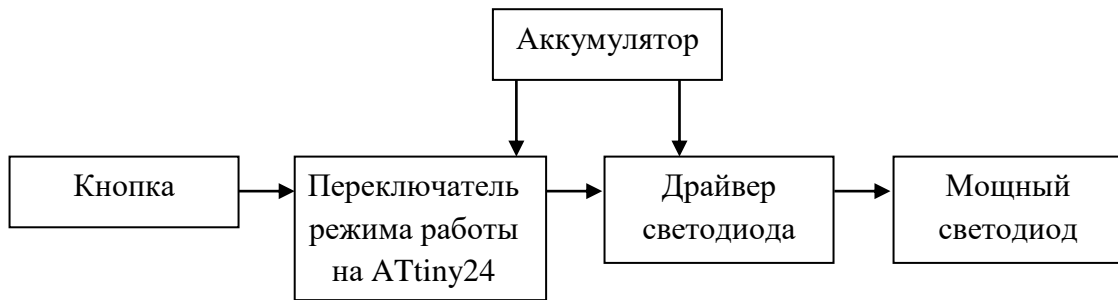


Рис. 1. Блок-схема работы драйвера светодиода под управлением микроконтроллера

Для управления яркостью светодиода необходимо решить задачу регулирования некой аналоговой величины. Для того, чтобы формировать аналоговый сигнал с определенной амплитудой на выводах микроконтроллера, было необходимо использовать метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Метод ШИМ [1] основан на подаче на выход микроконтроллера импульсов с изменяемой скважностью. На каждом шаге ШИМ дает единичный положительный импульс, длительность которого пропорциональна яркости. В этом случае светодиод начинает быстро мерцать, а так как импульсы подаются с относительно высокой частотой, то человеческий глаз вследствие инертности воспринимает данное мерцание как непрерывное свечение. Частота мерцания светодиода равна частоте ШИМ, поэтому, если яркость светодиода мала, а тем более если частота не слишком высока, то это мерцание становится заметным для глаза. Для избавления от мерцания меняют форму управляющего напряжения. Вместо одного большого импульса подают серию, состоящую из коротких импульсов, равномерно распределённых по интервалу той же суммарной длительности. На рис. 2 продемонстрированы ШИМ-диаграммы для разных яркостей светодиода.

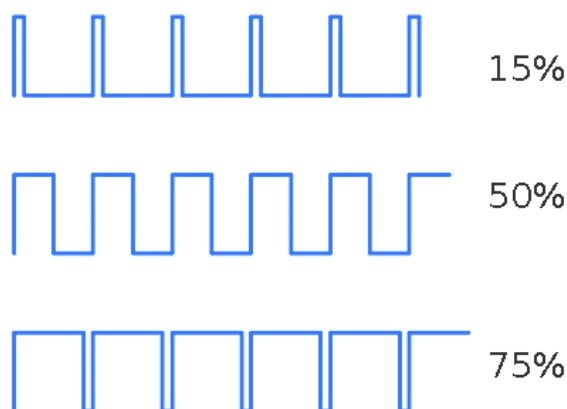


Рис. 2. ШИМ-диаграммы для разных яркостей светодиода

Для равномерного распределения импульсов используют алгоритм Брезенхэма [2], применяемый в машинной графике для построения прямых линий. Определяются точки двумерного растра так, чтобы получить близкое приближение прямой линии между двумя заданными точками. На рис. 3 приведена графическая реализация алгоритма Брезенхэма.

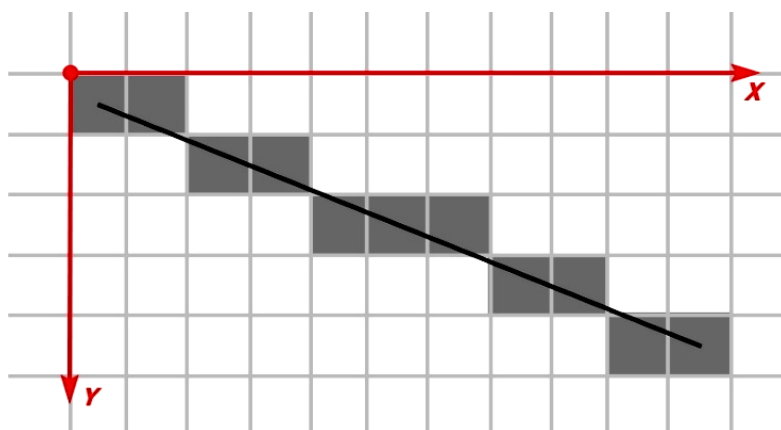


Рис. 3. Алгоритм Брезенхэма

Суть алгоритма заключается в определении нужной для столбца X строки Y , находящейся ближе всего к определяемой линии, и нахождении их пересечения в искомой точке.

Алгоритм Брезенхэма [3] строится в цикле по следующему принципу: на каждом шаге по оси X отслеживается значение ошибки, которое означает вертикальное расстояние между текущим значением Y и точным значением Y для текущего положения, т.е. каждый раз, когда увеличивается значение X , то увеличивается значение ошибки на величину наклона. Например, если ошибка превысила 0,5, то линия стала ближе к следующему значению Y , поэтому увеличиваем значение Y на 1, одновременно уменьшая значение ошибки на 1.

При реализации алгоритма Брезенхэма на микроконтроллере для управления яркостью светодиода следует воспользоваться программной организацией ШИМ [4]. На вход микроконтроллера попеременно подается логическая единица и логический ноль, и все это осуществляется в цикле. Достоинством данного способа будет организация ШИМ на любом входе любого порта микроконтроллера.

Алгоритм работы микроконтроллера в драйвере светодиода представлен на рис. 4.

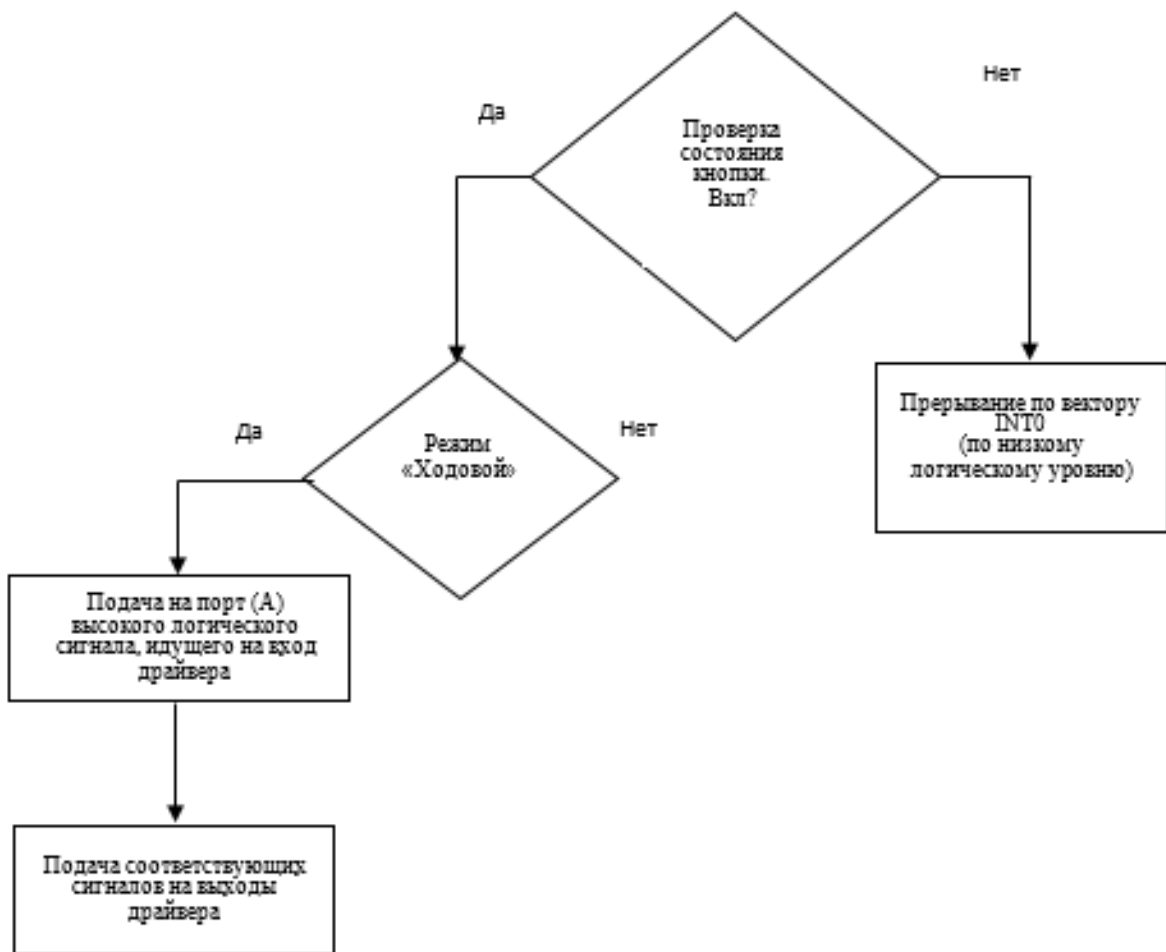


Рис. 4. Алгоритм работы микроконтроллера

Таким образом, применение метода ШИМ, построенного на алгоритме Брезенхема, для управления яркостью светодиода является одним из приоритетных направлений создания систем управления на основе микроконтроллеров. Показано, что применение серии, состоящей из коротких импульсов, равномерно распределённых по интервалу и той же суммарной длительности, более эффективно влияет на процесс управления, чем мощные одиночные импульсы. Анализ действующих моделей питания светодиодов показал, что питание светодиода, удовлетворяющее соотношению цены и качества, оказывается за стабилизатором тока на микросхеме *LTC3454* и микроконтроллера *ATtiny24*, которые в силу практичности, качества и простоты в настоящее время оказывается наиболее удобным и простым вариантом построения цепей питания для светодиода. Микроконтроллер в данной схеме позволяет осуществить режим переключения светодиода

из «обычного» режима в режим «мощный», что позволяет хорошо сэкономить на источнике питания для светодиода. Коэффициент полезного действия драйвера для питания светодиода равен 92 %, что является хорошим показателем для данного типа схем.

Литература

1. Щагин А. В., Бодрова А. А., Логвинов В. И. Основные методы широтно-импульсной модуляции. М.: Символ Науки, 2015. С. 70–71.
2. Алгоритм Брезенхема [Электронный ресурс]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/45490> (дата обращения: 23.11.2019).
3. Алгоритм Брезенхема в построении линии. [Электронный ресурс]. URL: <http://grafika.me/node/9> (дата обращения: 23.11.2019).
4. Алгоритм Брезенхэма. Моя реализация. [Электронный ресурс] URL: <http://we.easyelectronics.ru/Soft/algorithm-brezenhema-moya-realizaciya.html> (дата обращения: 23.11.2019).

УДК 628.941.1

СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

¹Килиба Юрий Владимирович, ²Романов Игорь Владимирович,
³Тимофеев Александр Васильевич, ⁴Богданов Максим Эдуардович
^{1, 2, 4}АО «ОКБ-Планета», г. Великий Новгород
³Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург
secretary@okbplaneta.ru

В докладе отражены результаты разработки и испытаний систем воздушного охлаждения на основе тепловых труб. Системы охлаждения применяются для обеспечения теплового режима осветительных устройств на светоизлучающих диодах. Отводят тепловую мощность до 100 Вт.

Ключевые слова: тепловая труба, система охлаждения, тепловой режим, передача тепла, испарение, конденсация.

LED LAMP COOLING SYSTEMS BASED ON HEAT PIPES

¹Kiliba Yuri Vladimirovich, ²Romanov Igor Vladimirovich,
³Timofeev Alexander Vasilevich, ⁴Bogdanov Maxim Eduardovich
^{1, 2, 4}JSC «OKB-PLANETA», Veliky Novgorod
³SPbGASU, Saint Petersburg
secretary@okbplaneta.ru

The report reflects the results of the development and testing of air cooling systems based on heat pipes. Cooling systems are used to ensure the thermal mode of lighting devices light-emitting diodes. Removing heat power up to 100 watts.

Keywords: heat pipe, cooling system, thermal mode, heat transfer, evaporation, condensation.

Стандартное решение – пассивные радиаторы, широко применяется в настоящее время для обеспечения теплового режима светодиодов, не позволяет эффективно решить проблемы с теплообменом. Из-за малой площади кристалла светодиода от 1×1 до 1,5×1,5 мм и конечной теплопроводности металлов радиатор работает неэффективно, области радиатора удаленные от кристалла могут не принимать участия в теплообмене с окружающей средой.

Повысить эффективность теплообмена светодиодов с окружающей средой позволяет применение тепловых труб (ТТ). Конструкции и технологии изготовления ТТ достаточно хорошо отработаны еще в XX веке [1, 2]. Высокая стоимость ТТ обусловлена их малосерийным производством для применения в космических аппаратах и военной технике. Массовое производство тепловых труб позволит снизить их стоимость. Как следствие, расширится область применения на потребительском рынке, в том числе и в бытовой технике.

Предшественником ТТ является термосифон: в трубу помещается небольшое количество жидкости, затем из трубы откачивается воздух, и она герметизируется. Нижний конец трубы нагревается, что вызывает испарение жидкости и движение пара к холодному концу трубы, где он конденсируется. Конденсат под действием гравитационных сил возвращается к горячему концу. Так как скрытая теплота парообразования велика, то даже при очень малой разности температур между концами термосифона он может передавать значительное количество теплоты.

Тепловая труба по конструкции аналогична термосифону, но в тепловой трубе на внутренней стенке укреплен фитиль, за счет чего конденсат возвращается в испаритель под действием капиллярных сил, что позволяет ТТ работать при условии, когда испаритель находится выше конденсатора, а также в условиях невесомости.

Основное достоинство ТТ – её высокая теплопроводность, которая на два порядка выше теплопроводности такого же по размерам металлического прутка. Таким образом, тепловая труба может из одной точки пространства в другую передать тепловую энергию с малыми потерями, но перемещенную тепловую энергию все-таки придется рассеивать в пространство. У ТТ имеется еще одно полезное свойство, она может работать как трансформатор температуры. Забирая тепло у практически точечного источника тепла, ТТ может равномерно распределить тепловую энергию по основанию радиатора, который неэффективно отводил тепло без применения ТТ

Для обеспечения теплового режима светодиодных ламп наиболее подходящими являются два типа ТТ: алюминиевые профильные ТТ и медные ТТ.

Профильные ТТ изготавливаются методом экструзии из алюминиевого сплава. Профиль уже содержит все необходимые элементы тепловой трубы, фитильную структуру, паропровод внутри трубы и наружные крепежные элементы. Наиболее эффективные и совместимые с алюминием теплоносители ацетон или аммиак. Тепловое сопротивление таких ТТ ниже 0,01 Вт/К, то есть при мощности теплового потока в 100 Вт разность температур между концами тепловой трубы составит менее 1°C, и температурный диапазон эксплуатации – от -60 до +70°C. Недостатками профильных ТТ являются их гравитационная зависимость, зона нагрева должна находиться ниже зоны охлаждения, минимально допустимый наклон 2° к горизонтали.

Медные ТТ различаются по типу фитиля: фитиль в виде спеченного медного порошка, фитиль в виде проволочной плетенки или сетки, фитиль в виде канавок на внутренней стенке. В качестве теплоносителя применяются спирты или вода. Достоинство имеется только у ТТ с фитилем в виде порошка, так как работоспособность ТТ не зависит или незначительно зависит от ее положения в пространстве. ТТ с плетенкой из проволоки или сетки в качестве фитиля и с канавками на стенках проявляют гравитационную зависимость, для их нормальной работы зона

нагрева должна находиться ниже зоны охлаждения, минимально допустимый наклон 2° к горизонтали. Достоинства медных ТТ – дешевизна по сравнению с профильными ТТ, нейтральный теплоноситель – вода, тепловое сопротивление – до $0,01$ Вт/К. Недостатки – вес, сложность сопряжения цилиндрической поверхности ТТ с охлаждаемыми элементами.

Для проведения испытаний были изготовлены два экспериментальных образца систем охлаждения (СО) на основе тепловых труб: материал медь, теплоноситель вода, диаметром 6 мм с фитилем из медной сетки с толщиной пластин радиаторов $0,5$ мм и $0,8$ мм соответственно. Был создан стенд измерения параметров систем охлаждения. Стенд обеспечивает плавную регулировку тепловой мощности, передаваемой зоне испарения тепловой трубы в диапазоне от 50 до 200 Вт до десяти точек измерения температуры. В качестве тепловыделяющих элементов применены транзисторы в корпусе ТО-247. Для обеспечения теплового контакта применяется теплопроводная кремний органическая теплопроводная паста КПТ-8. В дальнейшем стенд может использоваться для испытаний опытной партии [1, 2].

Внешний вид экспериментальной системы охлаждения с толщиной пластин радиаторов $0,8$ мм приведен на рис. 1. Для сравнения параметров также были произведены измерения параметров ближайшего аналога с толщиной ребра охлаждения (ламели) $0,8$ мм производства фирмы FURUKAWA FKHB-WHP-1000-A HS850800-10. Из профиля АВ 9030 ООО Лигра длиной 250 мм был изготовлен радиатор (рис. 2) для сравнения его характеристик с системами охлаждения на ТТ.



Рис. 1. Внешний вид системы охлаждения

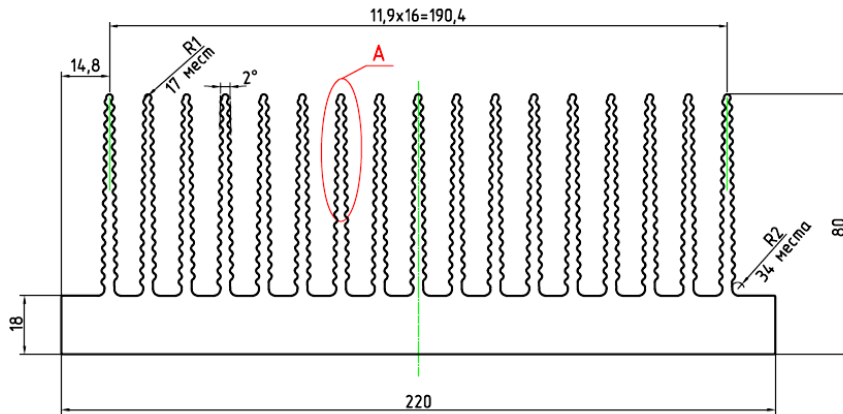


Рис. 2. Профиль радиатора АВ9030, вес п/м=20,9 кг

Точки измерения температур показаны на рис. 3, результаты измерений приведены в таблице.

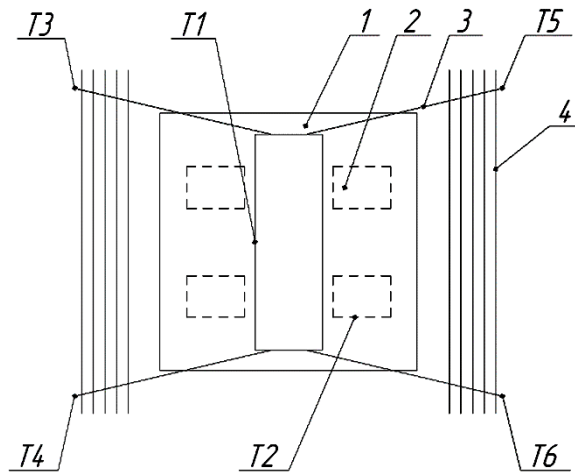


Рис. 2. Точки измерения температур на системах охлаждения:
1 – основа, 2 – нагреватель, 3 – тепловая труба, 4 – ребро радиатора

Результаты измерения температур

Образец	Масса, г	Параметры	Точки измерения температуры					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
Furukawa	917	Температура в точке °С	64,0	70,2	50,4	53,0	51,3	48,9
СО 0,5 произв. «ОКБ-Планета»	869	Температура в точке °С	72,4	78,5	54,2	54,7	55,0	52,3
СО 0,8 произв. «ОКБ-Планета»	1031	Температура в точке °С	63,8	68,8	47,2	51,5	48,2	48,7
Радиатор из профиля АВ9030	4863	Температура в точке °С	64,0	72,0	56,0	56,0	56,0	56,0

По результатам измерений видно, что образец ОАО «ОКБ-Планета» с толщиной ребра радиатора 0,8 мм практически не отличается по своим теплотехническим характеристикам от образца фирмы FURUKAWA. Образец ОАО «ОКБ-Планета» с толщиной ребра радиатора 0,5 мм заметно хуже по своим теплотехническим параметрам двух других образцов. Радиатор из профиля АВ9030 показал почти аналогичные характеристики с образцами на тепловых трубах, при этом его масса в 4–5 раз больше массы образцов СО на тепловых трубах.

По результатам измерений видно, что система охлаждения с толщиной пластин 0,8 мм пригодна для обеспечения теплового режима светодиодных ламп с выделяемой тепловой мощностью до 100 Вт.

Литература

1. Дан П. Д., Рей Д. А. Тепловые трубы / Heat Pipes (перевод с англ. Ю.А. Зейгарника). М.: Энергия, 1979.
2. Ивановский М. Н., Сорокин В. П. Физические основы тепловых труб. М.: Атомиздат, 1978. 256 с.

УДК 621.382.2.:635.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ФИТООБЛУЧАТЕЛЕЙ КОМБИНИРОВАННОГО СПЕКТРА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ САЛАТНО-ЗЕЛЕННЫХ КУЛЬТУР

¹Куршев Александр Евгеньевич, ²Богатырев Сергей Дмитриевич,
³Железникова Ольга Евгеньевна

^{1, 2}ОАО «Ардатовский светотехнический завод», г. Саранск

³ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

sarstf@mail.ru

Представлены результаты фотобиологических исследований, цель которых заключалась в определении предпочтительных требований к спектру фитооблучателей в экспериментальной исследовательской гидропонной установке для светокультуры растений на основе светодиодов комбинированного спектра излучения с учётом видовых особенностей конкретных культур и задач выращивания. Приведены результаты и дана оценка влияния спектральных составов фитооблучателей на основе светодиодов на продуктивность (биомассу) зеленой культуры (салат сорта

«Старфайтер»). Показано, что результаты фотобиологических исследований создадут научный задел для организации производства на ОАО «Ардатовский светотехнический завод» фитооблучателей на основе светодиодов, спектральная плотность потока излучения которых максимально учитывает «предпочтения» салатно-зеленных культур.

Ключевые слова: светокультура, фитооблучатель со светодиодами, спектральный состав, облученность, экспериментальная исследовательская гидропонная установка, фотобиологические исследования, биомасса.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF RADIATION OF COMBINED SPECTRUM LED PLANT ILLUMINATORS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SALAD GREENS

¹Kurshev Alexandr Evgenevich, ²Bogatyrev Sergey Dvitrievich.,
³Zheleznikova Olga Evgenevna.

^{1, 2}JSC "Ardatovsky lighting plant", Saransk

³National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk

sarstf@mail.ru

The results of photobiological studies are presented, the purpose of which was to determine the preferred requirements for the spectrum of phytoradiators in an experimental research hydroponic installation for plant photoculture based on combined-spectrum light-emitting diodes taking into account the specific features of certain crops and growing tasks. The results and the assessment of the spectral compositions effect of LED-based phytoradiators on the productivity (biomass) of green culture ("Starfighter" salad) are given. It is shown that the results of the photobiological research will create a scientific basis for organizing production of phytoradiators based on LEDs at JSC "Ardatovsky Lighting Plant" with their spectral density of the radiation flux maximally taking into account the "preferences" of salad-green crops.

Keywords: photoculture, phytoradiator with leds, spectral composition, irradiance, experimental research hydroponic installation, photobiological studies, biomass.

Целью, принятой в РФ Концепции долгосрочного социально-экономического развития Агропромышленного комплекса до 2020 г., является обеспечение населения качественной сельскохозяйственной продукцией и продовольствием российского производства, в том числе овощной продукцией во внесезонный период. Достижение поставленной цели осуществляется через повышение конкурентоспособности российского овощеводства защищенного грунта [1]. Реализация указанной Концепции

сопровождается активным строительством новых и реконструкцией существующих зимних тепличных комплексов. Несмотря на быстрое развитие светодиодных источников света, в теплицах и фабриках растений в настоящее время традиционно используются облучатели с натриевыми лампами высокого давления (НЛВД) с фитоспектром. Переход же на светодиодное освещение позволит сократить до 50 % расход электроэнергии на светокультуру, затраты на которую составляют около 20 % от всей себестоимости. Достигнув и превзойдя уровень облучателей с фито-НЛВД по энергоэффективности, светодиодные фитооблучатели превосходят их также по возможности оптимизации спектральных характеристик излучения с учетом видовых особенностей конкретных культур и задач выращивания. Именно на основе светодиодов в настоящее время возможно создание фитооблучателей со спектром, необходимым для конкретной культуры [2–4].

Фотобиологические исследования, проведенные в [3], убедительно показывают, что реакция растений (их продуктивность) неаддитивно зависит от спектрального состава и облученности, а поиски универсальных спектров воздействия на продуктивность растений бесперспективны. То есть альтернативы экспериментальным методам оптимизации параметров для светокультуры растений пока не существует.

В связи с этим ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» совместно с ОАО «Ардатовский светотехнический завод» были проведены фотобиологические исследования, цель которых заключалась в определении предпочтительных требований к спектру фитооблучателей и уровням облученности в экспериментальной установке для светокультуры растений на основе светодиодов комбинированного спектра с учётом видовых особенностей конкретных культур и задач выращивания. В качестве объекта исследований была выбрана группа зеленых овощных культур, в частности салат сорта «Старфайтер», являющийся перспективной культурой для хозяйственного выращивания в зимних тепличных комплексах.

Для проведения фотобиологических исследований ОАО «Ардатовский светотехнический завод» была разработана серия фитооблучателей со светодиодами. Спектры излучения фитооблучателей представлены на рис. 1–3.

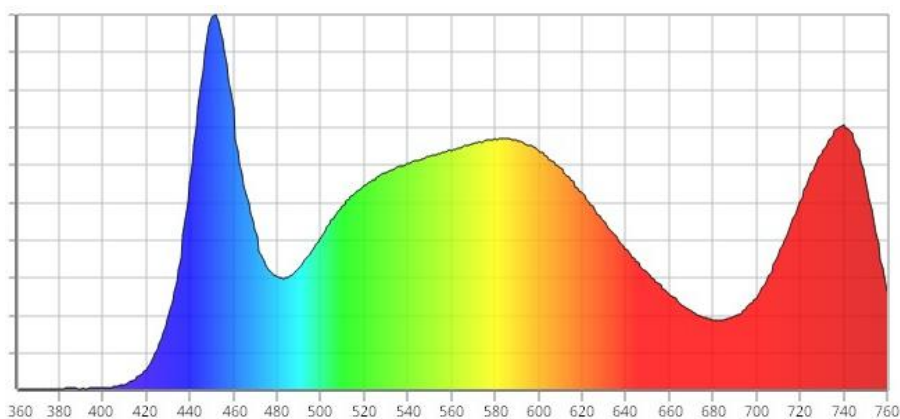


Рис. 1. Спектр излучения фитооблучателя ФО1

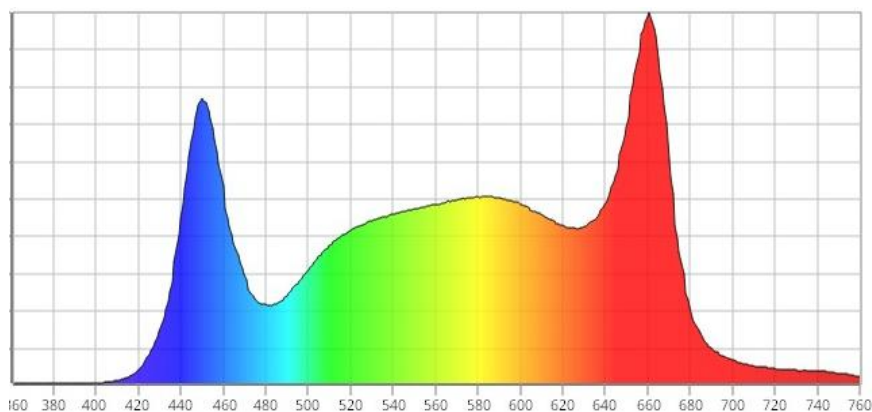


Рис. 2. Спектр излучения фитооблучателя ФО2

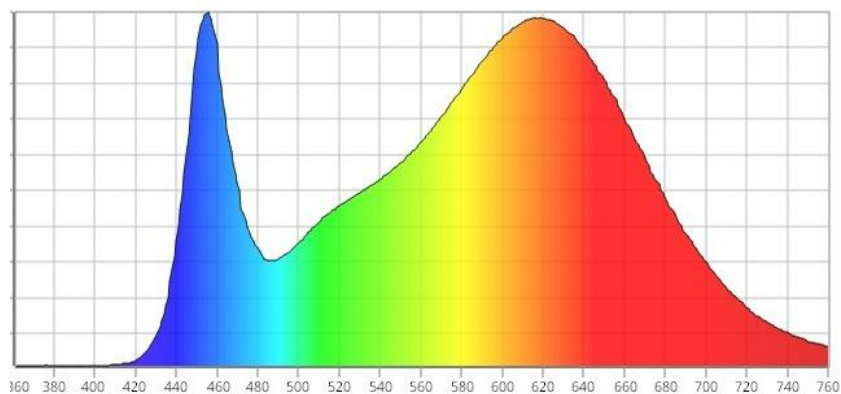


Рис. 3. Спектр излучения фитооблучателя ФО3

Конструкция фитооблучателей предусматривала монтаж четырех светодиодных модулей. В зависимости от требуемого спектра на каждом модуле использовались соответствующие типы светодиодов для создания сплошного спектра и квазимонохроматических участков, например в областях 660 нм, 730 нм.

Каждый модуль фитооблучателя ФО1 включал светодиоды типа FM-P3528WNS-460W-R80 фирмы NationStar с цветовой температурой ($T_{ц}$), равной 6500 К, и светодиоды Cherry Red группы FX1 с пиковой длиной волны $\lambda = 730$ нм фирмы Edison. Фитооблучатель ФО2 собран на основе модулей со светодиодами типа FM-P3528WNS-460W-R80 с $T_{ц} = 6500$ К и светодиодами Deep Red группы EX0 с пиковой длиной волны $\lambda = 660$ нм фирмы Edison. Модуль фитооблучателя ФО3 включал светодиоды FM-CP3030WDS-460W-R80 с $T_{ц} = 4000$ К и светодиоды типа L1SP-PRP1003500000 Purple (12,5 % Blue) фирмы Lumileds.

Для фотобиологических исследований при выращивании салата использовалась экспериментальная исследовательская гидропонная установка (ЭИГУ), которая состояла из 3-х ярусов. Площадь рабочей зоны каждого яруса составляла $0,91 \text{ м}^2$. Над каждым ярусом были закреплены три фитооблучателя (рис. 4).



Рис. 4. Экспериментальная исследовательская гидропонная установка

ЭИГУ была смонтирована в лаборатории искусственного климата ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва». Условия эксперимента соответствовали требованиям фитотронной технологии выращивания салата.

Температура воздуха днем составляла 22 °С, ночью – 18 °С. Полив проводился через каждые 2 ч по 15 мин. Салат выращивался в горшках, наполненных субстратом IZOVOL AGRO Universal. Питательный раствор содержал следующие минеральные удобрения: KH_2PO_4 , K_2SO_4 , MgSO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , Хелфтэм Fe 13 %. Поддерживаемая влажность воздуха составляла 70 % ПВ.

Для облучения верхнего яруса ЭИГУ использовались фитооблучатели – ФО1, среднего – ФО2, нижнего – ФО3.

Фотобиологические исследования проводились в период с 11 декабря 2018 г. по 14 января 2019 г.

При проведении фотобиологических исследований использовалась методика выращивания салатно-зеленных растений по технологии светокультуры, разработанная агротехническим комплексом ГУП РМ «Тепличное».

11 декабря 2018 г. был осуществлен посев семян салата сорта «Старфайтер» без облучения. С 13 декабря по 23 декабря 2018 г. эксперименты проводились при фотопериоде в 24 ч (уровень облученности 115–120 $\mu\text{mol} / \text{с} \cdot \text{м}^2$). С 24 декабря 2018 г. фотопериод составлял 16 ч.

Результаты учета биомассы салата приведены в таблице.

Оценка биомассы салата сорта «Старфайтер»

Дата	27.12.2018 г.	04.01.2019 г.	09.01.2019 г.	14.01.2019 г.
Фитооблучатель	Вес салата, г			
ФО1	61,5 ± 2,7	94,5 ± 3,2	103,5 ± 2,8	120,5 ± 3,85
ФО2	58,0 ± 3,16	114,0 ± 4,19	150,5 ± 4,0	214,0 ± 5,2
ФО3	83,5 ± 3,11	132,5 ± 3,61	161,0 ± 3,9	219,0 ± 5,18

Салат на верхнем ярусе под фитооблучателями ФО1 имеет наименьший вес и очень хрупкий стебель. Корневая система развита слабо. Салат на среднем ярусе под фитооблучателями ФО2 получился с объемной листвой и плотным стеблем. Высота листьев составила в среднем 27 см. Корневая система развита средне. Салат на нижнем ярусе, облучаемый фитооблучателями ФО3, отличается от образцов на других ярусах самой объемной листвой и плотным стеблем. Высота листьев в среднем составила 24 см. Корневая система развита лучше других образцов.

Содержание нитратов определялось в лаборатории ГУП РМ «Тепличное». Нитраты – это промежуточный продукт фотосинтеза, чем их меньше, тем больше глюкозы и витамина С в продукции, что влияет на ее органолептические свойства. Результаты исследований показали, что для всех вариантов этот показатель ниже предельно допустимой концентрации (2000 мг/кг).

Таким образом, наиболее «предпочтительным» для роста салата из трех спектральных составов оказался спектр излучения фитооблучателя ФОЗ, полученный на основе 12 светодиодов типа FM-CP3030WDS-460W-R80, имеющих сплошной спектр и $T_{ц} = 4000$ К, и 12 светодиодов типа L1SP-PRP1003500000 Purple (12,5 % Blue) с квазимонохроматическим спектром излучения.

Результаты фотобиологических исследований создают научный задел для организации производства на ОАО «Ардатовский свето-технический завод» фитооблучателей на основе светодиодов, спектральная плотность потока излучения которых максимально учитывает «предпочтения» салатно-зеленных культур. Применение светодиодов со сплошным спектром излучения в сочетании со светодиодами, имеющими квазимонохроматический спектр излучения, позволит эффективно воздействовать на фотоморфогенетические процессы в растении, достичь эффективности более 3 мкмоль/Дж.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 № 1662-р «О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» [электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_82134/28c7f9e359e8af09d7244d8033c66928fa27e527/.
2. Прикупец Л. Б. Технологическое освещение в агропромышленном комплексе России // Светотехника. 2017. № 6. С. 6–14.
3. Прикупец Л. Б., Боос Г. В., Терехов В. Г., Тараканов И. Г. Исследование влияния излучения в различных диапазонах области ФАР на продуктивность и биохимический состав биомассы салатно-зеленных культур // Светотехника. 2018. № 5. С. 6–12.
4. Куршев А. Е., Рузанкин С. И., Зориков Н. С. Выращивание салата под светодиодными источниками света полного спектра // Теплицы России. 2018. № 2. С. 30–31.

УДК 621.8.035

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОСВЕТИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Махмудов Изатулло Шомуродович

Таджикский национальный университет «ТНУ», г. Душанбе

mahmud_1967@mail.ru

В статье представлены результаты проектирования и разработки осветительных приборов и их применения в учебных и научных целях. Аппаратура также использована для того, чтобы исследовать освещение и энергосберегающие технологии. В данной работе также представлены результаты модернизации и замены светофоров старого образца на ШИФР-светофоры со светодиодными источниками света, расчет потребления электроэнергии и оценка ее стоимости.

Ключевые слова: измерительный прибор, проектирование, исследование, разработка, светодиод, освещения, светодиодный светофор.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF LIGHTING DEVICES FOR RESEARCH AND TESTING OF ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES

Makhmudov Izatullo SHomurodovich

Tajik national University "TNU", Dushanbe

mahmud_1967@mail.ru

The article presents the results of design and development of lighting devices and their application for educational and scientific purposes. The instrument is also used to research lighting and energy saving technologies. This paper also presents the results of modernization and replacement of old-fashioned traffic lights on the CIPHER-traffic lights with led lighting sources, calculation of electricity consumption and evaluation of its cost.

Keywords: measuring instrument, design, research, development, LED, lighting, LED traffic light.

В настоящее время для научно-технической и практической работы используются различные виды приборов и оборудования, то есть фундаментальная или прикладная научная работа не может быть выполнена без оборудования. Сегодня в народном хозяйстве, а именно в области электротехники и светотехники применяются различные типы

приборов для изучения параметров энергосберегающих технологий и др. Целью данной работы является проектирование и разработка измерительного прибора для исследования и испытания светотехнических и энергосберегающих технологий.

В данной работе также изучены и представлены результаты модернизации и замены светофоров старого образца на ШИФР-светофоры со светодиодными источниками света, проведен расчет потребления электроэнергии и оценка ее стоимости. В работе [1] спроектировано и разработано устройство светотепловой ванны с использованием физиотерапевтических ламп для облучения световыми лучами. В данной работе разработаны электроустановки для исследования параметров энергосберегающих технологий, таких как лампы накаливания, светодиодные лампы, компактные люминесцентные лампы и другие осветительные приборы, которые показаны на (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид и проверка измерительного прибора

Как видно из рисунка, корпус устройства изготовлен из органического материала, в нем установлены электротехнические элементы источников света, прибор также оснащен измерительными приборами однофазных электронных счетчиков электроэнергии китайского производства для определения и измерения мощности энергосберегающих технологий. С помощью этого прибора проведены измерения мощности светодиодного светофорного блока с размером рабочей части апертуры равным 300 мм, также был выбран второй объект исследования – светофор старого образца, в котором используется лампа накаливания.

На рис. 2, 3 приведены выбор и проверка светодиодов с мощностью до 15 Вт.



Рис. 2. Испытания светодиода



Рис. 2. Светодиодный кристалл с мощностью 15 Вт

Одним из путей энергосбережения в осветительной технике является использование полупроводниковых светодиодных лампы предназначенных для прямой замены ламп, накаливания. Основным элементом полупроводниковой светотехники является светоизлучающий диод [2].

Расчет расхода электроэнергии и оценка его стоимости для одной старой 3-х секционной модели с использованием электрической лампочкой мощностью в 100 Вт показана в табл. 1.

Таблица 1

**Расчет потребления электроэнергии и оценка ее стоимости
в национальной валюте**

№ п/п	Время эксплуатации	Расход электроэнергии, кВт/ч	Стоимость 1 кВт/ч	Общая стоимость
1	1 ч	100 Вт/ч	10 дирам	1 дирам
2	24 ч	100Вт×24 ч	10 дирам	24 дирам
3	720 ч = 1 месяц	100Вт×720 ч	10 дирам	72 сомони 20 дирам
4	1 год = 12 мес.= 360 сут = 360×24 ч = 8640 ч	100 Вт×8640ч = 864 кВт/ч	10 дирам	86 сомони 40 дирам

Произведем расчет расхода электроэнергии в светофоре старой модели для транспорта и пешеходов, используемого на одном перекрестке. На одном перекрестке используется минимум 8 комплектов транспортного (размер рабочей части апертуры – 300 мм) и 8 комплектов пешеходного (размер рабочей части апертуры – 200 мм) светофоров, т.е. 16 комплектов. За время работы 1 ч 16 комплектов светофоров с размерами (200 мм и 300 мм) расходуют 1,6 кВт/ч, что в данном эквиваленте равно 16 дирам. В течение 24-х ч работы расход электроэнергии 16 комплектов светофоров (200 мм и 300 мм) составит $24 \times 16 \text{ кВт/ч} = 38,4 \text{ кВт/ч}$, что равно 3 сомони 84 дирам. За 30 дней (1 месяц) работы расход электроэнергии составит $720 \text{ ч} \times 16 \text{ комплектов светофоров (200 мм и 300 мм)}$, равно 1152 кВт/ч, т.е. 115 сомони 20 дирам. Аналогично за время работы 1 год расход электроэнергии составит $12 \text{ мес.} \times 1152 \text{ кВт/ч}$, что равно 13824 кВт/ч, следовательно, 1382 сомони 40 дирамов.

Расчет расхода электроэнергии и оценка его стоимости для одной новой 3-х секционной модели светодиодного светофора с мощностью в 15 Вт показана в табл. 2.

Таблица 2

**Расчет потребления электроэнергии светодиодного светофора
и оценка ее стоимости в национальной валюте**

№ п/п	Время эксплуатации	Расход электроэнергии, кВт/ч	Стоимость 1 кВт/ч	Общая стоимость
1	1 ч	15 Вт/ч	10 дирам	0,15 дирам
2	24 ч	15Вт×24 ч	10 дирам	3,6 дирам
3	720 ч = 1 месяц	15Вт×720 ч	10 дирам	1 сомони 8 дирам
4	1 год = 12 мес.= 360 сут = 360×24 ч = = 8640 ч	15 Вт×8640ч= 129,6 кВт/ч	10 дирам	12 сомони 96 дирам

Расчет расхода электроэнергии в транспортном и пешеходном светофоре новой модели, используемом в одном перекрестке проводится аналогично. В одном перекрестке используется минимум 8 комплектов транспортного (300 мм – размер рабочей части апертуры) и 8 комплектов пешеходного (200 мм – размер рабочей части апертуры) светофоров, итого 16 комплектов светофоров. За время работы 1 ч 16 комплектов светофоров (200 мм и 300 мм) расходуют 0,24 кВт/ч, что равно 2,4 дирам. За 24 часа – 5,76 кВт/ч, что равно 57,6 дирам.

За 30 дней (1 месяц) работы расход электроэнергии составит 172,8 кВт/ч, что равно 17 сомони 28 дирам. За время работы 1 год расход электроэнергии составит 2073,6 кВт/ч, что равно 207 сомони 36 дирамов.

Из сравнения расчетных данных видно, что внедрение светодиодных светофоров взамен старой модели приводит к почти семикратной экономии электроэнергии.

Литература

1. Махмудов И. Ш., Холмонов М. М. Разработка и сборка светотепловой ванны с использованием физиотерапевтических ламп в лечебных целях // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: матер. XII Всеросс. науч.-техн. конф. С междунар. участием (Саранск, 15–16 марта 2017 г.) в рамках IV Всеросс. светотехн. форума. Саранск, 2017. С. 270–274.

2. Махмудов И. Использование мощных светоизлучающих диодов в медицинской технике // Матер. республиканской науч.-теор. конф. профессорско-преподавательского состава и сотрудников ТНУ, посвященной «25-летию государственной независимости республики Таджикистан». Душанбе, 2016. С 85.

УДК 621.382.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП С ИЗМЕНЯЕМЫМ СПЕКТРОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

¹Нестеркина Нина Петровна, ²Кузнецов Евгений Александрович

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

¹nesterkina.n@mail.ru, ²kuznecov-e@mail.ru

Статья посвящена исследованию светодиодных ламп с изменяемым спектром излучения. В качестве исследуемых ламп были приобретены лампы серии *BICOLOR* компании *Uniel* в колбах *A60* и *C37*.

Ключевые слова: светодиодная лампа, световой поток, драйвер, цоколь, мощность, напряжение.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE LAYOUT SAMPLE OF THE UV LED LAMP

¹Nesterkina Nina Petrovna, ²Kuznetsov Evgeny Aleksandrovich

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk

¹nesterkina.n@mail.ru, ²kuzneczov-e@mail.ru

The article is devoted to the study of LED lamps with a modichanging spectrum of radiation. Uniel's BICOLOR lamps in the A60 and C37 flasks were purchased as the test lamps.

Key words: LED lamp, light output, driver, base, power, voltage.

На сегодняшний день тенденция замены ламп накаливания, галогенных ламп и компактных люминесцентных ламп на более энергоэффективные светодиодные получает все большее развитие. Сравнительный анализ характеристик светодиодных ламп и традиционных источников света представлен в работах [1–4]. Выбор светодиодных ламп на российском рынке очень широк. В последнее время появились светодиодные лампы с изменяемым спектром излучения, которые могут обеспечить комфортные условия в зависимости от сферы деятельности. Исследование характеристик этих ламп представляется целесообразным.

В розничной торговой сети г. Саранска были приобретены светодиодные (СД) лампы серии *BICOLOR* компании *Uniel* мощностью 9 Вт в колбе *A60* с цоколем *E27* типа *LED-A60-9WE27* и мощностью 6 Вт в колбе *C37* с цоколем *E14* типа *LED-C37-6WE14*. При первоначальном включении СД лампы серии *BICOLOR* ее цветовая температура составляет 3000 К, для изменения цветовой температуры на 4000 К необходимо выключить и включить лампу снова в течение не более чем 15 с.

На рис. 1 приведен внешний вид СД лампы серии *BICOLOR* в колбах *A60* и *C37* [5].



Рис. 1. Внешний вид СД лампы серии *BICOLOR* в колбах *A60* и *C37*

Исследования проводились в лаборатории Центра коллективного пользования «Светотехническая метрология» (Институт электроники и светотехники МГУ им. Н.П.Огарёва) на измерительном комплексе фирмы *Gooch&Housego*, включающем в себя фотометрический шар *OL IS 7600* диаметром 2 м, спектрорадиометр *OL 770 VIS/NIR*, прецизионный источник постоянного тока *OL410-200 PRECISION LAMP SOURCE* для питания вспомогательной лампы [6].

Согласно ГОСТ [7] измерения параметров светодиодов, СД ламп и СД модулей проводят при температуре окружающей среды $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Первоначально было определено время стабилизации характеристик исследуемых ламп, необходимое для достижения стабильных тепловых условий работы лампы [8]. По результатам измерений представлены графики зависимости основных параметров ламп в течение времени стабилизации при первоначальном и повторном включении (рис. 2–5).

Время стабилизации характеристик СД лампы типа *LED-A60-9WE27* при первоначальном включении с цветовой температурой 3000 К составило 255 с, а при повторном включении через 15 с с цветовой температурой 4000 К – 90 с.

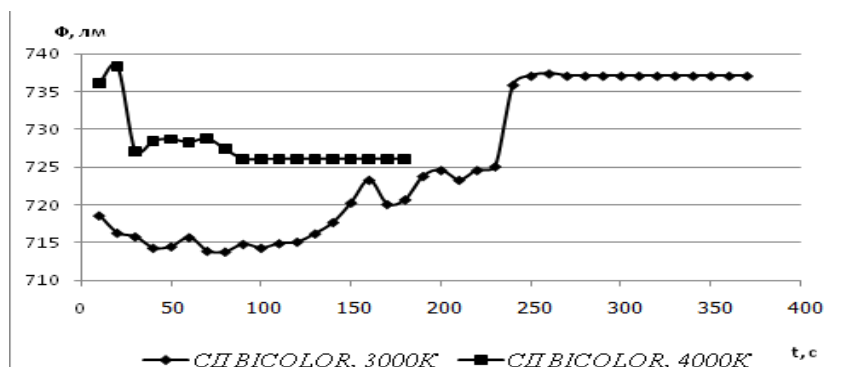


Рис. 2. Изменение светового потока лампы типа *LED-A60-9WE27* в период стабилизации

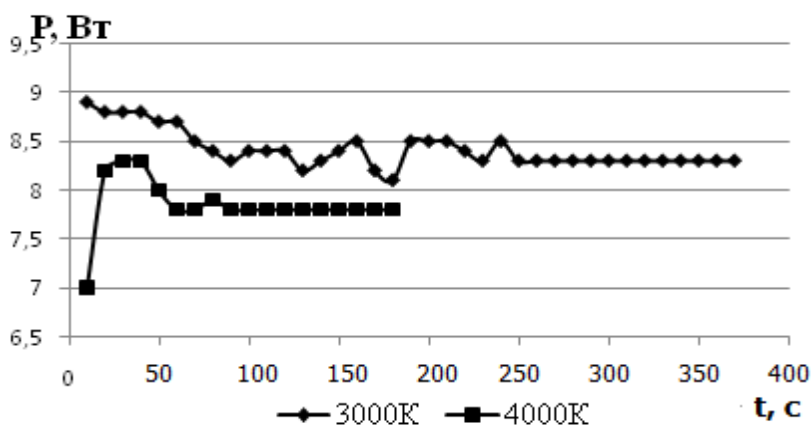


Рис. 3. Изменение мощности лампы типа *LED-A60-9WE27* в период стабилизации

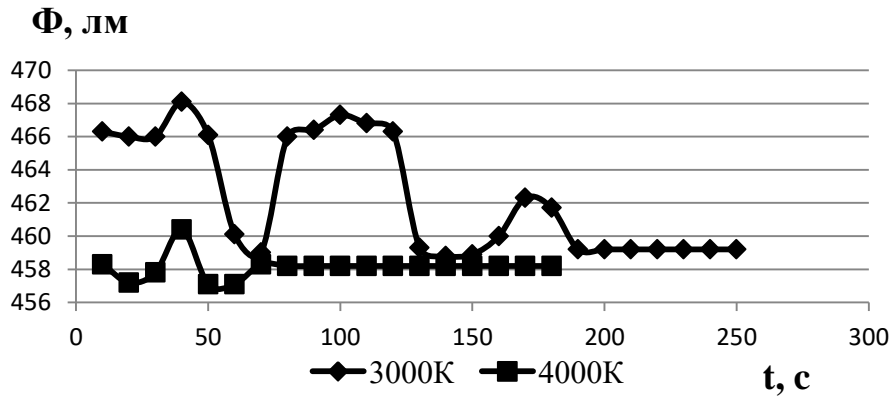


Рис. 4. Изменение светового потока лампы типа *LED-C37-6WE14* в период стабилизации

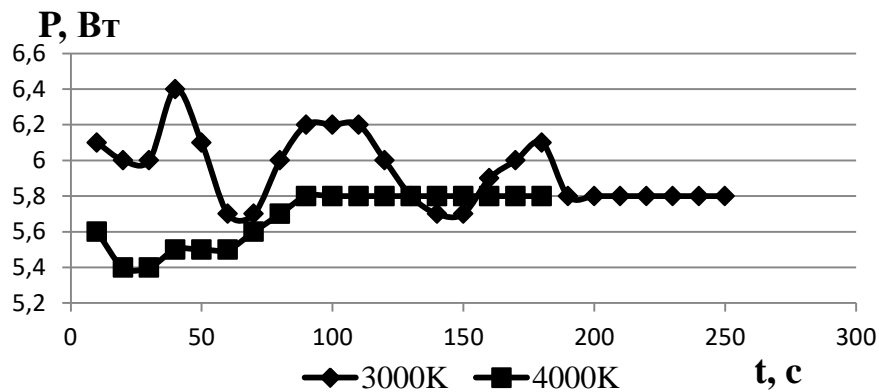


Рис. 5. Изменение мощности лампы типа *LED-C37-6WE14* в период стабилизации

Время стабилизации характеристик СД лампы типа *LED-C37-6WE14* при первоначальном включении ($T_{\text{цв}} = 3000 \text{ К}$) составило 190 с, а при повторном включении ($T_{\text{цв}} = 4000 \text{ К}$) – 80 с.

При повторном включении время стабилизации характеристик СД ламп намного меньше, чем при первоначальном включении, так как СД не успели полностью остыть, и для установления номинального теплового режима работы светодиодов необходимо уже меньшее время.

На втором этапе проводились экспериментальные исследования светотехнических характеристик. Результаты представлены в таблице.

Анализ полученных данных показал, что все измеренные значения характеристик лампы, а именно: цветовая температура, индекс цветопередачи, мощность, коэффициент пульсации, соответствуют заявленным, а световой поток и световая отдача даже несколько выше заявленных значений.

Результаты измерений характеристик СД ламп серии *BICOLOR*

Образцы исследования	<i>LED-A60-9WE27</i>			<i>LED-C37-6WE14</i>		
	заявленные значения	$T_{цв} = 3000$ К	$T_{цв} = 4000$ К	Заявленные значения	$T_{цв} = 3000$ К	$T_{цв} = 4000$ К
		экспериментальные значения			экспериментальные значения	
Световой поток, лм	720	737,1	726,1	450	459,2	458,2
Коррелированная цветовая температура, К	3000/4000	3183	4778	3000/4000	3180	4348
Общий индекс цветопередачи, R_a	80	81,58	81,26	80	81,40	81,43
Доминирующая длина волны, нм		597,9	593,8		597,9	593,8
Координаты цветности	x	0,4407	0,3842		0,4356	0,3788
	y	0,4070	0,3920		0,4056	0,3889
	u	0,2518	0,2216		0,2498	0,2200
	v	0,5233	0,5087		0,5214	0,5047
Мощность, Вт	9	9,3	9,3	6	6,3	6,2
Световая отдача, лм/Вт	80	84,05	83,2	75	74,08	76,6
Коэффициент пульсации, %	0,2–0,7	0,5	0,7	0,2–0,7	0,5	0,5

На третьем этапе с помощью высокочувствительного спектро-радиометра общего назначения «*Specbos*» были сняты спектры излучения исследуемых ламп при первоначальном и повторном включении (рис. 6–7).

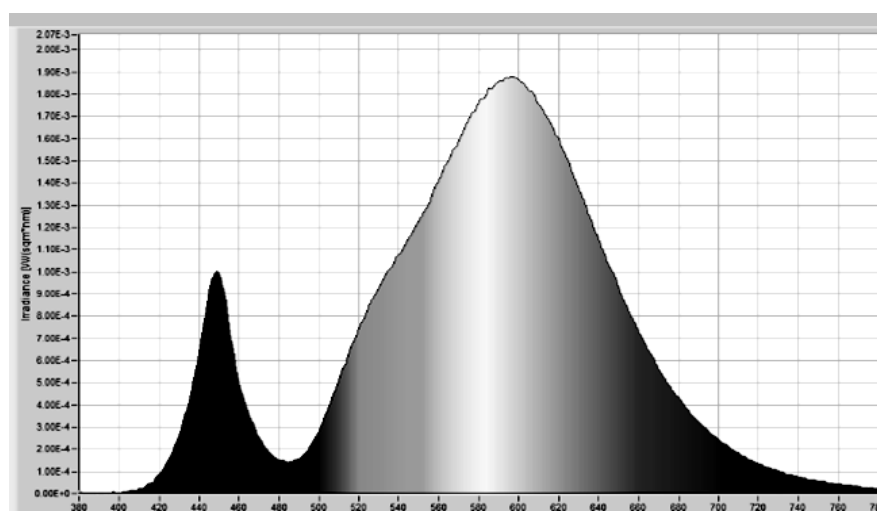


Рис. 6. Спектр излучения исследуемых образцов при первоначальном включении ($T_{цв} = 3000$ К)

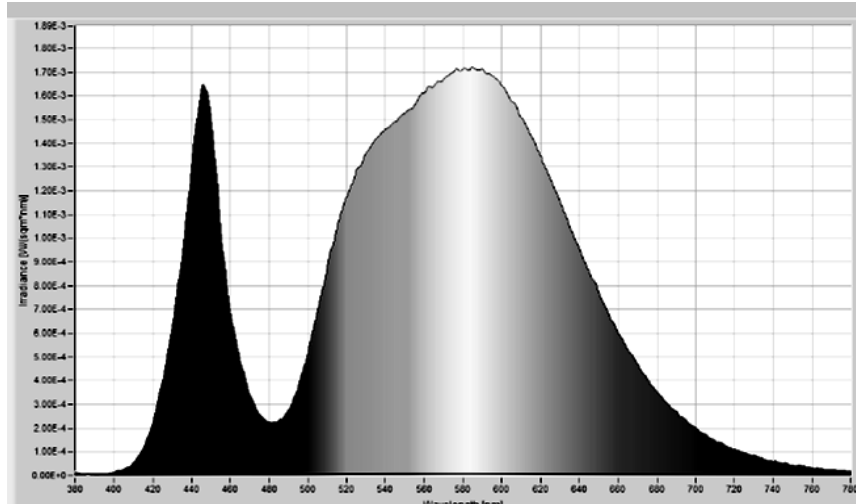


Рис. 7. Спектр излучения исследуемых образцов при повторном включении ($T_{\text{цв}} = 4000 \text{ K}$)

Из рис. 6 и 7 видно, что при повторном включении увеличивается интенсивность излучения в синей области спектра и уменьшается в оранжево-красной, цветовая температура меняется с 3000 К на 4000 К.

В результате были сделаны следующие выводы:

– время стабилизации характеристик СД лампы типа *LED-A60-9WE27* при первоначальном включении ($T_{\text{цв}} = 3000 \text{ K}$) составило 255 с, а при повторном включении через 15 с ($T_{\text{цв}} = 4000 \text{ K}$) – 90 с;

– время стабилизации характеристик СД лампы типа *LED-C37-6WE14* при первоначальном включении ($T_{\text{цв}} = 3000 \text{ K}$) составило 190 с, а при повторном включении ($T_{\text{цв}} = 4000 \text{ K}$) – 80 с;

– все измеренные значения характеристик ламп, а именно: цветовая температура, индекс цветопередачи, мощность, коэффициент пульсации соответствуют значениям, заявленным производителем, а световой поток и световая отдача даже несколько выше заявленных значений;

– спектры излучения исследуемых ламп охватывают всю область видимого диапазона, при первоначальном включении спектр излучения соответствует цветовой температуре 3000 К, при повторном включении – цветовой температуре 4000 К.

Таким образом, СД лампы серии *BICOLOR* компании *Uniel* могут обеспечить комфортные условия в зависимости от сферы деятельности:

– излучение с цветовой температурой 3000 К (тепло-белый свет) оказывают расслабляющее действие и обеспечивают комфортную атмосферу для отдыха;

– излучение с цветовой температурой 4000 К (холодно-белый свет) позволяют человеку лучше настраиваться на работу и обеспечивать повышенную концентрацию внимания.

Литература

1. Нестеркина Н. П., Кондрашин А. С., Железникова О. Е. О характеристиках светодиодных филаментных ламп мощностью 4, 6, 8 Вт // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: матер. XIII Всерос. науч.-техн. конф. С международным участием в рамках IV Всерос. светотехнического форума с междунар. участием. Саранск: Индивидуальный предприниматель Афанасьев Вячеслав Сергеевич, 2017. С. 358–366.

2. Нестеркина Н. П., Кондрашин А. С., Корсуков А. А., Гуляев Г. Ю. Сравнительные исследования филаментных светодиодных ламп мощностью 4 Вт в колбе А50 и А60 // Прорывные научные исследования: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2016. С. 14–22.

3. Нестеркина Н. П., Кондрашин А. С., Корсуков А. А., Гуляев Г. Ю. Сравнительные исследования характеристик светодиодных филаментных ламп, компактных люминесцентных ламп и ламп накаливания // EUROPEAN RESEARCH: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2016. С. 23–32.

4. Нестеркина Н. П., Коваленко О. Ю., Журавлева Ю. А. Анализ характеристик светодиодных ламп с колбой Т8 разных производителей // Светотехника. М., 2019. № 3. С. 59–63.

5. Каталог продукции Uniel [Электронный ресурс]. URL: <https://uniel.ru/catalog> (дата обращения: 01.11.2019).

6. Микаева С. А., Железникова О. Е., Сеницына Л. В. Комплекс современного исследовательского оборудования для световых измерений // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 12. С. 33–36.

7. ГОСТ Р 55702–2013. Источники света электрические. Методы измерения электрических и световых параметров. Введ. 01.07.2014. М.: Стандартинформ, 2014. 43 с.

8. ГОСТ Р 54815-2011/IEC/PAS 62612:2009. Лампы светодиодные со встроенным устройством управления для общего освещения на напряжение свыше 50 В. Эксплуатационные требования. Введ. 01.07.2012. М.: Стандартинформ, 2012. 16 с.

УДК 621.382.2

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ СВЕТОДИОДНОЙ ЛАМПЫ

¹Нестеркина Нина Петровна, ²Кузнецов Евгений Александрович
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск
¹nesterkina.n@mail.ru, ²kuzneczov-e@mail.ru

Статья посвящена разработке и исследованию макетного образца ультрафиолетовой светодиодной лампы.

Ключевые слова: макетный образец, ультрафиолетовое излучение, колба, драйвер, цоколь, светодиод.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE LAYOUT SAMPLE OF THE UV LED LAMP

¹Nesterkina Nina Petrovna, ²Kuznetsov Evgeny Aleksandrovich
National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk
¹nesterkina.n@mail.ru, ²kuzneczov-e@mail.ru

The article is devoted to the development and research of a prototype of an ultraviolet LED lamp.

Key words: layout sample, ultraviolet radiation, bulb, driver, base, LED.

Светодиодные ультрафиолетовые (УФ) лампы в качестве источника излучения используют ультрафиолетовые светодиоды. Светодиодная лампа является одним из самых экологически чистых источников света. Принцип свечения светодиодов позволяет применять в производстве и работе лампы безопасные компоненты. Светодиодные лампы не содержат ртути, поэтому они не представляют опасности в случае выхода из строя и повреждения колбы.

Области, где используются источники УФ излучения, разнообразны: сельское хозяйство, медицина, промышленность, криминалистика, полиграфия и другие. Каждое направление использует только те лампы, которые подходят под их специфические цели. Медицина активно эксплуатирует способность ультрафиолета убивать микроорганизмы и бактерии. В кабинетах и палатах больниц проводят дезинфекцию воздуха в помещении с помощью УФ-лучей бактерицидной лампы.

Воздействие излучения УФ-ламп на воду убивает болезнетворные вирусы и бактерии без изменения вкуса жидкости. Рабочий диапазон 250–280 нм обеспечивает стерилизацию воздуха и воды, разрушая ДНК опасных микроорганизмов.

В полиграфии УФ-лампы применяются для быстрой сушки красок и лаков для получения высококачественного глянца. Проверка денежных купюр, акцизных марок, ценных бумаг и другой защищенной продукции – это еще одна сфера применения ультрафиолетовых ламп. В кассах магазинов, банках, обменных пунктах используются портативные ультрафиолетовые детекторы, предназначенные для визуальной проверки купюр.

С помощью УФ излучения криминалисты могут обнаруживать следы различных веществ (крови, взрывчатки, отравляющих веществ и т.д.), невидимые в обычном свете, следы изменения в документах и многое другое. УФ-лампы также могут применяться для облучения домашних питомцев из теплых стран, где солнце ярко светит круглый год.

В последнее время источники излучения и световые приборы на основе УФ светодиодов становятся все более востребованными, так как они более компактны, меньше потребляют энергии, экологичны [1].

При разработке макетного образца УФ светодиодной лампы были выбраны следующие компоненты:

– светодиоды *SMD UV 2835* тайваньской компании *Epistar TW* с длиной волны излучения 365 нм, имеющие энергетический поток 47 мВт, в количестве 13 шт. на светодиодной ленте [2];

– трубка-колба из стекла *СЛ97-3* с толщиной стенки 1 мм, спектральное пропускание которой в области длин волн 350–400 нм максимально [3];

– драйвер на основе микросхемы *HV9910* американской компании *Supertex inc.* с током потребления светодиодов от 1 мА до 1 А;

– пластмассовые цоколи *G13* производства китайской фирмы «*Foshan Nationstar Optoelectronics*».

Сборка макетного образца осуществлялась в следующей последовательности:

– крепление светодиодной ленты к поверхности колбы с помощью клея марки «*Glue HMG-628H*»;

– припайка драйвера, помещенного в термоусадочную трубку, к светодиодной ленте;

– надевание намазанного клеем цоколя на драйвер и колбу таким образом, чтобы насечка на цоколе совпадала с осью светодиодной ленты;

– надевание намазанного цоколя на второй конец лампы при совмещении насечки на цоколе с осью светодиодной ленты.

Внешний вид макетного образца светодиодной УФ-лампы представлен на рис. 1.

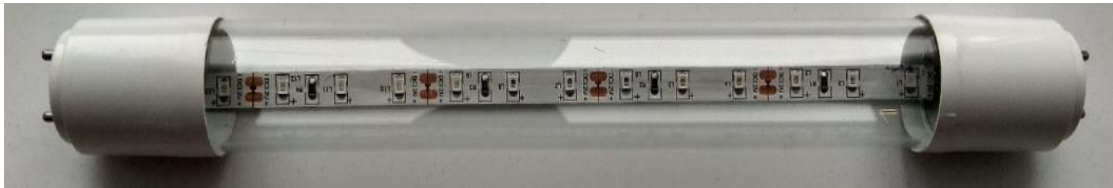


Рис. 1. Светодиодная ультрафиолетовая лампа

Исследование макетного образца светодиодной ультрафиолетовой лампы проводилось в лаборатории Центра коллективного пользования «Светотехническая метрология» (Институт электроники и светотехники МГУ им. Н.П. Огарёва) на измерительном комплексе фирмы *Gooch&Housego*, включающем в себя фотометрический шар *OL IS 7600* диаметром 2 м, спектрорадиометр *OL 770 UV/VIS*, прецизионный источник постоянного тока *OL410-200 PRECISION LAMP SOURCE* для питания вспомогательной лампы [4].

Вначале было определено время стабилизации характеристик УФ-лампы (рис. 2, 3).

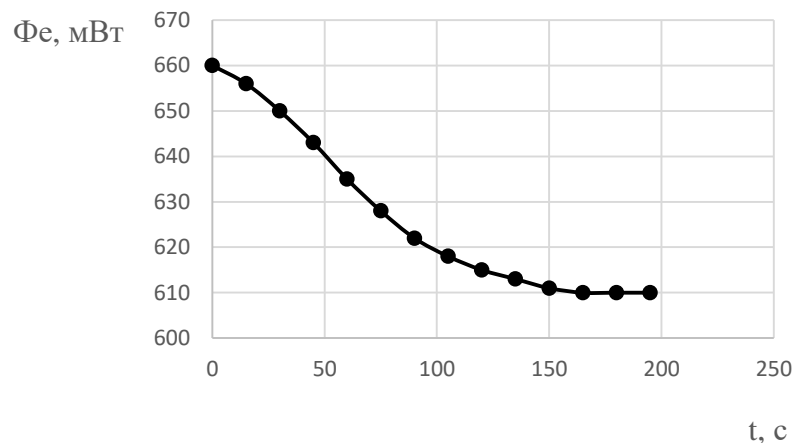


Рис. 2. Изменение энергетического потока в период стабилизации

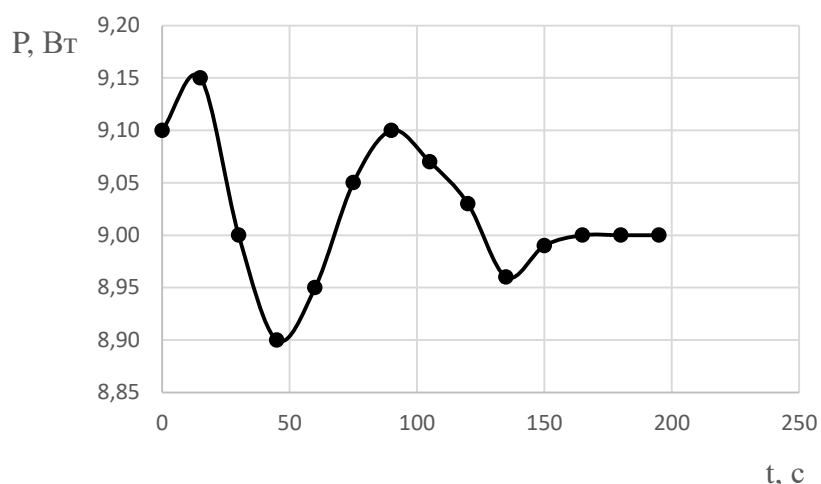


Рис. 3. Изменение потребляемой мощности в период стабилизации

Время стабилизации энергетического потока и мощности макетного образца составило 3 мин 25 с.

Измерения параметров макетного образца проводились при установившемся режиме после 15 мин непрерывного горения согласно ГОСТ [5] при температуре окружающей среды $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ при напряжении питающей сети 220 В. Результаты измерений следующие:

- ток 40 мА;
- мощность 9 Вт;
- энергетический поток 610 мВт.

Спектральное распределение потока излучения макетного образца УФ светодиодной лампы представлено на рис. 4.

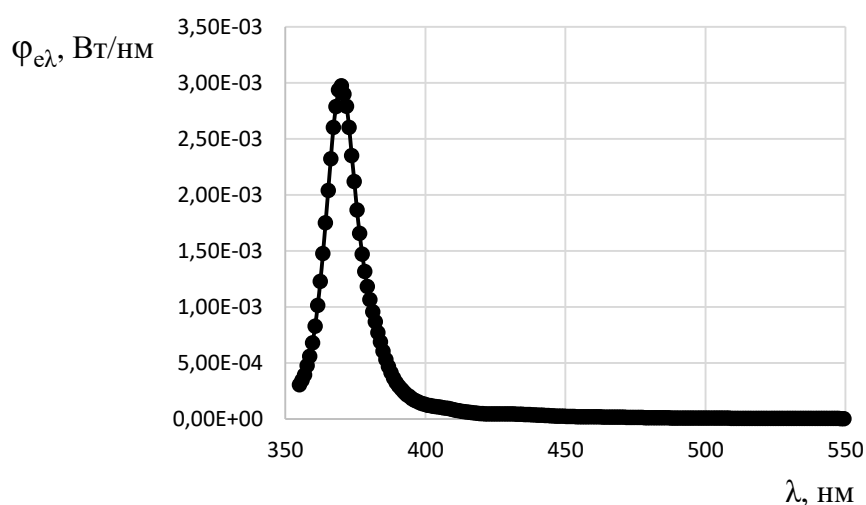


Рис. 4. Спектральное распределение потока излучения макетного образца УФ светодиодной лампы

Анализ полученного спектра позволяет сделать следующие выводы:

– доминирующая длина волны излучения макетного образца составляет 365 нм;

– максимальная спектральная плотность потока излучения на длине волны 365 нм равна $2,88 \cdot 10^{-3}$ Вт/нм;

– энергетический поток макетного образца равен 610 мВт.

Разработанный макетный образец можно сравнить с лампой ЛУФТ 10 П (см. таблицу)

Характеристики разработанного макетного образца УФ лампы и лампы ЛУФТ 10 П

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение, В		Сила тока, А	Продолжительность горения, ч	Поток излучения ($\lambda = 370$ нм), Вт
		сети	на лампе			
Макетный образец	9	220	12	0,040	10000*	0,61
ЛУФТ 10 П	10	220	45	0,230	2000	0,60

* Прогнозируемое значение.

Исследования будут продолжены с целью дальнейшего использования разработанного макетного образца в установках, использующих фотохимическое и биологическое действие УФ излучения, для отверждения пластмасс, в ловушках для ловли насекомых и т.д.

Литература

1. Ультрафиолетовые светодиоды [Электронный ресурс]. URL: <http://lifeandlight.ru/istochniki-veta/svetodiody/ultrafioletovye-svetodiody.html> (дата обращения: 17.11.2019).

2. Ультрафиолетовые светодиоды [Электронный ресурс]. URL: www.epistar.com.tw (дата обращения: 17.11.2019).

3. Чуркина Н. И., Литюшкин В. В., Сивко А. П. Основы технологии электрических источников света. Саранск: Морд. кн. изд-во, 2003. 344 с.

4. Микаева С. А., Железникова О. Е., Сеницына Л. В. Комплекс современного исследовательского оборудования для световых измерений // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 12. С. 33–36.

5. ГОСТ Р 55702 – 2013. Источники света электрические. Методы измерения электрических и световых параметров. Введ. 01.07.2014. М.: Стандартинформ, 2014. 43 с.

УДК 621.311

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В СИСТЕМЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

¹Новгородов Владислав Глебович, ²Терентьев Андрей Александрович
ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти
¹novgorodov.vlad@mail.ru, ²a.terentev2@tltsu.ru

В статье рассматриваются эксплуатируемые технологии управления и обратной связи в системах наружного освещения. Выявлена общая проблематика применения данных систем в связи со сложностью внедрения качественного канала связи между пунктом включения и диспетчерским пультом. Рассмотрены имеющиеся на сегодняшний день методы решения вопроса надежной обратной связи. Из-за наличия существенных недостатков в часто применяемой технологии PLC предложено внедрения инновационной технологии SEAK отечественного образца.

Ключевые слова: система наружного освещения, канал связи, обратная связь, силовые электросети, технология PLC, система управления SEAK.

PROMISING FEEDBACK TECHNOLOGY IN OUTDOOR LIGHTING SYSTEM

¹Novgorodov Vladislav Glebovich, ²Terentyev Andrey Alexandrovich
Togliatti State University, Togliatti
¹novgorodov.vlad@mail.ru, ²a.terentev2@tltsu.ru

The article considers the operated control and feedback technologies in outdoor lighting systems. The General problem of the application of these systems, in particular the introduction of a quality communication channel between the switching point and the control panel. Were considered available methods of solving the problem of reliable feedback. Due to the presence of significant disadvantages in the frequently used PLC technology, it is proposed to introduce innovative SEAK technology, a domestic sample.

Keywords: outdoor lighting system, communication channel, feedback, power grids, PLC technology, SEAK control system.

Современный этап развития человеческого общества задает определенные условия качественного энергообеспечения. Рост численности населения влечет за собой увеличение городской территории, что обуславливает увеличение затрат энергии и количества

электрического оборудования. Не маловажной технической составляющей в данной проблематике является качественный канал связи между оборудованием и диспетчером, что позволяет своевременно определить поврежденные участки и минимизировать потери. К примеру, уличная осветительная аппаратура, являющаяся элементом коммунальной системы в осветительном обустройстве инфраструктуры, должна быть обеспечена надлежащим уровнем обратной связи. В противном случае, будет не возможна энергетически эффективная эксплуатация осветительного оборудования. Это особенно важно, в условиях повсеместной экономии электричества в связи с уменьшением количества природного топлива. На примере наружного освещения, рассмотрим эксплуатируемые на сегодняшний день аппаратуры управления и обратной связи, а также выведем перспективную технологию в данном направлении.

Современные наружные осветительные сети представляют собой крупные электрические объекты, покрывающие значительные территории, важной особенностью в эксплуатации которых является правильный учет расходования имеющихся энергетических ресурсов [1]. Естественное изменение количества солнечного света от времени суток требует наличия систем управления за включением и отключением уличного освещения.

Простейший метод, не требующий дополнительных затрат, заключается в местном управлении [1]. Данный способ подходит для небольшого количества осветительной аппаратуры и относительной неудаленности, что в городских условиях не представляется возможным.

Также одним из вариантов управления сетями наружного освещения является структура каскадного управления. При таком способе управления сигнал на включение последующей линии с собственным пунктом управления появляется при возникновении соответствующего напряжения на конце линии предыдущего пункта. Основными режимами работы каскадного управления являются:

- вечерний, обусловленный наибольшей нагрузкой и потреблением;
- ночной, обусловленный по фазным отключением части светового оборудования.

Более современным методом управления является использование фотоэлектрических элементов, фиксирующих уровень естественного освещения [1]. Главный недостаток данного управления – его непрактичность, что и привело к отказу большинства компаний от данной технологии в угоду следующей.

Более надежным является программное управление имеющее в конструкции контроллер, обеспечивающий оптимальную работу осветительного оборудования в зависимости от адреса и расположения [1]. Используя встроенные часы с календарём и годовой график, контроллер автономно определяет время включения и выключения аппаратуры.

Основной проблемой описанных выше систем является недостаточная обратная связь между пунктами управления и диспетчерским пультом. В большинстве случаев персонал получает информацию о нарушении работы осветительного оборудования по звонкам горожан или объезда улиц, что не позволяет эффективно и оперативно приступить к устранению нарушений. Данная проблема повлекла за собой создание технического решения по автоматизированной системе управления, позволяющей вести тщательный контроль за работой всего наружно осветительного оборудования, выводя информацию на диспетчерский пульт управления. При таком управлении персонал оперативно будет проинформирован не только о неисправности, но и о месте, где произошла неполадка.

Существует три варианта реализации данных систем [2]:

- беспроводной, практически не используемый в связи с низкой помехоустойчивостью и малым радиусом сигнала;
- проводной, главный недостаток которого дополнительные затраты на прокладку кабелей;
- использование каналов связи совместно с силовыми электросетями, позволяет значительно уменьшить стоимость введения автоматизированной системы без существенных затрат.

Именно третий вариант является наиболее перспективным в сфере обратной связи. Данную методику допускается разделить на две принципиально разные технологии:

- технология PLC (Power Line Communication);
- система управления SEAK.

Впервые о высокоскоростной передаче данных по силовым электросетям заговорили в первой половине прошлого века. Наличие высоких помех в использовании технологии не позволили эксплуатировать её повсеместно. Только в начале 21 века благодаря технологическому подъему и внедрению интернета стало возможно современное применение технологии PLC.

Систему можно разделить на два направления передачи данных: широкополосная со скоростью до 200 Мбит/с и узкополосная до 1 Мбит/с [2]. С применением первой передаются крупные по размеру потоки данных. А узкополосные используются для объединения аппаратуры в единую структуру управления.

Конструктивно технология представляет собой набор аналогичных модемов, связанных между собой. Передача осуществляется модуляцией данных, образующих аналоговый сигнал в силовых электросетях. Происходит накладка сигнала на переменный ток, и на частоте в 50 Гц образуется высокочастотный сигнал от 2 до 34 МГц.

Благодаря внедрению технологии PLC возможно не только включать/выключать уличное освещение по запланированному расписанию, но и указывать сценарий работы отдельных групп, а также эффективно отслеживать их работоспособность. В случае аварии, персонал будет сразу уведомлен о месте повреждения или неисправности.

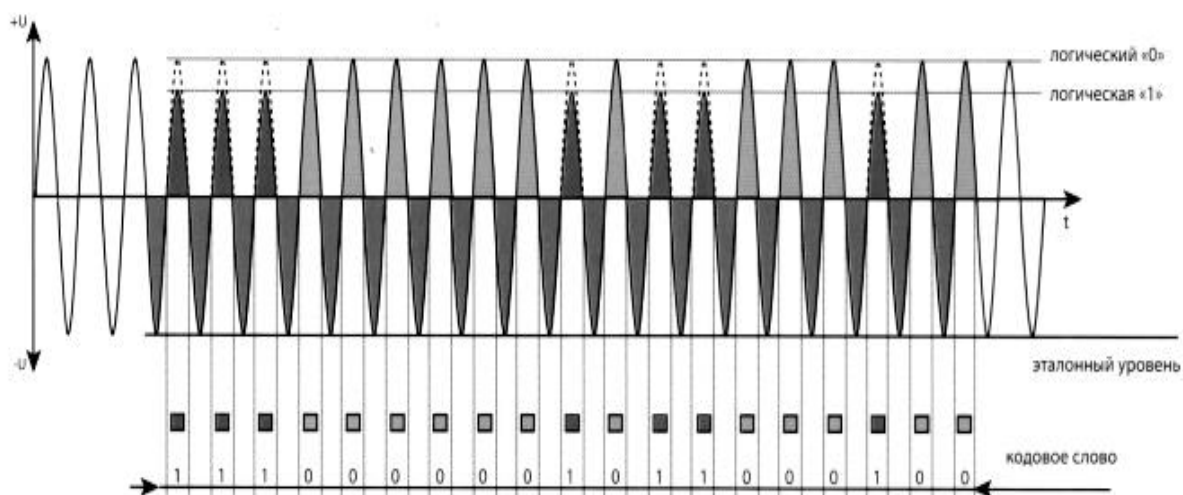
Главное достоинство системы заключается в простоте установки без прокладки дополнительных кабелей. К недостаткам относится высокая стоимость необходимых модемов, проблема внедрения технологии и наличие высших гармоник, в связи с чем увеличивается количество помех и уменьшается качество синусоиды в силовых электросетях.

Описанные недостатки эксплуатируемой на сегодняшний день PLC системы существенно влияют на электрооборудование. Большинство проблем этой технологии устранено в инновационной технологии отечественного производства. Система управления освещением SEAK позволяет передавать данные по силовым сетям без изменения параметров электрической сети. На данный момент это технология не получила широкой известности в силу своей новизны на рынке передачи данных.

Система SEAK представляет собой блок управления (контроллер) и модулятор, размещенные в шкафу управления освещением, а также демодуляторы, установленные в осветительной аппаратуре. Контроллер управляет демодуляторами, пересылая управляющие сигналы через модулятор. При получении сигнала демодулятор декодирует его. Зашифрованный сигнал воспринимается как определенная команда, и демодулятор изменяет режим работы осветительного прибора в зависимости от команды. Также контроллер автоматически адаптируется под нужный график работы, определяя местоположения и время года.

Принцип работы основан на квадратичной модуляции частоты и является организованным изменением среднего значения положительных полувольт. Значение изменения амплитуды управляющим сигналом составляет от 2 до 5 % в зависимости от присоединенной аппаратуры. На синусоиде изменение положительных полувольт управляющим сигналом обозначается двоичным кодом: 0 – это неизменная амплитуда, а 1 – уменьшенная полуволна (см. рисунок). Следовательно, обученный персонал способен по кодовому слову отправлять различные команды на контроллер. Положительно влияет на частоты сети и то, что управляющий сигнал передается только в момент управления системой освещения SEAK, а в остальное время изменение

частоты не происходит. В случае повреждения одного из управляющих компонентов или отключения питания на этих элементах система переходит в автономный режим и действует как программируемый контроллер, руководствуясь заданному графику с учетом изменения времени солнечного дня.



Синусоида управляющего сигнала

В таблице представлена сравнительная характеристика систем управления PLC и SEAK. Из таблицы видно, что Технология SEAK не требует установки усилителей, покрывает большее расстояние, не вносит высшие гармоники в сеть и не искажает синусоиду. Также она проще в установке и не требует высокого качества силовой электросети.

Сравнительная характеристика систем управления

Технический показатель	Технология SEAK	Технология PLC
Максимальное расстояние от шкафа до светильника	5 км + без усилителя сигнала	Требуется усилитель каждые 500 м
Наличие высокочастотных модуляций	Нет	Да
Процедура проверки возможности внедрения	Простая проверка	Требуется специальные измерения
Деформация синусоиды напряжения	Нет	Да
Обратная связь	Да	Да
Адресное управление	Да	Да
Управление мощностью светильников	Да	Да
Контроль работы светильников	Да	Да

Персонал в диспетчерской получает данные в режиме реального времени и в состоянии отслеживать потребление электроэнергии, неисправности в работе каждого осветительного оборудования, тока на фазах и другие характеристики работы.

Опираясь на вышесказанное, эксплуатируемая на данный момент PLC технология по передачи данных для систем наружного освещения обладает рядом существенных недостатков. Рост городской инфраструктуры требует создания новой системы управления и передачи данных по силовым электросетям во избежание дополнительных затрат для качественного обеспечения освещения. Технология SEAK является наиболее перспективной и инновационной в данном направлении, способной прийти на смену устаревшей системы. Она в состоянии обеспечить достойный уровень обратной связи и качественное управление осветительной аппаратуры, не внося высшие гармоники, тем самым не изменяя параметры электрической сети и экономя расход электроэнергии. Сфера применения технологии SEAK не ограничивается наружным освещением и может использоваться в различных направлениях электроэнергетической отрасли. Следовательно, нами предлагается внедрение системы SEAK на замену технологии PLC и учёт возможности её применения на новых проектируемых объектах.

Литература

1. Управление сетями наружного освещения [Электронный ресурс]. URL: <https://pandia.ru/text/78/334/1834.php> (дата обращения: 17.12.2019).
2. Управление освещением по PLC [Электронный ресурс]. URL: <https://bars-led.ru/g19959198-upravlenie-osvescheniem-plc> (дата обращения: 18.12.2019).

УДК 621-3:629.7

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДОВ

¹Новосельский Вячеслав Григорьевич, ²Тукшаитов Рафаил Хасьянович
¹ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань, ²ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань
¹slava43n@inbox1.ru, ²trh_08@mail.ru

В статье предложен подход к оценке эксплуатационных характеристик светотехнических систем освещения и сигнализации на основе светодиодов с использованием вероятностных моделей.

Ключевые слова: эффективность системы, вероятностная модель, уравнения Колмогорова, граф состояний, средняя численность состояния, интенсивность перехода, показатели эффективности системы.

EVALUATION OF OPERATING CHARACTERISTICS OF LIGHTING TECHNOLOGIES BASED ON LEDS

¹Vyacheslav Grigorievich Novoselsky, ²Rafail Khasyanovich Tukshaitov
¹FSBEI HE «KNRTU-KAI», Kazan, ²KSPEU, Kazan
¹slava43n@inbox1.ru, ²trh_08@mail.ru

The article proposes an approach to assessing the operational characteristics of lighting systems for lighting and signaling based on LEDs using probabilistic models.

Keywords: system efficiency, probabilistic model, Kolmogorov equations, state graph, average state size, transition intensity, system performance indicators.

В настоящее время в светотехнических системах массово используются светоизлучающие полупроводниковые светодиоды. Количество их достигает десятков и несколько сотен. В процессе эксплуатации подобных систем их эффективность зависит от многих случайных факторов, к которым можно отнести несовершенство технологии изготовления светодиодов световых приборов; интенсивность работы; температурный режим; деградация светодиодов, старение электролитических конденсаторов; качество электроэнергии; эксплуатационные свойства светотехнических систем. Поэтому оценка состояния и эффективности функционирования светотехнических систем в любой момент времени является очень актуальной задачей.

Для оценки качества функционирования сложной светотехнической системы, основу которой составляют большое количество однотипных элементов, используют различные методики исследований. Поэтому методики оценки эксплуатационных характеристик светотехнических систем могут быть основаны на использовании стохастических моделей непрерывных марковских цепей, которые позволяют описать случайные процессы, протекающие в различных системах, в виде дифференциальных уравнений для вероятностей состояний или линейных алгебраических уравнений для предельных вероятностей состояний.

Эти методики нашли широкое применение для исследования случайных процессов, происходящих в системах со сравнительно небольшим числом возможных состояний.

При исследовании систем с большим числом состояний возникают две проблемы:

- необходимость совместного решения большого числа уравнений;
- обеспечение наглядности результатов исследования.

Анализ в этом случае целесообразно проводить на основе обобщенных показателей, представляющих собой средние значения характеристик случайных процессов, которые можно вычислить через вероятности состояний системы. Определение значений этих характеристик при большом числе состояний системы является достаточно трудоемким.

Поэтому более простым и наглядным методом исследования таких сложных процессов является метод динамики средних. Метод динамики средних позволяет определить средние значения характеристик случайных процессов без вычисления вероятностей состояний системы. Этот метод достаточно эффективен при исследовании систем, состоящих из большого числа элементов, обладающих одинаковыми свойствами.

Сущность метода динамики средних для таких систем заключается в следующем. Пусть имеется физическая система (светотехническая система) S , состоящая из большого числа N однородных элементов, каждый из которых может быть в любом из n возможных состояний $S_1, S_2, \dots, S_k, \dots, S_n$ и случайным образом переходить из состояния в состояние. Потоки событий, переводящие каждый элемент из состояния в состояние, – пуассоновские. Каждое S_k состояние такой системы в каждый момент времени характеризуется случайной величиной $X_k(t)$, называемой численностью состояния (отдельных элементов), другими словами, числом элементов, находящихся в момент времени t в состоянии S_k . Для любого момента t сумма численностей всех состояний равна общей численности элементов:

$$\sum_{k=1}^n X_k(t) = N. \quad (1)$$

Интересующими нас характеристиками случайного процесса являются средние значения численности каждого состояния:

$$m_k(t) = M[X_k(t)], \quad (2)$$

а также разброс фактической численности около средней:

$$D_k(t) = D[X_k(t)]. \quad (3)$$

Поскольку все элементы системы однородны, то численность каждого состояния $X_k(t)$ можно представить как сумму случайных величин $X_k^{(i)}(t)$, связанных с каждым отдельным i -тым элементом.

По теореме сложения математических ожиданий и теореме сложения дисперсий:

$$\left. \begin{aligned} m_k(t) &= \sum_{i=1}^N M \left[X_k^{(i)}(t) \right]; \\ D_k(t) &= \sum_{i=1}^N D \left[X_k^{(i)}(t) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Так как случайная величина $X_k^{(i)}(t)$ имеет два возможных значения 0 и 1, то математическое ожидание и дисперсия этой величины:

$$M \left[X_k^{(i)}(t) \right] = 0 \cdot (1 - P_k(t)) + 1 \cdot P_k(t) = P_k(t); \quad (5)$$

$$\begin{aligned} D \left[X_k^{(i)}(t) = (0 - P_k(t))^2 (1 - P_k(t)) + (1 - P_k(t))^2 P_k(t) \right] = \\ = P_k(t)(1 - P_k(t)), \end{aligned} \quad (6)$$

где $P_k(t)$ – вероятность того, что отдельный элемент в момент t будет находиться в состоянии S_k .

С учетом выражений (5), (6) и формулы (4) можно получить математическое ожидание и дисперсию численности k – того состояния системы:

$$m_k(t) = NP_k(t); \quad (7)$$

$$D_k(t) = NP_k(t)(1 - P_k(t)). \quad (8)$$

Выражения (7) и (8) позволяют вычислить для любого момента времени среднюю численность каждого состояния и ее разброс, не определяя вероятностей состояний системы S в целом, а имея только вероятности всех состояний одного элемента:

$$P_1(t), P_2(t), \dots, P_k(t), \dots, P_n(t).$$

Эти вероятности, как известно, могут быть определены решением дифференциальных уравнений Колмогорова для вероятностей состояний

при наличии значений интенсивностей потоков событий λ перехода из состояния в состояние.

На практике же более удобно пользоваться не дифференциальными уравнениями для вероятностей состояний одного элемента, а дифференциальными уравнениями непосредственно для средних численностей состояний.

Зная дисперсию, можно определить среднее квадратическое отклонение численности состояний $G_k(t) = \sqrt{D_k(t)}$ и найти диапазон возможных значений численности S_k состояния $m_k(t) \pm 2\sigma_k(t)$.

Следует заметить, что указанным правилом составления уравнений динамики средних можно пользоваться лишь при условии независимости интенсивностей потоков событий, переводящих элемент системы из состояния в состояние, от численностей состояний.

Уравнения динамики средних, составленные на основе принципа квазирегулярности, являются приближенными. Точность результатов исследования будет зависеть от общего числа элементов системы (чем больше величина N , тем выше точность) и вида зависимости интенсивности потока событий от численностей состояний (чем ближе эта зависимость к линейной, тем меньше погрешность).

Таким образом, при построении вероятностных моделей в зависимости от характера системы и целей проводимого исследования возможны два подхода. Первый подход предполагает составление уравнений Колмогорова для вероятностей состояний системы, а второй – составление уравнений динамики средних. При втором подходе для построения вероятностной модели системы необходимо:

- построить граф возможных состояний для одного элемента системы;
- определить средние интенсивности переходов для одного элемента системы с учетом их зависимости от численностей состояний;
- записать уравнения динамики средних.

В качестве показателей эффективности светотехнических систем можно использовать наиболее информативные показатели, к которым можно отнести критериальные значения ряда параметров осветительных приборов [4], показатели надежности и живучести систем, находимые методом динамики средних, руководствуясь положениями динамической светотехники [5].

Темпы совершенствования технических характеристик осветительных систем остаются высокими, несмотря на то, что светоотдача светодиодов приближающимся к своему пределу. Это требует осуществлять ежегодный пересмотр критериальных значений основных параметров светодиодных систем на основе совершенствования методов их оценки [6, 7], что должно способствовать дальнейшему развитию их информационного обеспечения.

Литература

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: учебник для вузов. 10-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2006. 575 с.

2. Алексеев О. Г., Гершелис Г. Г., Володось И. Ф., Есаулов С. С., Гончар А. А. Управление в системах РАВ. Ч. 1. Основы теории управления и исследования операций. Л.: Изд. ВАА им. Калинина, 1980. 368 с.

3. Мартыщенко Л. А., Панов В. В. Методы военно-научных исследований в задачах разработки и испытания вооружения. Ч. 1. Л.: Изд. ВАА им. Калинина, 1981. 280 с.

4. Тукшаитов Р. Х. Динамическая светотехника и ее назревшие задачи // Сб. тр.: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. 2013. С. 3–5.

5. Тукшаитов Р. Х., Ахайти И. Разработка и применение критериальных значений параметров светодиодных осветительных приборов для контроля их качества // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4 (47). С. 28.

6. Тукшаитов Р. Х., Айхайти И., Вафина С. А., Сулейманова И. И. Разработка методики определения случайной погрешности методики измерения параметров светодиодных ламп // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: матер. XIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием в рамках IV Всерос. светотехнического форума с междунар. участием. 2017. С. 400–403.

7. Тукшаитов Р. Х., Сайфутдинова В. Р., Алхамсс Я. Ш., Шириев Р. Р. Люкс-амперные и временные характеристики светодиодных светильников, питаемых от гальванических элементов // Сб. статей в журнале «Проблемы энергетики». Казань: 2010. № 11–12.

УДК 621-3:629.7

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

¹Новосельский Вячеслав Григорьевич, ²Ахметов Рамис Румилевич

ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

¹slava43n@inbox.ru, ²11559987r@gmail.com

В статье предложен подход к оценке эффективности систем внутреннего освещения и сигнализации летательных аппаратов с использованием вероятностных моделей.

Ключевые слова: эффективность системы, вероятностная модель, уравнения Колмогорова, граф состояний, средняя численность состояния, интенсивность перехода, летательные аппараты.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF INDOOR LIGHTING SYSTEMS AND SIGNALING OF AIRCRAFT

¹NovoselskyVyacheslav Grigorievich, ²Akhmetov Ramis Rumilevich

FSBEI HE «KNRTU-KAI», Kazan

¹slava43n@inbox.ru, ²11559987r@gmail.com

The article proposes an approach to assessing the effectiveness of aircraft electrical systems using probabilistic models.

Keywords: system efficiency, probabilistic model, Kolmogorov equations, state graph, average state abundance, transition intensity, system efficiency indicators, aircraft.

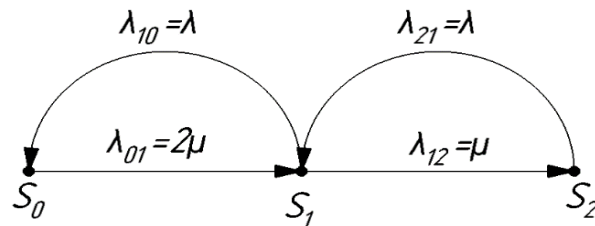
Вероятностные (стохастические) модели используются для исследования таких систем, процесс функционирования которых определяется случайными факторами.

Мощным средством разработки и исследования вероятностных моделей является аппарат теории марковских случайных процессов.

Множество $S = \{S_0, S_1, S_2, \dots, S_i\}$ возможных состояний системы и множество возможных ее переходов из одного состояния в другое удобно представлять в виде ориентированного графа (см. рисунок). Вершинам, которого соответствуют состояния системы, а дугам – возможные переходы, причем направление дуги указывает, из какого состояния и в какое возможен переход системы [1, 2].

Характерной особенностью стохастических систем является то, что для любого момента времени t нельзя однозначно указать, в каком из состояний находится система, а можно определить только распределение вероятностей для состояний.

Совокупность функциональных соотношений и логических условий, позволяющих вычислить значения вероятностей $P_k(t)$ для $k = \overline{0, N}$ и представляет собой вероятностную модель системы.



Ориентированный граф состояний системы

Для вычисления предельных вероятностей состояний системы применяется система линейных алгебраических уравнений, полученных из уравнений Колмогорова, которая имеет вид:

$$\sum_{(i, k) \in V_k^+} \lambda_{ik} P_i = P_k \sum_{(k, i) \in V_k^-} \lambda_{ki},$$

$$k = \overline{0, N},$$

где V_k^+ (V_k^-) – множество дуг, входящих (исходящих) из вершины S_k .

Для состояния S_1 $V_1^+ = \{(0, 1), (2, 1)\}$, $V_1^- = \{(1, 0), (1, 2)\}$.

Для построения вероятностной модели системы необходимо:

1. Определить множество возможных состояний системы.
2. Определить потоки событий, под воздействием которых происходит смена состояний системы, и построить размеченный граф состояний.
3. Составить систему уравнений Колмогорова.

Несмотря на различие физической природы стохастических систем, им может соответствовать одна и та же вероятностная модель. К числу наиболее часто используемых моделей относятся модели систем массового обслуживания.

Основными признаками реальной системы, позволяющими рассматривать ее как своеобразную СМО, являются:

Наличие объектов, нуждающихся в случайные моменты времени в обслуживании.

1. Наличие объектов, которые производят обслуживание и называются обслуживающими приборами (каналами).

2. Возникновение задержек в обслуживании (образование очереди).

Для задания СМО необходимо указать: входящий поток заявок, множество обслуживающих приборов и дисциплину обслуживания.

При аналитическом исследовании СМО чаще всего предполагают, что входящий поток – простейший поток событий интенсивности λ . Как правило, заявку отождествляют с ее материальным носителем.

Обслуживающий прибор (канал) – это материальный объект или совокупность объектов, одновременно участвующих в обслуживании заявки. В каждый момент времени прибор может обслуживать только одну заявку.

Главная задача исследования СМО – установление связи между параметрами системы (n – число каналов, m , λ , μ , ν) и показателями ее эффективности.

В качестве примера рассмотрим следующую задачу. Для идентификации и передачи информации об обнаруживаемых объектах в зоне контроля выделены два беспилотных летательных аппарата (БПЛА) ($n = 2$). Поток заявок на идентификацию объектов – простейший поток интенсивности $\lambda = 0,3$ объекта/ч. Среднее время пребывания объекта в точке обнаружения $\bar{\tau}_{\text{ож}} = 0,1$ ч. Среднее время от момента окончания от момента окончания идентификации и передачи информации по объекту до момента готовности БПЛА к идентификации очередного объекта $t_{\text{обсл}} = 0,8$ ч. Оценить эффективность применения БПЛА, если время передачи информации пренебрежимо мало [3].

Анализ задачи показывает, что БПЛА можно отнести к СМО с ограниченным временем ожидания, параметры которой: $n = 2$; $\lambda = \mu = 0,5$ объекта/ч; $\alpha = 1$; $\beta = t_{\text{обсл}}/\bar{\tau}_{\text{ож}} = 10$.

Значения показателей эффективности приведены в таблице.

Значения показателей эффективности

$\bar{\tau}_{\text{ож}}, \text{ч}$	β	$P_{\text{отк}}$	Q	$Q,$ объект/ч	N_3	$K_3, \%$	$L, \text{объект}$
0	$\rightarrow \infty$	0,2	0,8	0,4	0,8	40	–
0,2	10	0,18	0,82	0,418	0,82	41,8	0,018
1,0	2	0,133	0,867	0,434	0,867	43,4	0,067
2,0	1	0,103	0,897	0,440	0,897	44,9	0,103

Если $\bar{\tau}_{ож}=0$, то $\nu \rightarrow \infty$ ($\beta \rightarrow \infty$) и имеем СМО с отказами.

Приведенные данные показывают, что в некоторых случаях для приближенного анализа СМО с ограниченным временем ожидания можно рассматривать как СМО с отказами, причем эффективность СМО с ограниченным временем ожидания будет выше, чем соответствующей СМО с отказами. Точность аппроксимации тем выше, чем больше параметр β (чем меньше среднее время ожидания по сравнению со средним временем обслуживания).

Литература

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: уч. для вузов / 10-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2006. 575 с.
2. Алексеев О. Г., Гершелис Г. Г., Володось И. Ф., Есаулов С. С., Гончар А. А. Управление в системах РАВ. Ч. 1. Основы теории управления и исследования операций. Л.: Изд. ВАА им. Калинина, 1980. 368 с.
3. Иванов Д. Ю., Соколова А. Ф. Вероятностные модели систем электрооборудования летательных аппаратов // XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых): матер. конф. Казань, 2017. Том 2. С. 330–335.

УДК 621.311

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ УМНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ СКЛАДСКОГО ПОМЕЩЕНИЯ

¹Пульцин Евгений Евгеньевич, ²Самолина Ольга Владимировна
ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти
¹eugeny.pultsin@yandex.ru, ²23helga@mail.ru

Исследуется эффект внедрения системы умного освещения по сравнению с классическим управлением света при помощи клавишных выключателей.

Ключевые слова: мощность, нагрузка, освещение, автоматизация, склад, протокол освещения DALI, электроэнергия, энергопотребление, энергоэффективность.

THE ECONOMIC EFFECT OF INTRODUCING A SMART LIGHTING SYSTEM FOR A WAREHOUSE

¹Pultsin Evgeny Evgenyevich, ²Samolina Olga Vladimirovna
Tolyatti State University, Tolyatti
¹eugeny.pultsin@yandex.ru, ²23helga@mail.ru

The effect of introducing a smart lighting system in comparison with the classical control of light using keyboard switches is investigated.

Keywords: power, load, lighting, automation, warehouse, lighting protocol DALI, electric power, power usage, energy efficiency.

Качественное освещение играет очень важную роль в нашей жизни. Без него люди не смогут выполнять свою работу в закрытых помещениях, безопасно добираться до дома в темное время суток и т.д. Именно от качества зависит производительность человека. Также важно то, на что мы тратим электроэнергию и насколько эффективно мы ее используем. Ведь ресурсы не бесконечны, и нужно использовать их рационально.

Предположим, что нужно установить освещение в зону стеллажного хранения для склада площадью 1200 м^2 . Для этого потребуется 40 светильников мощностью 120 Вт. Суммарную потребляемую мощность можно рассчитать по следующей формуле:

$$P_{\text{осв}} = K_{\text{пра}} \cdot N_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{пра}} = 1,1$ – потери мощности в светодиодных драйверах; $N_{\text{л}}$ – количество светильников в помещении; $P_{\text{л}}$ – мощность светильника, Вт.

$$P_{\text{осв}} = 1,1 \cdot 40 \cdot 120 = 5,28 \text{ кВт}.$$

Итак, суммарная потребляемая мощность составила 5,28 кВт. Произведем технико-экономический расчет двух вариантов и выберем наиболее выгодный.

Первый и второй варианты предполагают установку светодиодных светильников, так как на сегодняшний день владельцы и операторы складов предпочитают устанавливать именно их. Это обусловлено тем, что склады часто работают 24/7, и свет нужен практически всегда, а затраты на электроэнергию будут выше, если использовать другие виды ламп [1]. Но в 1 варианте будут использоваться клавишные выключатели, а во втором – система освещения с датчиками движения и протоколом DALI, которые позволят включать свет только в той зоне, где производится работа.

Произведем расчет для 1 варианта. Формула для расчета потребляемой электроэнергии в год выглядит следующим образом:

$$W_{\text{осв}} = T_{\text{сут}} \cdot N_{\text{сут}} \cdot P_{\text{осв}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{сут}}$ – количество часов работы светильника в рабочие сутки; $N_{\text{сут}}$ – количество рабочих суток в год; $P_{\text{осв}}$ – суммарная потребляемая мощность для помещения.

$$W_{\text{осв}} = 12 \cdot 365 \cdot 5,28 = 23126,4 \text{ кВт/ч.}$$

Осветительная нагрузка составляет 23126,4 кВт/ч. Произведем расчет, позволяющий определить расходы в денежном эквиваленте. Предположим, что цена за кВт/ч составляет 5080 руб. без НДС. Следовательно, затраты на потребление электроэнергии за один год можно получить из следующей формулы:

$$C_{\text{осв}} = W_{\text{осв}} \cdot C_{\text{уд}}, \quad (3)$$

$$C_{\text{осв}} = 23,13 \cdot 5080 = 117500,4 \text{ руб.}$$

Затраты на освещение такого склада составит 117500,4 руб. до установки системы с автоматизированным управлением светильников. Теперь рассчитаем затраты на электроэнергию после установки системы умного освещения.

Расчет мощности, потребляемой одним светильником в дежурном режиме:

$$P_{\text{осв.деж}} = P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{пра}} \cdot 0,2, \quad (4)$$

$$P_{\text{осв.деж}} = 120 \cdot 1,1 \cdot 0,2 = 26,4 \text{ Вт.}$$

Мощность, потребляемая в рабочем режиме:

$$P_{\text{осв.раб}} = P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{пра}}, \quad (5)$$

$$P_{\text{осв.раб}} = 120 \cdot 1,1 = 132 \text{ Вт.}$$

Примем, что светильники распределены на 4 группы по 10 шт., чтобы осветить отдельно взятые пролеты между стеллажами. Также предположим, что рабочий день сотрудников склада с 07:00 до 19:00. Загруженность смены примем средней, и тогда в рабочем состоянии каждая группа светильников будет находиться примерно 20 % от всего рабочего дня и составит примерно 2,5 ч. Получается, что время работы светильников в дежурном режиме составит 9,5 ч.

В итоге, в рабочий день один светильник будет потреблять 132 Вт на протяжении 2,5 ч и 26,4 Вт – на протяжении 9,5 ч, исходя из этого получаем энергопотребление одного светильника за год составляет:

$$W_{\text{год.свет}} = (P_{\text{деж}} \cdot T_{\text{деж}} + P_{\text{раб}} \cdot T_{\text{раб}}) \cdot 365, \quad (6)$$

$$W_{\text{год.свет}} = (26,4 \cdot 9,5 + 132 \cdot 2,5) \cdot 365 = 211,99 \text{ кВт,}$$

где $P_{\text{деж}}$ – мощность светильника в дежурном режиме; $T_{\text{деж}}$ – время работы светильника в дежурном режиме; $P_{\text{раб}}$ – мощность светильника в рабочем режиме; $T_{\text{раб}}$ – время работы светильника в рабочем режиме.

Потребление электроэнергии в год одного светильника составляет 211,99 кВт/ч, на складе установлено 40 светильников и энергопотребление всего освещения в год составит:

$$W_{\text{склад}} = W_{\text{год.свет}} \cdot N, \quad (7)$$

$$W_{\text{склад}} = 211,99 \cdot 40 = 8479,6 \text{ кВт/ч.}$$

Следовательно, вся осветительная нагрузка такого склада после установки системы умного освещения будет потреблять 8479,6 кВт/ч электроэнергии в год. Произведем расчет годовых затрат логистического центра на осветительную нагрузку. Цена 1 за МВт/ч электроэнергии составляет все те же 5080 руб. без НДС. Итак, затраты на потребление электроэнергии за один год можно получить из следующей формулы:

$$C_{\text{осв}} = W_{\text{склад}} \cdot C_{\text{уд}}, \quad (8)$$

$$C_{\text{осв}} = 8,5 \cdot 5080 = 43180 \text{ руб.}$$

В итоге, затраты предприятия после установки системы умного освещения за один год составляет 43180 руб.

Как видно из расчетов, в результате установки системы умного освещения удастся снизить, примерно в 2–3 раза, затраты на освещение по сравнению с использованием традиционных выключателей. Это всего лишь один из вариантов режима работы светильников. Конечно, в действительности они будут работать по-разному, но такая система позволит освещать только те рабочие зоны, где работают люди, и нет необходимости включать все светильники [2], как в случае с обычным освещением, а также в дальнейшем она окупится и будет приносить предприятию выгоду.

Литература

1. Трофимов Э. Особенности освещения складов светодиодными светильниками и методики расчета окупаемости // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 1. С. 64–71.
2. Кодряну К. Электрическое освещение. Кишинев: Изд-во «ТЕННИСА-INFO», 2013. 400 с.

УДК 628.94:614.5

ФОТОБИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ СО СВЕТОДИОДНЫМИ СВЕТИЛЬНИКАМИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

¹Пятникова Мария Владиславовна, ²Роженцова Наталья Владимировна

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹pyatn.97.mary@yandex.ru, ²natalia15969@yandex.ru

Быстрое развитие и доступность светодиодных технологий, рост тарифов на электроэнергию стимулируют переход к реконструкции систем освещения в образовательных учреждениях, состоящих из светильников с люминесцентными лампами на энергоэффективную систему освещения со светодиодными светильниками. Несмотря на высокую экономическую эффективность и очевидные технические преимущества, у многих возникают вопросы о целесообразности их применения и фотобиологической безопасности [1].

Ключевые слова: светодиод, энергоэффективность, фотобиологическая безопасность, энергосбережение, энергоэффективные источники света, цветовая температура, синий спектр.

PHOTOBIOLOGICAL SAFETY OF ENERGY-EFFICIENT LIGHTING SYSTEMS WITH LED LAMPS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

¹Pyatnikova M.V., ²Rozhencova N.V.

KSPEU, Kazan

¹pyatn.97.mary@yandex.ru, ²natalia15969@yandex.ru

The rapid development and availability of led technologies, the growth of electricity tariffs stimulate the transition to the reconstruction of lighting systems in educational institutions consisting of luminaires with fluorescent lamps to an energy-efficient lighting system with led lamps. Despite the high economic efficiency and obvious technical advantages, many have questions about the appropriateness of their application and photobiological safety.

Keywords: LED, energy efficiency, photobiological safety, energy saving, energy efficient light sources, color temperature, blue spectrum.

Долгое время практическая реализация мер по переходу на экологичные и энергоэффективные светодиодные источники света сдерживалась тем, что в сводах правил, регулирующих вопросы организации искусственного освещения при проектировании жилых и общественных зданий, содержались необоснованные ограничения на использование в образовательных учреждениях светодиодных источников света, а также рекомендации по использованию устаревших неэффективных (а иногда и экологически небезопасных) источников света, закупка которых для государственных и муниципальных нужд законодательно запрещена. Такие ограничения и рекомендации привели к неэффективному использованию бюджетных инвестиций, повышенным расходам на последующую эксплуатацию систем уличного и внутреннего освещения.

Ситуация стала меняться в 2015–2016 гг., когда Правительством Российской Федерации был разработан комплекс мер, направленных на ускорение перехода в бюджетном секторе на энергоэффективные светодиодные источники света. В целях приведения в соответствие с действующим законодательством в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, а также актуализации иных нормативных документов в области проектирования и организации уличного и внутреннего освещения, были скорректированы положения СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования», СП 252.1325800.2016 «Здания дошкольных общеобразовательных организаций. Правила проектирования», СанПиН 2.4.2.2821-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в образовательных учреждениях» и других [3, 4].

Применение светодиодных источников света в освещении дал новый толчок исследованиям по качеству освещения [5], актуальность которых усиливается тремя обстоятельствами:

1. Люди проводят всё больше времени, включая светлую часть суток, при искусственном освещении, что обусловлено расширяющимся строительством зданий вплотную друг к другу.

2. Исследования показали, что мозг человека фиксирует незримое мерцание ламп до частоты в сотни герц, в то время как инерционность глаз не позволяет это запечатлеть. Однако эти колебания света способны пагубно влиять на психику человека, гормональный фон, снижать продуктивность, повышать утомляемость, менять суточные биологические

ритмы [2]. Появление светодиодов с управляемыми характеристиками открывают широкие возможности для исследований биологического действия света и разработки оптимальных параметров, обеспечивающих светобиологическую безопасность светодиодных источников света.

3. Светодиоды имеют свою специфику, отличающую их от всех типов традиционных источников света. Так, для белых люминофорных светодиодов характерно наличие сильной голубой полосы с пиковой длиной волны примерно 450–460 нм. Использование же белых светодиодов на основе принципа цветосмещения (RGB) позволили реализовать динамическое управление спектром излучения с новыми возможностями влияния на биологические процессы в организме человека.

Рассмотрим основные аспекты влияния светодиодных источников света на организм человека:

1. Синтез мелатонина.

Источники света создают необходимые условия освещения, которые обеспечивают зрительное восприятие, дающее около 90 % информации, получаемой человеком. Эту информацию организм человека воспринимает осознанно (в виде визуальных образов). Но одновременно в организме функционирует фотонейроэндокринная система, благодаря которой регулируется синтез гормона мелатонин, то есть происходит бессознательная обработка информации. Мелатонин – гормон, отвечающий за периодичность сна и регулирующий суточный ритм, концентрация которого увеличивается с наступлением темноты и вызывает сонливость. Увеличение уровня освещенности (яркости) приводит к снижению выработки мелатонина, и наоборот. Кроме яркости при выборе ламп следует ориентироваться и на цветовую температуру излучения: более холодные оттенки, близкие к синему спектру, подавляют выработку мелатонина и сдвигают стрелку биологических часов в среднем на три часа в сторону дня в биологическом ритме организма, нежели более теплые оттенки светодиодных ламп, т.е. близких к красному спектру. Считается оптимальной для восприятия человеческим организмом цветовая температура светодиодных ламп 2700–3000 К при освещенности 200–400 лк. Такие лампы наиболее точно имитируют теплый свет от ламп накаливания.

2. Воздействие на органы зрения.

Зрачок глаза – наиболее явный механизм глаза, за работой которого можно наблюдать без специальных приборов [6]. При увеличении яркости

окружающей обстановки он сужается, за счет чего улучшается резкость изображения и ограничивается количество света, попадающего на сетчатку. Экспериментально было доказано, что для сокращения зрачка требуется больше света с низкой цветовой температурой (2500–3000 К) и меньше света с высокой цветовой температурой (5000–6000 К). Это связано с тем, что с ростом цветовой температуры увеличивается доля излучения в сине-фиолетовой области спектра. Волны синего цвета высокой энергии больше рассеиваются в глазу и не так легко сфокусированы. Этот разброс создает «визуальный шум», который снижает контраст и может способствовать увеличению напряжения глаз.

Выбирая светодиодные лампы более холодных цветовых температур, способствуем увеличению вероятности и тяжести возрастных заболеваний, таких как дегенерация желтого пятна и катаракта.

Негативное влияние на органы зрения сильно преувеличено, так как многое зависит не только от выбора цветовой температуры лампы, но и от конструкции осветительного прибора. В конструкции светодиодных светильников предусмотрена установка светорассеивающих полусфер, светофильтров и матриц, которые предотвращают слепящее воздействие.

3. Инфракрасное и ультрафиолетовое излучение.

Самым мощным источником ультрафиолетового излучения является Солнце. Что касается светодиодных ламп, в бытовых приборах (белого цвета) полностью отсутствует этот тип излучения, поэтому утверждение о вреде ультрафиолета при работе светодиодных светильников является мифом.

Проанализируем два способа получения белого цвета на базе светодиодов:

1. Первый способ предполагает размещение в одном корпусе трёх кристаллов – синего, зеленого и красного. Излучаемая ими длина волны, не выходит за пределы видимого спектра. Следовательно, такие светодиоды не генерируют световой поток в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазоне.

2. Чтобы получить белый свет вторым способом, на поверхность синего светодиода наносят люминофор, который формирует световой поток с преобладающим желтым спектром. В результате их смещения можно получить разные оттенки белого. Присутствие ультрафиолетового

излучения в данной технологии ничтожно и безопасно для человека. Интенсивность инфракрасного излучения в начале длинноволнового диапазона не превышает 15 %, что несоизмеримо мало с аналогичным значением для лампы накаливания.

Таким образом, правильно подобранные по светотехническим характеристикам и конструкции светодиодные источники света могут не только добиться существенной экономии бюджетных средств, но и повысить качество освещения, снизить нагрузку на зрение, что особенно важно для учащихся образовательных организаций, повысить работоспособность, благоприятно влиять на гормональный фон и суточные биологически ритмы.

Литература

1. Иванова В. Р. О вредном воздействии синего излучения светодиодов на органы зрения // Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития: сб. матер. Междунар. науч.- практ. конф. Воронеж, 2017. С. 46–55.
2. Тукшаитов Р. Х., Ширив Р. Р. Типовые и филаментные светодиодные лампы. Каким образом можно оценить их качество // Полупроводниковая светотехника. 2018. № 5.
3. Панов Д. Ю., Денисова А. Р. Программа повышения энергоэффективности административных зданий // АПЭКС: сб. ст. по матер. Междунар. науч.-практич. конф. 2017. С. 5–14.
4. Панов Д. Ю. Денисова А. Р. Исследование энергоэффективных мероприятий в административных учреждениях // Интеллектуальный научный потенциал XXI века. Минск, 2017. С. 10–13.
5. Закгейм А. Л. Светодиодные системы освещения: энергоэффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья // Светотехника. 2012. № 6. С. 12–21.
6. Богданов А. А., Николаев Д. А. Фотобиологическая безопасность. Опасность или нет? // Информационный электронный журнал «Энергосовет». № 4 (46). 2016. С.35–42.
7. Ivanova V. R., Ivanov A. S., Fetisov L. V. The development of an automated station for group soldering of the led lines // 2018 14th International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 44894 proceedings. P. 336 – 338.

УДК 621-3:629.7

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПРОЦЕССЕ ПРЕДПОЛЕТНОЙ ПОДГОТОВКИ

¹Рыбушкин Николай Анатольевич, ²Степанов Евгений Михайлович,
³Краснов Дмитрий Геннадьевич, ⁴Новосельский Вячеслав Григорьевич,
ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань
¹nikolay_tybushkin@mail.ru, ⁴slava43n@inbox1.ru

В данной работе предложен подход к оценке эффективности светотехнических систем электрооборудования летательных аппаратов в процессе предполетной подготовки.

Ключевые слова: системы электрооборудования, системы массового обслуживания, показатели эффективности, поток заявок, обслуживаемые приборы.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF LIGHTING TECHNOLOGIES OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF AIRCRAFT IN THE PROCESS OF PRE-FLIGHT PREPARATION

¹Rybushkin Nikolay Anatolyevich, ²Stepanov Evgeny Mikhailovich,
³Krasnov Dmitry Gennadevich, ⁴Novoselsky Vyacheslav Grigoryevich,
FSBEI HE «KNRTU-KAI», Kazan
¹nikolay_tybushkin@mail.ru, ⁴slava43n@inbox1.ru

In this paper, we propose an approach to assessing the effectiveness of aircraft electrical systems in the process of preflight preparation.

Key words: electrical equipment systems, queuing systems, performance indicators, application flow, service devices.

Процесс предполетной подготовки самолета является важным этапом его безопасной эксплуатации, так как в ходе этого процесса осуществляются оценка технического состояния бортовых систем, в том числе систем освещения, и определяется степень готовности самолета к применению по прямому назначению.

На функционирование бортовых систем самолета влияет множество случайных факторов. Учет случайных факторов является необходимым при определении технического состояния сложных технических объектов,

обслуживании и обеспечении запасными частями (комплектующими), а также при модернизации и разработке авиационных комплексов.

Самолет, как сложный технический объект, в процессе предполетной подготовки можно рассматривать в качестве системы, которая обладает признаками системы массового обслуживания (СМО) с конечной очередью.

Для задания исходных параметров СМО необходимо указать: входящий поток заявок λ , множество обслуживающих приборов (бригад обслуживающего персонала) n и дисциплину обслуживания.

СМО с конечной очередью длины m характеризуется тем, что при поступлении очередной заявки возможны три исхода:

- заявка немедленно принимается на обслуживание, если в системе в данный момент находится k заявок и $k < n$;
- заявка становится в очередь, если $n \leq k < n + m$;
- заявка получает отказ и покидает систему, если $k = n + m$.

Следовательно, в любой момент времени система может находиться в одном из $n + m + 1$ состояний, т. е. множество состояний:

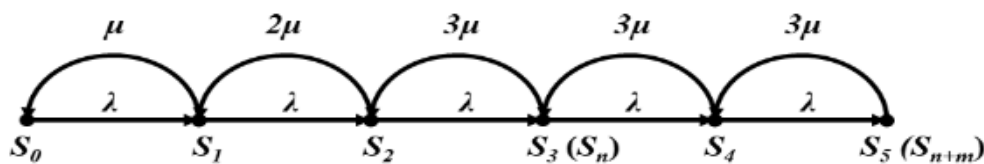
$$S = \{S_k / k = 0, 1, \dots, n + m\}. \quad (1)$$

Увеличение числа заявок в системе происходит под воздействием потока заявок интенсивности λ , а уменьшение числа заявок – только в результате завершения обслуживания одной из заявок, т. е.:

$$\lambda_{k,k+1} = \lambda, \quad k = 0, 1, \dots, n + m - 1; \quad \lambda_{k,k+1} = \begin{cases} k\mu, & 1 \leq k \leq n, \\ n\mu, & n < k \leq n + m, \end{cases} \quad (2)$$

k занятых приборов порождают поток обслуженных заявок интенсивности $k\mu$.

Размеченный граф состояний рассматриваемой СМО для $n = 3$, $m = 2$ изображен на рисунке.



Размеченный граф состояний СМО (для $n = 3$, $m = 2$)

К основным показателям эффективности СМО с конечной очередью относятся:

1. Вероятность отказа в обслуживании – это вероятность того, что в СМО имеется $n + m$ заявок:

$$P_{\text{отк}} = P_{n+m} = \frac{a^{n+m}}{n!n^m} P_0. \quad (3)$$

2. Вероятность того, что поступившая в систему заявка застанет все каналы занятыми (не будет немедленно принята на обслуживание):

$$P_{\text{ож}} = \sum_{k=n}^{n+m} P_k = 1 - \sum_{k=0}^{n-1} P_k = 1 - P_0 \sum_{k=0}^{n-1} \frac{a^k}{k!}. \quad (4)$$

3. Средняя длина очереди

$$L = \sum_{r=1}^m r P_{n+r}; \quad P_{n+r} = \frac{a^n}{n!} \rho^r P_0, \quad (5)$$

где P_{n+r} – вероятность того, что в очереди находится ровно r заявок ($k = n + r$).

4. Среднее время ожидания в очереди определяется как математическое ожидание. Если к моменту поступления заявки в очереди находится $r = 0, 1, \dots, m - 1$ заявок, то она поступит на обслуживание после завершения обслуживания $r + 1$ заявок, т. е.:

$$\bar{t}_{\text{ож}} = \sum_{r=0}^{m-1} \frac{r+1}{n\mu} P_{n-r} = \frac{L}{\lambda}. \quad (6)$$

Методику вычисления рассмотренных показателей эффективности СМО поясним на примере.

На пункте технического обслуживания (ПТО) оборудованы две линии по предполетной подготовке самолетов. Время обслуживания одного самолета распределено по показательному закону с параметром $\bar{t}_{\text{обсл}} = 2$ ч. Число самолетов, одновременно находящихся на ПТО, не должно превышать четырех единиц. Поток самолетов на обслуживание – простейший поток заявок интенсивности $\lambda = 0,5$ ед./ч. Определить показатели эффективности работы ПТО.

Анализ задачи показывает, что предполетную подготовку самолетов на ПТО можно рассматривать как функционирование СМО с конечной очередью, параметры которой имеют следующие значения: $n = 2, m = 2, \lambda = 0,5$ ед./ч, $\mu = 0,5$ ед./ч, $a = 1, \rho = 0,5$.

Результаты вычислений для различных значений n и m (различных вариантов организации предполетной подготовки самолетов на ПТО) приведены в таблице. Расчет показателей СМО целесообразно производить в последовательности, указанной в таблице. Из полученных данных видно, что уменьшение n при постоянном значении $n + m = 4$ позволяет значительно (в 1,7 раза) повысить коэффициент загрузки линий K_3 . Однако эффективность обслуживания техники значительно снизилась: при $n = 1$ каждый пятый объект ($P_{\text{отк}} = 0,2$) уходит с ПТО необслуженным, а при $n = 2$ только один из 25 объектов ($P_{\text{отк}} = 0,044$) получает отказ; среднее время пребывания объекта на ПТО при $n = 1$ равно $\bar{t}_c = \bar{t}_{\text{обсл}} + \bar{t}_{\text{ож}} = 4,4$ ч, а при $n = 2 - \bar{t}_c = 2,344$ ч.

Результаты вычислений для различных значений n и m (различных вариантов организации предполетной подготовки самолетов на ПТО)

Показатели	$n = 2, m = 2$	$n = 1, m = 3$	$n = 2, m = 0$	$n = 2, m \rightarrow \infty$
P_0	0,348	0,2	0,4	0,333
$P_{\text{ож}}$	0,304	0,8	–	0,333
$P_{\text{отк}}$	0,044	0,2	0,2	0
$q = 1 - P_{\text{отк}}$	0,956	0,8	0,8	1,0
Q (ед./ч)	0,478	0,4	0,4	0,5
N_3 (ед.)	0,956	0,8	0,8	1,0
K_3 (%)	47,8	80	40	50
L (ед.)	0,174	1,2	–	0,333
$\bar{t}_{\text{ож}}$ (ч)	0,348	2,4	–	0,666

Исключение очереди самолетов в ходе предполетной подготовки на ПТО ($n = 2, m = 0$) приводит к значительному возрастанию вероятности отказа в обслуживании самолетов (с 0,044 до 0,2). Отсутствие ограничения на длину очереди ($n = 2, m \rightarrow \infty$) несколько повышает загрузку линий, однако приводит к увеличению времени ожидания обслуживания самолетов почти в два раза (с 0,348 до 0,666 ч). Для этого случая целесообразно определить вероятность того, что число самолетов, одновременно находящихся на ПТО, превышает 4:

$$P(k > 4) = 1 - \sum_{i=0}^4 P_i = 1 - 0,333(1 + 1 + \frac{1}{2!} + \frac{1}{2!2} + \frac{1}{2!4}) = 0,215, \quad (7)$$

т.е. пятую часть времени на ПТО находится более четырех самолетов одновременно.

Приведенный пример показывает важность сравнения различных вариантов организации предполетной подготовки самолетов и необходимость учета экономических показателей.

Литература

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: уч. для вузов / 10-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2006. 575 с.

2. Алексеев О. Г., Гершелис Г. Г., Володось И. Ф., Есаулов С. С., Гончар А. А. Управление в системах РАВ. Ч. 1. Основы теории управления и исследования операций. Л.: Изд. ВАА им. Калинина, 1980. 368 с.

3. Иванов Д. Ю., Соколова А. Ф. Вероятностные модели систем электрооборудования летательных аппаратов / XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых): матер. конф. Казань, 2017. Том 2. С. 330–335.

УДК 628.9:621.382.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ СВЕТОДИОДАМИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗРИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

¹Синицына Людмила Васильевна, ²Барычев Владислав Игоревич

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск

¹lvsinitsina@mail.ru, ²barychevlad@yandex.ru

Статья посвящена исследованию влияния условий освещения светодиодами второго поколения на интегральные показатели эффективности зрительной работы.

Ключевые слова: экспериментальная исследовательская установка, зрительная работоспособность, количество ошибок, светодиодное освещение, средний темп ответов.

RESEARCH OF INFLUENCE OF LIGHTING BY LEDS OF NEW GENERATION ON INDICATORS OF EFFICIENCY OF VISUAL WORK

¹Lyudmila Vasilyevna Sinitsyna, ²Vladislav Igorevich Barichev

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk

¹lvsinitsina@mail.ru, ²barychevlad@yandex.ru

The article is devoted to the study of the influence of lighting conditions by LEDs of the second generation on the performance of visual work.

Keywords: experimental research facility, visual performance, number of errors, led lighting, average response rate.

В настоящее время актуальным является использование светодиодов (СД) второго поколения. Однако возможность использования их для создания благоприятных условий освещения требует научных доказательств. Для этого необходимы исследования, материалы которых позволят обосновать области применения этих источников света (ИС).

Целью данной работы явилось исследование интегральных показателей эффективности зрительной работы в условиях освещения СД нового поколения с улучшенным спектром излучения. Для реализации поставленной цели была разработана экспериментальная исследовательская установка (ЭИУ) общего освещения, описание которой приведено в [1].

В ЭИУ установлен опытный образец светильника со светодиодами второго поколения. Характеристики светильника представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики опытного образца СД светильника

Параметр	Значение	
Световой поток, лм	3011	
Коррелированная цветовая температура, K	4132	
Общий индекс цветопередачи, R_a	97.55	
Чистота цвета	0.227	
Доминирующая длина волны, нм	579.8	
Координаты цветности	x	0.3737
	y	0.3685

Для оценки интегральных показателей эффективности светодиодного освещения по степени зрительной работоспособности нами был выбран метод корректурных проб. В общем случае корректурная проба может быть составлена из букв, буквенных сочетаний или цифр. Метод корректурных проб дал возможность оценить темп психических процессов, уровень работоспособности и устойчивость к монотонной деятельности, требующей постоянного сосредоточения внимания.

Для проведения экспериментальных исследований была отобрана группа наблюдателей в количестве 5 студентов в возрасте от 20 до 25 лет. У каждого наблюдателя острота зрения на оба глаза составила 1,0 (в том числе с коррекцией зрения); цветоощущение без патологии. Исследования проводились для трех уровней освещенности: 300, 500 и 1000 лк.

Нами проводился анализ по двум показателям расширенной корректурной пробы: количество ошибок и средний темп ответов до и после проведения зрительной работы в заданных условиях освещения. В табл. 2 показаны результаты исследований для первого наблюдателя.

Таблица 2

Результаты исследования расширенной корректурной пробы
первого наблюдателя

E, лк	Количество	Ср. кол-во ошибок, шт.		Средний темп ответов, мс	
		до	после	до	после
300 лк	24	1,7	3	250,1	259,3
500 лк	16	1,9	2,9	249,3	257,3
1000 лк	10	0,86	2,4	253	275,3

Как видно из табл. 2 у наблюдателя 1 количество ошибок до работы и после ее выполнения возрастает незначительно для всех 3 уровней освещенности. Средний темп ответов также незначительно возрастает. При этом при уровне освещенности 1000 лк количество ошибок увеличилось в более чем 2,7 раза. При уровне 500 лк увеличение произошло на 60 %, а при 300 лк – на 70 %. Увеличение среднего темпа ответов составило 4 % при 300 лк, 3 % при 500 лк и 8 % при 1000 лк. Это увеличение незначительно, что позволяет сказать о том, что СД освещение не оказывает большого влияния на данный показатель.

В табл. 3 представлены средние значения для показателя – количество ошибок каждого наблюдателя.

Таблица 3

Результаты исследования расширенной корректурной пробы
каждого наблюдателя – количество ошибок

Наблюдатели	E = 1000 лк		E = 500 лк		E = 300 лк	
	До	После	До	После	До	После
1	0,86	2,4	1,9	2,9	1,7	3
2	1,81	2,0	2,8	3,6	1,9	2,4
3	2,38	2,38	1,79	2,36	2,2	2,3
4	1,9	3,5	2,5	6,2	2,8	5
5	1,44	2,17	1,55	2,11	1,9	2,32
Среднее всего	1,68	2,49	2,1	3,43	2,1	3,13

Из табл. 3 видно, что наибольшее количество ошибок при освещенности 1000 лк у наблюдателя 4. У наблюдателя 3 количество ошибок до и после работы не изменилось. Наибольшее изменение произошло у наблюдателя 1 – увеличения более чем в 2,5 раза. Наибольшее увеличение количества ошибок наблюдателя 4 – в 3 раза больше стало количество ошибок после выполнения зрительной работы. Анализ полученных результатов показал, что после выполнения зрительной работы количество ошибок возросло. При этом при освещенности 300 лк количество ошибок возросло на 50 %, при 500 лк – на 60 %, при 1000 лк – на 40 %. Это свидетельствует о развитии зрительного утомления наблюдателей. Однако количество ошибок незначительно, что позволяет сделать вывод о незначительном влиянии освещения СД на этот показатель зрительной работоспособности.

В табл. 4 представлены средние значения показателя – средний темп ответов каждого наблюдателя.

Таблица 4

Результаты исследования расширенной корректурной пробы
каждого наблюдателя – средний темп ответов

Наблюдатели	E = 1000 лк		E = 500 лк		E = 300 лк	
	До	После	До	После	До	После
1	253,0	275,3	249,3	257,3	248,6	268,6
2	238,8	236,6	249,93	242,43	256,4	250,4
3	262,4	261,5	252,2	244,6	258,3	252,2
4	248	250,72	243,28	248,61	248,54	249,1
5	255,25	250,75	246	245,57	251,3	251,2
Среднее всего	251,49	254,97	248,14	247,7	251,8	254,3

Из табл. 4 видно, что при уровне освещения 1000 лк у 2 наблюдателей произошло увеличение среднего темпа ответов, у 3 других наблюдалось уменьшение. Аналогичные результаты замечены при уровнях освещения 300 лк и 500 лк. Наибольшие изменения до и после работы наблюдаются у первого наблюдателя, наименьшие у пятого.

Анализ полученных результатов показал, что после выполнения зрительной работы при исследованных уровнях освещенности произошли изменения среднего темпа работы. Однако они имели разный характер. При уровне освещенности в 300 лк средний темп ответов увеличился на 5 %, при 1000 лк также увеличился на 5 %, а при 500 лк – уменьшился на 1 %. То есть уровень освещенности в исследованном диапазоне незначительно влияет на этот показатель.

Анализ результатов исследования показателей расширенной корректурной пробы показывает, что изменения количества ошибок и среднего темпа ответов незначительные. Тот факт, что на следующий день у наблюдателей показатели восстанавливались, свидетельствует об обратимости характера изменения функциональных показателей органа зрения. На основании этого можно заключить, что освещение СД второго поколения в исследованном интервале освещенности оказывает незначительное влияние на интегральные показатели зрительной работоспособности.

Литература

1. Амелькина С. А., Железникова О. Е., Сеницына Л. В. Эффективность светодиодного освещения. Саранск: Издатель Афанасьев В. С., 2014. 200 с.

УДК 628.94:535.241.41

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА БРЕНДА РЯДА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ФИРМ ПО УРОВНЮ СВЕТООТДАЧИ НОМЕНКЛАТУРЫ ИХ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

¹Тукшаитов Рафаил Хасьянович, ²Васина Анжелина Юрьевна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹trh_08@mail.ru

На основе материалов каталогов 14 ведущих фирм-производителей светодиодных светильников построены вариационные кривые распределения светотдачи и обоснованы минимальная (120 лм/Вт) и максимальная (160 лм/Вт)

критериальные значения светотдачи. Определена удельная доля светильников, имеющих светотдачу в указанном диапазоне их значений. Показано, что удельная доля светильников может быть использована в качестве одного из информативных показателей для сравнительной характеристики бренда фирм.

Ключевые слова: распределение светотдачи, бренд фирмы, кривая распределения, осветительный прибор, мода, удельная доля светильников.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE BRAND OF A NUMBER OF DOMESTIC FIRMS ON THE LEVEL OF LIGHT OUTPUT NOMENCLATURE OF THEIR LED LAMPS

¹Rafail Hasianovich Tukshaitov, ²Anzhelina Yurevna Vasina

KSPEU, Kazan

trh_08@mail.ru

On the basis of materials of catalogs of 12 leading firms - manufacturers of led lamps variational curves of distribution of luminous efficiency are constructed and the minimum (120 LM/W) and maximum (160 LM/W) criterion values of luminous efficiency are proved. The specific share of the lamps having light output in the specified range of their values is defined. It is shown that the specific share of lamps can be used as one of the informative indicators for the comparative characteristics of the brand of firms.

Keywords: Keywords: distribution of light output, brand of firm, distribution curve, lighting device, fashion, specific share of lamps.

Качество светодиодных светильников – осветительных приборов (ОП) в зависимости от их предназначения определяется рядом показателей. Поэтому постоянно разрабатываются и совершенствуются разные методики для контроля их уровня [1–6]. Одним из важных показателей, предназначенного для предварительной оценки качества ОП, является светотдача [7, 8]. Несмотря на это, 90–95 % фирм в технической документации приводят значения светового потока, а не светотдачи, которые, к тому же, являются нередко завышенными [9]. Наличие ОП с большими значениями светотдачи отдельных светильников без учета удельного объема их производства не может использоваться для характеристики бренда фирм.

В работе поставлена задача на основе изучения светотдачи ОП всей номенклатуры изделий целого ряда ведущих фирм определить удельную долю светильников, выпускаемых с высокой светотдачей.

На основе изучения данных, представленных в каталогах 14 ведущих фирм России, определялись значения светового потока и мощности разных типов ОП. Используя эти данные, по методике [10] построены вариационные кривые светоотдачи с последующим определением удельной доли светильников, имеющих сравнительно высокую светоотдачу, являющуюся показателем качества ОП и характеристикой бренда фирм.

Результаты анализа вариационных кривых светоотдачи ОП ряда фирм показывают, что можно выделить три типа ее кривых распределения. Одни из них имеют приближенно равномерное распределение, вторые имеют выраженную моду, а третьи – ниспадающее распределение.

В работе [11] для начальной характеристики кривых распределения светоотдачи предложено 8 показателей. Было отмечено, что каждый из предложенных параметров в определенной степени характеризует ОП, но вместе с тем ни один из них в отдельности не пригоден для обстоятельной характеристики номенклатуры выпускаемых изделий. В то же время показано, что к наиболее характерным показателям можно отнести удельную долю ОП (γ_{Π}), имеющих высокую светоотдачу, верхнее предельное значение светоотдачи, отношение значения моды светоотдачи к максимальному ее значению светоотдачи и нижнее предельное значение. Из них в качестве основного информативного показателя в предыдущей работе [6] использована значение γ_{Π} ОП, выпускаемых со светоотдачей в диапазоне 120–150 лм/Вт.

Нижний предел светоотдачи у изделий многих фирм принимает значения в пределах от 70 до 100 лм/Вт, а верхний предел светоотдачи – от 160 до 185 лм/Вт. При выборе отмеченных предельных значений светоотдачи следует руководствоваться двумя требованиями. С одной стороны, чтобы выбранный диапазон светоотдачи должен быть пригоден для характеристики светодиодов всех фирм, а с другой стороны, чтобы он наиболее объективно мог характеризовать бренд фирм.

В работе [11] для этих изделий в качестве минимального значения выбрана светоотдача, равная 120 лм/Вт, а в качестве максимального критерия – критериальное значение, равное 150 лм/Вт. Последующее изучение характеристик ОП показывает, что на сегодня уже целый ряд фирм выпускают отдельные типы ОП со светоотдачей, достигающей 160 лм/Вт.

Поэтому с целью повышения достоверности оценки качества выпускаемых фирмами ОП в качестве оптимального диапазона выбран интервал от 120 до 160 лм/вт.

Поскольку многие специалисты и эксперты оценивают светодиодные ОП прежде всего по их светоотдаче, то и бренд фирм следует на данном этапе оценивать по тому же параметру.

В таблице приведены 3 показателя, используемые для характеристики качества выпускаемых изделий. Основным показателем из них является удельная доля ОП, светоотдача которых находится в пределах 120–160 лм/Вт. У рассмотренных фирм этот показатель значительно отличается друг от друга, принимая значения в широких пределах (от 20 до 87 %). К фирмам с хорошим брендом можно отнести такие, у которых светоотдача половины выпускаемой продукции удовлетворяет установленным требованиям (коэффициент γ_{η} – более 50 %).

Предложенная характеристика бренда пока является приближенной, поскольку по другим параметрам (удельной массе, удельной цене, габаритам и др.) ОП могут в той или иной степени уступать принятому критерию качества. Поэтому в дальнейшем необходимо будет изыскать интегральный показатель для определения бренда фирм.

На результаты определения значения γ_{η} может несколько сказываться случаи завышения приводимых значений светоотдачи. В ранее выполняемой работе [9] дана характеристика ОП 20 фирм с позиции достижений больших значений светоотдачи. Также такие значения светоотдачи приведены для других фирм в третьем столбце таблицы. Из нее следует, что корреляция между показателями качества выпускаемых изделий и предельными значениями светоотдачи отсутствует ($r < -0,02$). Следовательно, максимальное значение светоотдачи ОП является малоинформативным показателем, руководствуясь которым можно прийти к ошибочному выводу.

Доля ОП с максимальными значениями светоотдачи у большинства фирм в соответствующем классе составляет всего 3–7 %. На фоне больших значений светоотдачи немало фирм выпускают ОП с невысокой светоотдачей. Причем удельная доля таких светильников в соответствующем классе пока составляют большую величину (17–23 %).

Основные параметры качества светильников

№	Наименование фирм	Удельная доля ОП % в пределах 120–160 лм/Вт	Максимальн. светоотдача ОП, лм/Вт и уд. доля,%	Минимальн. светоотдача ОП, лм/Вт и уд. доля,%
1	БАРУСС ГРУПП	87	160/38	100/17
2	СВЕТОТРОНИКА	77	150/4,5	80/3,0
3	GELIOMASTER	77	**243/4,1	110/23
4	ФЕРЕКС	67	151/4,1	98/7,0
5	КОМЛЕД	66	*182 /3,3	112/20
6	ЛЕДЕЛ	56	*178/4,5	90/6,0
7	СИТИЛЮМЕН	56	138/30	76/6,0
8	ЛЕДЭФФЕКТ	50	150 /7,0	112/15
9	ECOSVET	50	141/3,0	96/8,8
10	СВЕТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	44	150/1,7	100/20
11	НИТЕОС	34	160/7,5	80/1,5
12	ПРОМЛЕД	38	*184/1,0	100/35
13	VARTON	26	149/4,0	72/11
14	GENILED	17	161/6,0	73/9,0

*- приводимые фирмами данные, по всей видимости, завышены.

** - расчетное значение светоотдачи однозначно завышено.

Таким образом, в работе разработан и обоснован оптимальный предел светоотдачи для выпускаемых ОП и на его основе предложен достаточно информативный показатель качества светильников для сравнительной характеристики бренда фирм-производителей.

На основе комплексного анализа значений предложенных информативных показателей рассмотренные фирмы по рейтингу (критериальным значениям светоотдачи) можно расположить в следующей последовательности: БАРУСС ГРУПП, GELIOMASTER, ФЕРЕКС, КОМЛЕД, ЛЕДЕЛ, СИТИЛЮМЕН и ЛЕДЭФФЕКТ.

Значения удельной доли ОП у ряда известных фирм с большим объемом производства меньше, чем у фирм с меньшим объемом. Это обусловлено тем, что их продукция легче реализуется и ими в меньшей степени используется соответствующий маркетинговый прием привлечения потребителей продукции.

Литература

1. Петрушенко Ю., Тукшаитов Р. Типовые ошибки представления технических характеристик светодиодных светильников в каталогах // Современная светотехника. 2011. № 3. С.76–79.

2. Иванова В. Р. Контроль параметров маломощных светодиодов при проектировании осветительных устройств на основе исследования их характеристик: автореф. дис. канд. техн. наук. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2012. 16 с.

3. Иванова В. Р., Садыков М. Ф. Современные светодиодные технологии // Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. Т. 2. С.178–201.

4. Тукшаитов Р. Х., Шириев Р. Р. К устранению разночтения и неопределенности в представлении коэффициента мощности светодиодных осветительных приборов // Практическая силовая электроника. 2019. № 1 (73). С. 32–36.

5. Куршев А. Девять этапов контроля качества продукции, изготавливаемой по уникальной технологии удаленного люминофора // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 2. С. 20–23.

6. Айхайти Исыхакэфу. Метод комплексного контроля качества светодиодных осветительных приборов на основе исследования их характеристик: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, Казань. 2018. 16 с.

7. Тукшаитов Р. Х., Абдуллазянов Э. Ю., Нигматуллин Р. Я., Исыхакэфу А. Алгоритмы предварительной оценки качества светодиодных светильников на этапах их проектирования // Энергетика Татарстана. 2014. № 1(33). С. 48–50.

8. Тукшаитов Р. Х., Айхайти Исыхакэфу. Разработка и применение критериальных значений параметров светодиодных осветительных приборов для контроля их качества // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4(47). С. 28.

9. Тукшаитов Р. Х. Системный анализ типовых ошибок, допускаемых в каталогах светодиодных осветительных приборов. К устранению пятой типовой ошибки // Полупроводниковая светотехника. 2019. № 5. С. 16–20.

10. Плохинский М. А. Биометрия / 2-е изд. М.: изд. МГУ, 1970. 367 с.

11. Тукшаитов Р. Х., Васина А. Ю. Разработка показателей качества осветительных приборов на основе гистограммы светоотдачи для характеристики бренда фирм // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. V Национальной науч.-практ. конф. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. Т. 1. С. 481–484.

УДК 621-3:629.7

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ДЕТЕРМИНИРОВАННОМ СТАЦИОНАРНОМ СПРОСЕ

¹Цветков Артур Сергеевич, ²Черепанов Иван Сергеевич,
³Новосельский Вячеслав Григорьевич
ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань
¹cvetcovartyr@mail.ru, ³slava43n@inbox1.ru

В статье предложен подход к оценке эффективности эксплуатации систем электрооборудования летательных аппаратов при детерминированном стационарном спросе.

Ключевые слова: эффективность системы, вероятностная модель, интенсивность потока, показатели эффективности системы, электрооборудование, летательные аппараты.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF OPERATION OF LIGHTING SYSTEMS OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF AIRCRAFT AT DETERMINED STATIONARY DEMAND

¹Tsvetkov Arthur Sergeyevich, ²Cherepanov Ivan Sergeyevich,
³Novoselsky Vyacheslav Grigorievich
FSBEI HE «KNRTU-KAI», Kazan,
¹cvetcovartyr@mail.ru, ³slava43n@inbox1.ru

The article proposes an approach to assessing the operational efficiency of aircraft electrical systems with deterministic stationary demand.

Key words: system efficiency, probabilistic model, flow rate, system performance indicators, electrical equipment, aircraft.

С каждым годом повышаются сложность систем электрооборудования летательных аппаратов (ЛА) и требования к их эксплуатационным характеристикам. Простой летательных аппаратов из-за отказа сложных дорогостоящих бортовых систем ведет к значительным экономическим потерям, что требует непрерывного поиска методов повышения эксплуатационных свойств электрооборудования летательных аппаратов.

Одним из путей решения этой задачи является оптимизация управления запасами материальных ресурсов, в том числе, комплекствующих элементов для бортовых систем, которые предназначены для своевременной замены неисправных элементов. Это обуславливается тем, что в большинстве случаев либо физически, либо экономически нецелесообразно полностью совмещать объем и сроки поставки материальных ресурсов с момента возникновения потребности в них. Первый случай имеет место тогда, когда расход ресурса носит случайный характер, а пополнение возможно только в дискретные моменты времени, или длительность интервала, между моментом подачи заявки на материальные ресурсы и моментом их поступления, представляет случайную величину. Второй случай имеет место тогда, когда затраты на поставки ресурсов соизмеримы с затратами на создание запасов, их хранение и обслуживание [1, 2].

Создание запасов связано с дополнительными затратами и поэтому вступает в противоречие с требованием своевременного обеспечения потребителей материальными ресурсами. Разрешение этого противоречия возможно на основе теории управления запасами, которая изучает системы, связанные с накоплением, расходом и пополнением материальных ресурсов (системы управления запасами).

Рассмотрим одну из типовых задач управления запасами по одной номенклатуре на одиночном складе при детерминированном стационарном спросе λ единиц запаса в единицу времени. Для управления запасами используем стратегию типа (T, y) – периодическую с пополнением до максимального уровня. Необходимо определить оптимальные параметры стратегии T^* и y^* и на их основе установить момент подачи заказа t_3 и его объем S . При определении параметров T^* и y^* необходимо учитывать характер пополнения и допустимость возникновения дефицита.

Рассмотрим вариант, когда поставка осуществляется мгновенно, а возникновение дефицита не допускается.

Фиксированную или случайную задержку поставки можно учесть при определении точки заказа t_3 .

Во всех случаях при определении параметров стратегии управления запасами будем предполагать, что стоимость поставки не зависит от объема заказа, т. е. $c_n = c_0$, издержки хранения пропорциональны среднему объему запаса на складе и времени его хранения (c_1 – стоимость хранения единицы запаса в единицу времени), величина штрафа (потерь) из-за дефицита пропорциональна среднему дефициту и времени его

существования (c_2 – величина штрафа (потерь) из-за дефицита единицы запаса в единицу времени) [3].

Этот случай имеет место тогда, когда $c_2 \gg c_0$, $c_2 \gg c_1$, и является типичным для эксплуатации ЛА. Так как интенсивность спроса постоянна, то текущий объем запаса (см. рисунок) изменяется по линейному закону:

$$y_0(t) = y - \lambda t, \quad (k-1)T \leq t \leq kT, \quad k=1, 2, 3, \dots$$

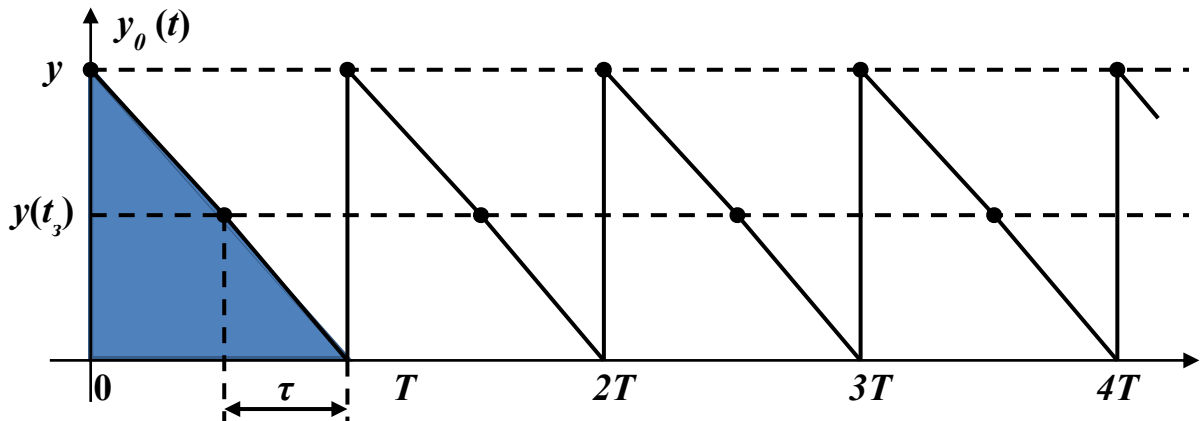


График изменения текущего объема запаса при постоянной интенсивности спроса

Функция затрат за период определяется выражением:

$$C = c_{\text{п}} + c_{\text{и}} = c_0 + c_1 \int_0^T y_0(t) dt = c_0 + c_1 T \left(y - \frac{\lambda T}{2} \right). \quad (1)$$

Интеграл определяет произведение среднего объема запаса на время его существования (площадь фигуры, ограниченной осями координат и линией $y_0(t)$).

Средние затраты в единицу времени:

$$C_T = \frac{C}{T} = \frac{c_0}{T} + c_1 \left(y - \frac{\lambda T}{2} \right). \quad (2)$$

Так как возникновение дефицита не допускается, то объем запаса вначале периода должен быть равен спросу за период, т. е. $y = \lambda T$. Учитывая, что $T = \frac{y}{\lambda}$, находим;

$$C_T = \frac{c_0 \lambda}{y} + \frac{1}{2} c_1 y. \quad (3)$$

Приравнивая нулю производную этой функции по y , находим:

$$\frac{dC_T}{dy} = -\frac{c_0\lambda}{y^2} + \frac{1}{2}c_1 = 0;$$

$$y^* = \sqrt{\frac{2c_0\lambda}{c_1}}, \quad T^* = \frac{y^*}{\lambda} = \sqrt{\frac{2c_0}{c_1\lambda}}. \quad (4)$$

Подставляя y^* из формулы (4) в выражение (5), определим минимальные затраты на пополнение и хранение запасов в единицу времени:

$$C_T^* = c_0\lambda \cdot \sqrt{\frac{c_1}{2c_0\lambda}} + \frac{1}{2}c_1 \cdot \sqrt{\frac{2c_0\lambda}{c_1}} = \sqrt{2c_0c_1\lambda}. \quad (5)$$

Формулы (4) и (5) известны как формулы Уилсона, причем y^* – это экономический размер заказа.

Если пополнение осуществляется мгновенно, то заказ подается в моменты времени $t_3 = T^*$, объем заказа $S = y^*$.

При задержке поставки на фиксированное время τ заказ необходимо подавать в момент снижения объема запасов до величины:

$$y_0(t_3) = \tau\lambda, \quad (6)$$

где $\tau\lambda$ – спрос за время поставки.

В этом случае поставка будет поступать на склад в момент исчерпания запаса.

При случайной задержке поставки точку заказа определяют по правилу:

$$y_0(t_3) = \lambda(\bar{\tau} + k\sigma_\tau), \quad (7)$$

где $\bar{\tau}$ и σ_τ – математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение времени задержки поставки.

Коэффициент k определяет резервный запас, который «демпфирует» случайные колебания времени задержки поставки. Значениям $k = 1, 2, 3$ соответствуют вероятности возникновения дефицита $q = 0,17; 0,025; 0,005$ – для нормального; $q = 0,13; 0,05; 0,018$ – для экспоненциального и $q = 0,211; 0,067; 0$ – для равномерного закона распределения времени задержки поставки.

Если требуемое значение q не соответствует указанным значениям, то коэффициент k рассчитывают следующим образом.

Очевидно, что дефицит отсутствует, если время задержки поставки в данном периоде не превышает величины $\bar{\tau} + k\sigma_{\tau}$, т. е.:

$$1 - q = P(0 \leq \tau \leq \bar{\tau} + k\sigma_{\tau}) = \int_0^{\bar{\tau} + k\sigma_{\tau}} f(\tau) d\tau, \quad (8)$$

где $f(\tau)$ – плотность распределения времени задержки поставки.

Для экспоненциального распределения:

$$\begin{aligned} f(\tau) &= \frac{1}{\tau} e^{-\frac{\tau}{\bar{\tau}}}; & \sigma_{\tau} &= \bar{\tau}; \\ 1 - q &= 1 - e^{-(1+k)}; \\ q &= e^{-(1+k)}; & \ln q &= -1 - k; & k &= -(1 + \ln q). \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, стохастическое моделирование на основе марковских случайных процессов является эффективным средством исследования сложных светотехнических и других систем летательных аппаратов, процесс функционирования которых определяется как детерминированными, так и случайными факторами.

Литература

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: уч. для вузов / 10-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2006. 575 с.
2. Алексеев О. Г., Гершелис Г. Г., Володось И. Ф., Есаулов С. С., Гончар А. А. Управление в системах РАВ. Ч. 1. Основы теории управления и исследования операций. Л.: Изд. ВАА им. Калинина, 1980. 368 с.
3. Иванов Д. Ю., Соколова А. Ф. Вероятностные модели систем электрооборудования летательных аппаратов // XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых): матер. конф. Казань, 2017. Том 2. С. 330–335.

СЕКЦИЯ 5. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 620.9

РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

Афанасьев Константин Георгиевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
afanasev.kostya@mail.ru

В статье рассмотрена проблема развития возобновляемой энергетики в России. Еще несколько лет назад в России не задумывались об этой отрасли. Но сейчас активно ведутся научные исследования в этой области, строятся солнечные и ветряные электростанции. В случае ветряных электростанций, то для их размещения наиболее благоприятными являются территории крайнего севера, а также Дальнего Востока.

Ключевые слова: энергетика, развитие, проблемы, ветряная электростанция, солнечная электростанция, строительство, эксплуатация, требования.

DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY IN RUSSIA

Afanasyev Konstantin Georgievich
KSPEU, Kazan
afanasev.kostya@mail.ru

The article deals with the problem of renewable energy development in Russia. A few years ago in Russia did not think about this industry. But now actively conducted research in this area, built solar and wind power plants. In the case of wind farms, the territories of the far North and the Far East are the most favorable for their placement.

Keywords: energy, development, problems, wind power plant, solar power plant, construction, operation, state.

Возобновляемая энергетика – это отрасль энергетики, которая подразумевает получение электрической энергии за счет неисчерпаемых или пополняемых источников.

К неисчерпаемым источникам относятся: солнечный свет, водные потоки, ветер, приливы и отливы, волны и энергия геотермальных источников. Возобновляемая энергетика один из самых быстрорастущих

секторов в мировой экономике. Практически все экономически успешные страны приняли стратегии по развитию низкоуглеродной, а то и вовсе безуглеродной экономики. Эти стратегии подразумевают частичный или полный отказ от сжигания углеводородов для получения тепла или электрической энергии. Во многих странах, особенно в Европе и Японии, эти шаги были сделаны почти пол века назад. В России возобновляемой энергетики всего несколько лет. Разработка этого проекта началась в 2007 г. Первая солнечная станция была открыта в 2014 г., а ветровая – в 2019 г.

На сегодняшний день на долю возобновляемой энергетики в России приходится менее одного процента от общего энергобаланса страны.

Один из стимулов развития возобновляемой энергетики в мире – экономический. Солнечные и ветровые электростанции становятся дешевле действующих объектов традиционной генерации. Во многих странах к 2030 г. будет дешевле построить новую ветровую или солнечную электростанцию, чем эксплуатировать уже построенную угольную или газовую. Снижение затрат на строительство станции и издержек на их обслуживание позитивно сказывается и на стоимости тепла и электричества для конечных потребителей, а также открывает возможность для микрогенерации. Например, поставить солнечную панель или ветрогенератор на крышу своего дома и получать электричество, необходимое для жизни и работы.

Одним из главных недостатков возобновляемой энергетики является то, что традиционная энергетика в нашей стране сравнительно дешевая [2]. Добыча ископаемого топлива уже давно «поставлена на поток». Человечество занимается этим уже несколько десятков лет подряд. За этот срок было изобретено высокоэффективное оборудование, затраты на которое были уже давно покрыты. Вследствие этого разработка месторождений не стоит так дорого. К тому же энергодобывающие компании являются стабильным источником рабочих мест. Также одной из проблем для всех занимающихся возобновляемой энергетикой в России является отсутствие господдержки и нормативно-правовой базы для этого рода деятельности. В этой сфере отсутствует выгода от вложений, неспособность составить конкуренцию электростанциям, использующим традиционные виды топлива.

Со стороны правительства необходимо совершенствовать систему поддержки, при этом учитывать опыт других стран [1].

Огромное влияние на экономику проектов возобновляемой энергетики в России оказывает тот факт, что существующие нормы технического регулирования делают невозможным прогнозирование

сроков согласования проектной документации, реализации проектных решений, что ведет к существенному, неоправданному удорожанию проектов строительства новых видов генерации, в частности ветроэнергетических станций.

Одной из ключевых проблем является то, что в соответствии с действующими нормами к ветротурбинам, которые представляют собой весьма высокую конструкцию (башня турбины – не менее 80–90 м, а также лопасть длиной 50–60 м), предъявляются требования как к высотным зданиям и сооружениям (как например, небоскребы Москва-сити или дымовые трубы). В результате такого подхода типовой проект ветропарка (как это фактически происходит за рубежом) превращается в объект, требующий отдельного детального рассмотрения, с предъявлением нерелевантных требований по обеспечению устойчивости конструктивных элементов, заимствованных из высотного строительства. Это приводит к тому, что фундаменты российских ветропарков обойдутся в 1,5–2 раза дороже, чем в Европе, вследствие необходимости перепроектирования и перерасхода материалов, а на прохождение согласований может потребоваться 2–3 дополнительных месяца.

Характерная для российской энергетики деталь – 100 % резервирование на случай ремонтов основной линии, оно дает почти двукратное завышение стоимости решений по выдаче мощности по сравнению с европейскими проектами. Но возобновляемая энергетика в силу своей специфики в принципе не могут гарантировать постоянное производство электроэнергии – ветер то есть, то нет. В случае ремонтных ситуаций проще приостановить станцию, чем сооружать еще одну дорогостоящую линию электропередач.

Так как ветровая электростанция по действующим нормам – это промышленное предприятие, то согласно строительным нормам проектирования автодорог на территории предприятия должны быть проложены дороги, соответствующие по качеству дорогам общего пользования – асфальтированные, с насыпью и водоотводными канавами, знаками и дорожной разметкой. И это для дорог, которые будут загружены только в момент строительства ветряной электростанции. В период эксплуатации по ним будет ездить только пара легковых автомобилей с персоналом ветростанций. Поэтому в практике строительства зарубежных ВЭС используются гравийные или грунтовые дороги, если они обладают необходимой несущей способностью. Это в разы дешевле асфальта и совершенно не влияет на безопасность эксплуатации ветропарков.

Перспектива масштабного строительства проектов возобновляемой энергетики в РФ требует от российских профильных ведомств пересмотреть действующие нормативно-правовые акты, относящиеся к сфере строительства и эксплуатации объектов, чтобы привести их в соответствие с принятыми международными практиками и стандартами, с целью исключения избыточных требований и неоправданного завышения стоимости строительства таких объектов.

На данный момент в этой области возобновляемой энергетики в России имеются определенные достижения [3].

Среди таких достижений можно отметить наличие целого ряда ветряных электростанций. Первая из них была введена в Ульяновской области. Были введены в эксплуатацию завод по производству башен в городе Таганрог, завод по производству гандол в Нижнем Новгороде и завод по производству лопастей в Ульяновске. Солнечная энергия также дает свои определенные плоды, на территории страны работают несколько солнечных электростанций, а именно в Бурятии, Алтайском крае, юге Якутии, на Дальнем востоке [4, 5].

В развитии возобновляемых источников энергии в России параллельно создаются две отрасли: производство оборудования и машиностроение для возобновляемой энергетики, а также строительство и их эксплуатация [6].

Литература

1. Каланов А. Возобновляемая энергетика в России: стоять на месте или сделать первый шаг [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/342905-vozobnovlyaemaya-energetika-v-rossii-stoyat-na-meste-ili-sdelat-pervyy-shag> (дата обращения 24.12.2019).
2. Перспективы развития ВИЭ в России [Электронный ресурс]. URL: <https://ekoenergia.ru/o-probleme/vozobnovlyaemyie-istochniki-energii-v-rossii.html> (дата обращения 24.12.2019).
3. Альтернативная энергетика в России [Электронный ресурс]. URL: <https://ekoenergia.ru/alternativnaya-gidroenergetika/alternativnaya-energetika-v-rossii.html> (дата обращения 24.12.2019).
4. Ivanova V. R., Rozhentcova N.V. Justification of the set of technical and technological criteria when designing a combined power supply system for multi-story residential buildings (Обоснование совокупности технических и технологических критериев при проектировании комбинированной системы электроснабжения многоэтажных жилых зданий) / I. Y. Ivanov // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). P. 26–30.

5. Rozhentcova N. V., Ganin P. V., Rudakov A. I. Structural and Computer Optimization Model of a Solar-Wind Hybrid Electrical System in the Software Environment Matlab Simulink // Proc. of the 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2017). 2017. P. 644–649.

6. Денисова А. Р., Роженцова Н. В. Исследование воздействия внешних электромагнитных полей на качество передаваемой энергии в кабельных линиях систем электроснабжения // Промышленная энергетика. 2013. № 6. С. 45–49.

УДК 621.311.26

ГИБРИДНЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ КРАЙНЕГО СЕВЕРА НА ПРИМЕРЕ ЖИЛОГО ПОСЕЛКА

¹Байбиченков Артур Рушанович, ²Титова Галина Ростиславна

ФГОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

¹artur.bajbichenkov@mail.ru, ²TitovaGR@mpei.ru

Рассмотрены гибридные электротехнические комплексы на базе приливных и ветровых электростанций, их развитие в будущем и использование оборудования для их модернизации.

Ключевые слова: гибридные электротехнические комплексы, приливные и ветровые электростанции, ортогональные турбины, развитие ПЭС.

HYBRID ELECTRICAL SYSTEMS FOR POWER SUPPLY INFRASTRUCTURE IN THE FAR NORTH ON THE EXAMPLE OF RESIDENTIAL SETTLEMENT

¹Baybichenkov Artur Rushanovich, ²Titova Galina Rostislavna

MPEI, Moscow

¹artur.bajbichenkov@mail.ru, ²TitovaGR@mpei.ru

Hybrid electrotechnical complexes based on tidal and wind power plants, their development in the future and the use of equipment for their modernization are considered.

Keywords: hybrid electrotechnical complexes, tidal and wind power plants, orthogonal turbines, PES development.

В 2018 г. треть всей получаемой в мире энергии пришлось на возобновляемые источники. В мире за 2018 г. на возобновляемых источниках было получено 2351 ГВт мощности, что на 171 ГВт больше, чем в 2017 г. 61 % всех новых установок «зелёной» энергетики пришёлся на Азию. Суммарный объём возобновляемой энергии России 2018 г. составил 52,2 ГВт, это на 0,7 % больше, чем в 2017 г. Мощность ветряных станций 106 МВт выросла более чем вдвое, также вдвое вырос и показатель для солнечной энергии с 236 до 546 МВт.

Длина береговой линии России складывается из побережья морей Северного Ледовитого океана 39 940 км, Тихого океана – 17 740 км, Балтийского моря – 660 км, Азовского и Черного морей – 1185 км, Каспийского моря – 1460 км, что позволяет использовать энергию приливов с помощью приливных электростанций (ПЭС). Прототип использования потенциальных энергий приливов известен с X–XI вв. на мельницах и лесопилках.

Использование приливных станций началось в бухте Ди неподалеку от Ливерпуля (Великобритания) 1913 г., мощность станции составляет 635 кВт, в 1966 г. во Франции в устье реки Ранс, впадающей в пролив Ла-Манш, с мощностью 240 МВт, в Канаде в 1983 г. введена ПЭС «Аннаполис» с мощностью 20 МВт, в 2011 г. начала работать Сихвинская ПЭС в Южной Корее с мощностью 254 МВт, она является самой крупной коммерческой приливной электростанцией в мире [1].

Достоинства ПЭС: длительный срок службы, возможность прогнозирования выработки электроэнергии, не требуется отчуждения земель под водохранилища, нет зависимости от природных осадков, отсутствие угрозы катастрофы при аварийном разрушении плотины (пример аварии на Саяно-Шушенской ГЭС), смягчается ледовый режим, также не будет угрозы для судоходного транспорта, потому что турбины находятся на дне, энергия приливов и отливов не изменяется в течение года, затраты на строительство ПЭС сравнимы с себестоимостью гидроэлектростанций, дополнительная защита берегов от шторма, биологическая проницаемость для основной кормовой базы рыбного стада – планктона 90–95 %.

Недостатки ПЭС: цикличность, состоящая из активной зоны, которая длится 4–5 ч, и пассивной зоны, которая длится 1–2 ч, длительная окупаемость строительства, невозможность использовать побережье для туристического бизнеса, оптимальные места для станций находятся у изрезанных берегов, перепад уровней воды между приливом и отливом должен быть не менее 4 м.

В России на данный момент есть всего 1 приливная станция, которая является экспериментальным образцом, она находится в губе Кислая Баренцева моря, высота приливов здесь достигает 5 м. На сегодняшний день мощность этой станции составляет 1,7 МВт. А также на стадии проекта находятся Северная ПЭС и Мезенская ПЭС.

Местом для строительства ПЭС обычно выбирается узкий морской залив, который отделяется плотиной от океана и перепад высот должен составлять от 4 м (рис. 1).

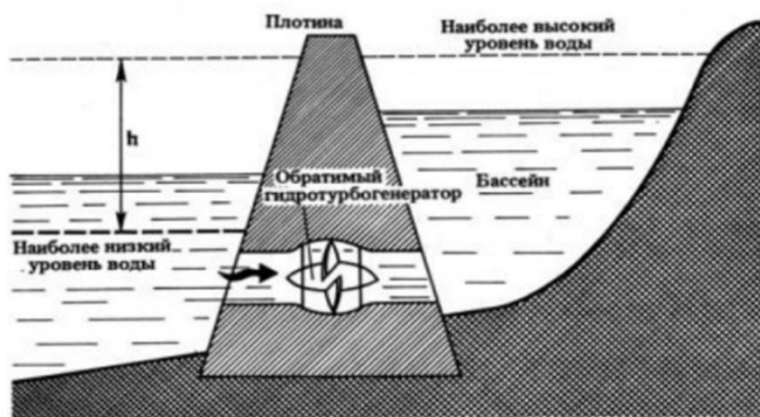


Рис. 1. Схема приливной электростанции

В отверстиях плотины размещаются гидротурбины с генераторами. Генератор и турбина заключены в обтекаемую капсулу. Достоинство этих агрегатов – их универсальность. Они способны не только вырабатывать электрическую энергию при движении через них морской воды, но и выполнять функции насосов. Производство электроэнергии в них происходит как в период прилива, так и в период отлива (рис. 2).



Рис. 2. Принцип работы приливной электростанции

Режим работы приливной электростанции обычно состоит из нескольких циклов.

Все циклы подразделяются на пассивные и активные. Четыре пассивных циклов, то есть простой, длятся они по 1–2 ч. После этого наступают активные циклы, которые длятся по 4–5 ч, именно в эти циклы прилив и отлив действуют в полную силу. В ходе прилива бассейн, отделенный плотиной, наполняется водой, при этом движение воды вращает колесо турбины и электростанция вырабатывает электроэнергию. При отливе происходит обратный процесс, и вода из бассейна уходит в океан и также вращает колесо турбины, но уже в обратную сторону, тем самым происходит выработка электроэнергии. В тех промежутках, когда прилив и отлив закончились, колесо турбины останавливается.

Выход, чтобы не было перебоев, – связать приливную электростанцию с другими станциями, например: солнечными, ветровыми или дизель-генераторными. В итоге получаем гибридную станцию.

Локальные адаптивные системы позволяют организовать бесперебойное электроснабжение электротехнического комплекса.

Рассмотрим электротехнический комплекс для обслуживания транспортной магистрали Северного морского пути. Как ранее указывалось, длина Российской границы около 40 тыс. км, плотность населения менее 0,4 человека на 1 км².

Как правило, работа в этих районах осуществляется вахтовым методом. Однако круглогодичная навигация требует организацию комфортных условий проживания современного качества.

Рассмотрим типовой поселок на 30 семей с разрешенной мощностью присоединения не менее 15 кВт на одно строение. Определим мощность электротехнического комплекса, включающего жилой поселок и инфраструктуру на основании СП 256.1325800.2016 «Свод Правил. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» [3].

Для этого из 7 главы СП 256.1325800.2016 определим расчетную мощность жилого сектора:

$$P_{\text{расч.жил.}} = N_{\text{дм}} \cdot P_{\text{раз.дм.}} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{о}} = 30 \cdot 15 \cdot 0,6 \cdot 0,24 = 64,8 \text{ кВт.}$$

$$K_{\text{с}} \text{ принят из [3, табл. 7.2], } K_{\text{о}} \text{ из – [3, табл. 7.3].}$$

Определим расчетную мощность коммерческих помещений:

$$P_{\text{расч.ком.пом}} = \text{Помещений} \cdot P_{\text{н ком.пом}} \cdot K_{\text{с}} = 8 \cdot 15 \cdot 0,38 = 45,6 \text{ кВт.}$$

$$K_{\text{с}} \text{ принят из [3].}$$

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{расч. жил.}} + P_{\text{расч.ком.пом.}} = 64,8 + 45,6 = 110,4 \text{ кВт.}$$

Расчетная мощность наружного освещения и сторонняя нагрузка составляют примерно 15 кВт и 21,6 кВт соответственно.

Итого для электротехнического комплекса:

$$P_{\text{расч.эتك}} = 110,4 + 15 + 21,6 = 147 \text{ кВт.}$$

Полученная мощность покрывается ветроустановкой, частично может покрываться за счет солнечной энергии или дизель-генераторов.

Рассмотрим приливную электростанцию с ортогональной турбиной и турбиной поворотно-лопастного типа.

Турбина поворотно-лопастного типа была запатентована в 1920 г. Она является турбиной, лопасти которой поворачиваются вокруг своей оси, тем самым возможно регулировать мощность этой турбины. Лопасти данной турбины обычно располагаются либо перпендикулярно оси, либо под углом. Сама ось турбины может устанавливаться вертикально или горизонтально. Если турбина располагается вертикально, то поток, перед тем как попасть в рабочую камеру, должен пройти через спиральную камеру, а затем выпрямиться при помощи обтекателя. Тогда подача воды будет происходить равномерно на лопасти турбины, и износ ее будет снижен.

Другим видом турбин является ортогональная турбина. Данный тип турбин является низконапорным и работает непосредственно в потоке жидкости внутри напорной камеры. Особенность данной турбины заключается в том, что она имеет крыловидный профиль, и при обтекании потоком воды создается подъемная сила, которая обеспечивает тянущую силу лопасти. В рабочем режиме скорость лопасти превышает скорость набегающего на нее потока. Именно это обстоятельство позволяет использовать данный тип турбин в низконапорных потоках.

Другая особенность этих турбин заключается в том, что при круговом движении лопастей они обтекаются потоком среды, формируемым проточной камерой, в нестационарном режиме с двухкратным изменением направления обтекания профиля лопасти за каждый оборот ротора. Эта особенность приводит к тому, что эффективность ортогональной турбины определяется не только конструкцией ротора и лопастей, но и, в значительной степени, конфигурацией проточной камеры. При этом важную роль играет зазор низконапорной ортогональной турбины, между поверхностью цилиндра, смещаемого лопастями турбины, и поверхностью проточной камеры, который в ортогональных турбинах во избежание

гидроударов приходится выполнять в 10–20 раз большим, чем аналогичный зазор в осевых турбинах [4].

Конструктивные особенности ортогональной турбины: КПД – до 75 %, простая и технологичная конструкция; контейнерное всепогодное исполнение; два варианта рабочего колеса на 10 или 30 кВт в одном корпусе.

Преимущества ортогональной турбины при ее применении в мини приливных электростанциях:

- универсальность: возможность использования в различных компоновках при малых расходах воды и напорах менее 10 м;
- стабильность: рассчитана для постоянной работы на изолированную нагрузку при меняющемся напоре;
- масштабируемость: возможность установки нескольких энергоблоков в зависимости от имеющегося расхода;
- мобильность: контейнер можно перевозить любым видом транспорта, в том числе железнодорожным или автомобильным;
- оперативность: быстрый монтаж и демонтаж;
- энергонезависимость: не требует топлива или дополнительных ресурсов для выработки электроэнергии кроме потока воды;
- автономность: предназначена для использования в районах, отдаленных от крупных энергосетей и как альтернатива дизельной генерации;
- автоматизация: работает в автоматическом режиме, не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала;
- отказоустойчивость: простота конструкции обеспечивает высокую отказоустойчивость и ремонтпригодность в полевых условиях;
- вандалозащищенность: герметичный контейнер из стали надёжно защищает оборудование от диких животных и посторонних лиц;
- экологичность: не наносит вреда окружающей среде, не образует отходов, не содержит токсичных веществ;
- пожаробезопасность: не может являться источником пожара [4].

В 2013 г. силами АО «ТЯЖМАШ» совместно с BlanskoHoldinga.s. было изготовлено гидромеханическое и силовое оборудование для опытной ГЭС на базе стандартного транспортного контейнера с ортогональной турбиной установленной мощностью 10 и 30 кВт [5].

Создание нового высокоэффективного гидроагрегата с ортогональными турбинами для низконапорных приливных электростанций может способствовать назревшему широкомасштабному освоению приливной энергии путем строительства мощных ПЭС с этими гидроагрегатами в России.

Требуемая мощность для электротехнического комплекса одного из типовых поселков для обслуживания Севморпути может быть обеспечена совокупностью блочного агрегирования 30 кВт блоков АО «ТЯЖМАШ» в количестве 5 шт. мощностью по 30 кВт каждая.

Список литературы

1. Соломатин А. С., Мирзоян А. Г., Суруджян А. С. Использование приливных электростанций в системе энергоснабжения // Технические науки: теория и практика: матер. III Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2016 г.). Чита: Издательство Молодой ученый, 2016. С. 85–88.
2. Приливные электростанции / Л. Б. Берештейн, В. Н. Силаков, С. Л. Гельфер и др.; под ред. д-ра техн. наук Л. Б. Бернштейна. М. Энергоатомиздат, 1987. 296 с.
3. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. Введ. 02.03.2017. М.: АО «ЦНИИПромзданий», 2017. 92 с.
4. Историк Б.Л., Шполянский Ю.Б. Низконапорная ортогональная турбина. Патент РФ №2391554. 2010. Бюл. № 16.
5. Шполянский Ю. Б. Новые инновационные технологии в гидро-энергетике [Электронный ресурс]. URL: <https://www.startbase.ru/knowledge/articles/177/> (дата обращения: 09.01.2020).

УДК 621.311

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВЕТРОУСТАНОВОК СТУДЕНЧЕСКОГО ОБЩЕЖИТИЯ ФГБОУ ВО «КГЭУ»

¹Байрамгалиев Азамат Ильнурович, ²Нургалиев Искандер Зульфатович,
³Пронькин Павел Дмитриевич, ⁴Фархутдинов Мансур Мудаллифович,
⁵Хасанов Руслан Айдарович, ⁶Шакиров Ринат Ильшатович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹azamat2001.200@gmail.com, ²Nurgaliev444@yandex.ru,
³ipaulpro@mail.ru, ⁴mansur.f@mail.ru, ⁵asdf_2010@mail.ru

В статье описывается алгоритм осуществления энергоснабжения общежития ФГБОУ ВО «КГЭУ» с помощью ветроустановок.

Ключевые слова: энергетика, ветроустановка, ветрогенератор, электричество, алгоритм питания.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF ENERGY SUPPLY USING WIND TURBINES OF A STUDENT DORMITORY FSBEI HE «KSPEU»

¹Bayramgaliev Azamat Ilnurovich, ²Nurgaliyev Iskander Zulfatovich,
³Pronkin Pavel Dmitrievich, ⁴Farkhutdinov Mansur Mudallifovich,
⁵Hasanov Ruslan Aidarovich, ⁶Shakirov Rinat Ilshatovich

KSPEU, Kazan

¹azamat2001.200@gmail.com, ²Nurgaliyev444@yandex.ru, ³ipaulpro@mail.ru,
⁴mansur.f@mail.ru, ⁵asdf_2010@mail.ru

This article describes the algorithm of the implementation of the third power of the hostel with the help of wind turbines.

Keywords: power engineering, wind turbine, wind generator, electricity, power supply algorithm.

В настоящее время в мире наблюдается активный рост числа парков ветроэлектростанций. Последнее связано с иссякаемым запасом природных ископаемых и необходимостью сохранности окружающей природы с точки зрения экологии. Россия занимает нелидирующее положение в области применения альтернативной энергии. Однако имеется высокий потенциал ветроэнергетики. Получение энергии с помощью ветра в масштабах страны окажет положительное влияние практически на все области государственного развития [1, 2].

Целью данной работы являлся анализ возможности применения ветрогенераторов для осуществления питания студенческого общежития Казанского энергетического университета, а также разработка алгоритма установки проектируемой ветростанции.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- обзор существующих методов резервного питания потребителей на основе альтернативных источников энергии;
- выявление недостатков и преимуществ использования таких источников;
- разработка и обоснование конструктивного исполнения ветроустановки;
- анализ возможности установки в общежитии № 3 Казанского энергетического университета ветрогенераторов;

- выполнение технико-экономического расчета для получения картины энергоэффективности предлагаемого продукта;
- анализ осуществления продвижения предлагаемого продукта (создание сайта, распространение и реклама и т.п.).

При выборе конструктивного исполнения ветроустановки проведен анализ известных исполнений подобных устройств. Для осуществления и внедрения в проект выбор был остановлен на ветрогенераторе Угринского. Такое устройство имеет две лопасти, выполненных в S-образной форме, такая форма снимает необходимость в установке дополнительных перпендикулярных лопастей с целью понижения момента страгивания. Преимуществом такого исполнения выступает повышенный коэффициент использования ветра по сравнению с другими типами вертикальных роторов [3–5]. Как и все вертикально-осевые турбины, ветрогенератор не нуждается в системе ориентирования по направлению потока, развивает высокие обороты и начинает свое вращение при небольшой скорости ветра. Основным недостатком такого конструктивного исполнения ротора считается сложность изготовления профиля. Несмотря на последнее он превосходит по эффективности разные типы вертикально-осевых турбин. На рис. 1 представлена схема построения лопастей роторной турбины системы Угринского [7, 8].

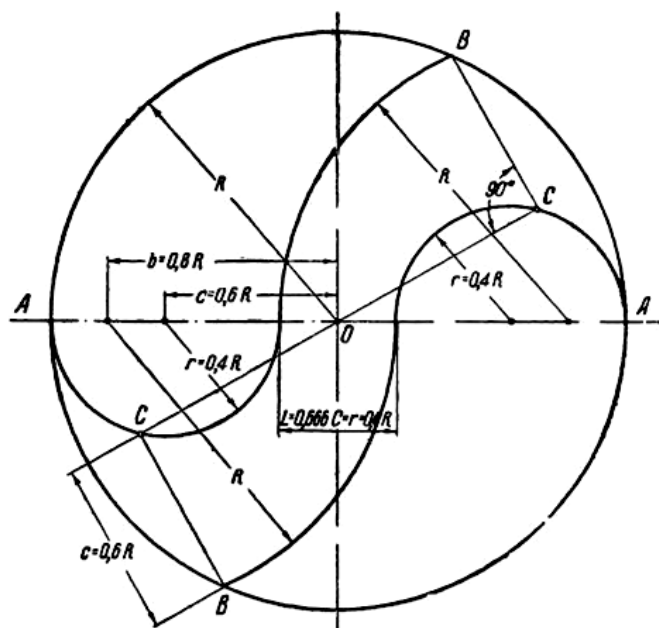


Рис. 1. Схема построения лопастей роторной турбины системы Угринского

На рис. 2 представлена схема подключения устройства в сеть.

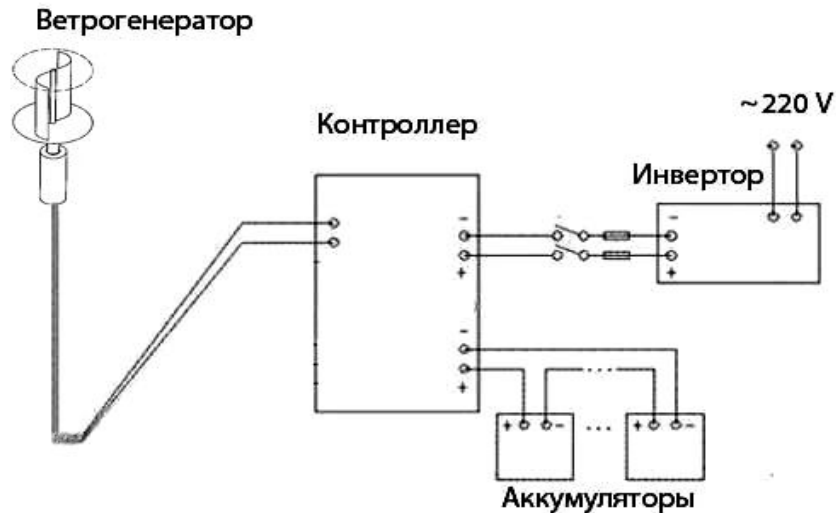


Рис. 2. Схема подключения

Мощность, развиваемая ветроустановкой, рассчитана по следующей формуле:

$$T = \pi R \rho \frac{V^3}{2} \varepsilon,$$

где T – развиваемая мощность, R – радиус ветроколеса, ρ – плотность воздуха ($\rho = 1,293 \text{ кг/м}^3$), v – скорость ветра, ε – коэффициент использования энергии ветра [6].

В работе выполнен технико-экономический расчет, результаты расчета представлены в таблице. Общая стоимость ветроэлектростанции будет составлять 25 тыс. руб.

Расчет и смета

Наименование	Модель	Количество (шт.)	Стоимость (руб.)	Размер (мм)	ГОСТ
Акб	<i>DT1226</i>	1	5000		
Контроллер	<i>BLW-48</i>	1	3500		
Инвертор <i>CoolClassic</i>	<i>VFD</i>	1	3500		
Алюминиевый лист	<i>A5M</i>	1	2000	0,5×1200×3000 мм	ГОСТ 21631-76
Дно и Шапка		1	1500	1500×1500 мм	ГОСТ ASTM A480/A480M
Трубы+Рёбра жёстости			1000		ГОСТ 5582-75

В рамках выполнения проекта был разработан с помощью веб-конструктора многостраничный демо-сайт предлагаемого продукта. Первая страница сайта представлена на рис. 3.

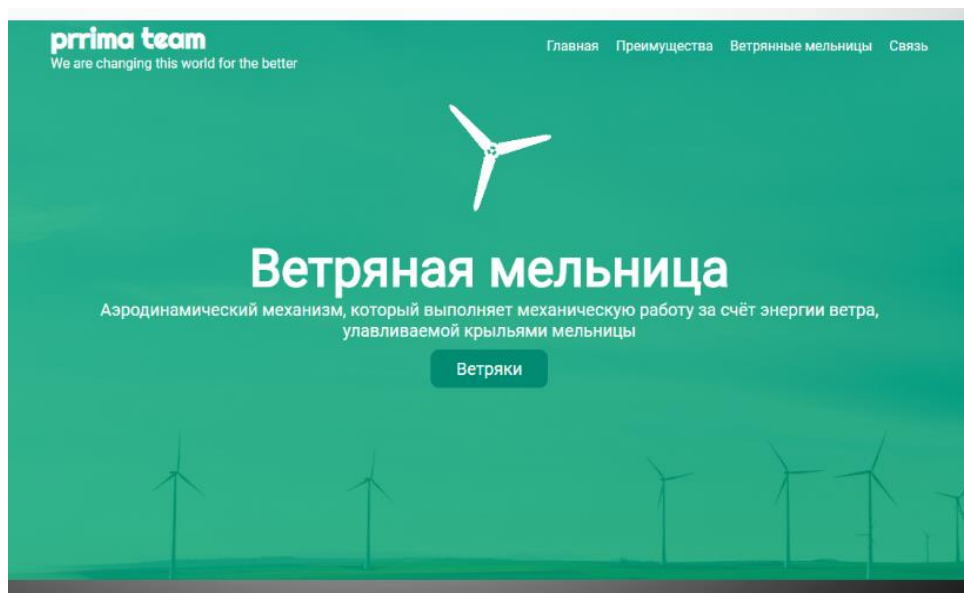


Рис. 3. Внешний вид разработанного сайта

Литература

1. Фатеев Е. М. Ветродвиатели и ветроустановки. М.: Изд-во ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 1948.
2. Андрианов В. Н., Быстрицкий Д. Н., Вашкевич К. П., Секторов В. Р. Ветроэлектрические станции. Гл. 2. Ветродвиатели. Гл. 3. Ветроустановки постоянного тока. М., Л.: Государственное энергетическое издательство, 1960.
3. Сидорович В. М. Мировая энергетическая революция: как возобновляемые источники энергии изменят наш мир. М.: Альпина Паблишер, 2015. 208 с.
4. Рензо Д. Ж. Ветроэнергетика. М.: Энергоатомиздат, 1982. С. 273.
5. Данилов Н. И. Основы энергосбережения: учебник / Н. И. Данилов, Я. М. Щелоков. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, - 2010. – С. 564.
6. Ivanova V. R., Ivanov I. Y., Rozhentcova N. V. Justification of the set of technical and technological criteria when designing a combined power supply system for multi-story residential buildings // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). Pp. 26–30.
7. Иванова В. Р., Фетисов Л. В. Разработка учебного стенда для эффективной и безопасной эксплуатации резервного электроснабжения на промышленных предприятиях // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. № 9-10. С.120–129.

8. Иванова В. Р., Иванов И. Ю. Ветряные электростанции для электроснабжения промышленных потребителей // XIV Междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса». 2018. С. 97–98.

УДК 621.31

МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИЁМНИКОВ В ОБЩЕМ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИИ

¹Гудошников Алексей Сергеевич, ²Янченко Сергей Александрович

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

¹alexey.gudozhnikov@yandex.ru, ²yanchenkosa@mpei.ru

В статье подробно рассмотрены неинтрузивный контроль состава электроприёмников как способ снижения потерь электрической энергии и сопутствующие ему методы идентификации. На данный момент ведутся разработки по совершенствованию систем учёта электрической энергии и созданию счётчиков, способных идентифицировать электрические нагрузки в сети, передавать в режиме реального времени информацию об энергопотреблении. В условиях ограниченности традиционных источников энергии данные разработки очень актуальны, поскольку использование новых систем учёта с обратной связью позволит многократно снизить потребление такого топлива.

Ключевые слова: неинтрузивный метод контроля, статические методы идентификации, переходные методы идентификации, сравнение параметров, высокочастотные помехи, гармонические исследования, переходные характеристики.

METHODS FOR IDENTIFICATION OF THE QUALITATIVE COMPOSITION OF HOUSEHOLD ELECTRIC RECEIVERS IN GENERAL ELECTRIC CONSUMPTION

¹Gudozhnikov Alexey Sergeevich, ²Yanchenko Sergey Alexandrovich

MPEI, Moscow

¹alexey.gudozhnikov@yandex.ru, ²yanchenkosa@mpei.ru

This paper considers the non-intrusive load monitoring and corresponding identification methods as a measure of improving energy efficiency. Currently new energy measurement systems are developed containing power meters that are capable of identifying

connected loads and transferring the online energy consumption data. The scarcity of traditional energy resources is the main reason for the significant interest in this research field as the implementation of the feedback monitoring systems generally allows to reduce the energy consumption.

Keywords: non-intrusive load monitoring, statistical identification methods, transient identification methods, high-frequency interference, harmonic studies, transient characteristics.

Проблема энергосбережения является одной из важных проблем в энергетике. В наше время генерация электрической энергии преобладает на топливных электростанциях, работающих на невозполнимых видах топлива. Работа таких станций может наносить вред окружающей среде, что наиболее остро начинает ощущаться в эпоху экспоненциально растущих потребностей в электроэнергии. Кроме этого, быстрый расход невозполнимого топлива может повлечь проблемы экономического характера в целых странах. Именно поэтому важно экономично расходовать такое топливо, повышать эффективность выработки электрической энергии на электростанциях. Данная проблема решается с применением механизмов обратной связи между потребителями и источниками. Сейчас активно используются косвенные механизмы обратной связи. По счетам за электроэнергию прогнозируют дальнейшее поведение графиков нагрузки и проводят подготовительные мероприятия. Такой метод нельзя назвать эффективным в связи с его низкой точностью и достоверностью. Необходимость в развитии обратной связи привела исследователей к разработке прямых механизмов, а именно мониторинга потребления энергии в режиме реального времени. Началось создание приборов, способных в реальном времени снимать и передавать данные о потреблении электроэнергии. Такие приборы также предлагалось оснастить особыми счётчиками, способными регистрировать в системе различные виды нагрузок.

Идентификация нагрузок в сети имеет огромное значение. Каждый прибор имеет уникальную структуру энергопотребления, а благодаря знаниям состава включенной техники можно исследовать взаимодействие приборов друг с другом, что позволит компаниям-производителям выпускать более качественную продукцию, имеющую лучший коэффициент полезного действия, более долгий срок службы. Работа систем мониторинга позволит применять эффективные стратегии по выработке электрической энергии, особенно во время пиков нагрузок. Далее приведено описание работы системы на примере бытовых потребителей.

На данный момент существует две концепции мониторинга: интрузивный контроль и неинтрузивный контроль состава электроприемников. Отличие концепций состоит в схемах подключения счётчиков для мониторинга. Неинтрузивные системы требуют установки счётчиков на вводах квартирному дома, дачного посёлка и т.п. Интрузивные требуют также установки счётчиков непосредственно у потребителя, в квартире, частном доме. Точность таких систем куда выше, чем у неинтрузивных, однако в связи с высокой стоимостью, сложностью реализации, зачастую, невозможностью договориться с потребителем об установке дополнительного оборудования, они имеют низкие перспективы в развитии.

Идентификация приборов при работе систем неинтрузивного контроля является очень сложной задачей. Все бытовые приборы можно разбить на 4 основных класса:

1) приборы, имеющие только два состояния – прибор включен или, соответственно, выключен (лампочка, электрический чайник и пр.). Такие приборы легче всего идентифицировать среди группы приёмников;

2) приборы, имеющие конечное число установившихся режимов работы (стиральная машина, духовой шкаф и пр.) Более сложны для распознавания, поскольку разные режимы работы имеют параметры, отличающиеся друг от друга;

3) приборы с повторно-кратковременным режимом работы (дрель). Такие приборы сложнее всего распознать, поскольку параметры вместе с энергопотреблением варьируются во времени;

4) приборы с постоянным потреблением электроэнергии (домашний телефон, системы видеонаблюдения и пр.). Данный вид приборов по своей сути создаёт фоновую нагрузку, которая может мешать распознаванию других приборов.

По проведенным исследованиям далее приводятся разработанные методы по идентификации нагрузок в сети (см. рисунок).



Методы идентификации нагрузок

Сначала для идентификации был предложен метод, основанный на сравнении активных и реактивных мощностей нагрузок. Предварительно на координатную плоскость $P-Q$ наносились точки, соответствующие мощностям нагрузок. Работа приборов, использующих такой метод, основывалась на фиксации изменений мощности в сети при включении приборов и сопоставлении полученных данных с соответствующими точками на координатной плоскости. В ходе эксперимента данный способ неплохо себя проявил в определении мощных потребителей. Данный метод является самым простым и дешёвым. Аппараты, снимающие показания мощности в реальном времени, просты в устройстве и не требуют их оснащения высокоточными считывающими устройствами. Однако такой метод обладает и большим количеством недостатков. Самые серьёзные из них – невозможность однозначного определения приёмников 2, 3 и 4 классов и сложность в выявлении приборов, сходных по мощностям потребления.

После работ над совершенствованием сравнительных методов исследователи предложили сравнивать форму синусоид тока и напряжения, среднеквадратичные значения тока и напряжения, разность фаз φ и коэффициент мощности $\cos(\varphi)$. По этим параметрам легко можно было разбить все нагрузки по характеру на индуктивные, активные, ёмкостные. Точность таких систем на порядок возросла по сравнению с мощностным методом. Теперь система могла выявить приборы 2 класса, поскольку для каждого из режимов работы, получив заранее все необходимые характеристики, можно было применить их и сделать вывод о включении данного прибора в таком-то режиме. На тестах по идентификации среди кухонных приборов эта система отлично себя показала. Вместе с тем проблема идентификации нагрузок 3 класса всё ещё не была решена, как и не была решена проблема определения потребителей с перекрывающимися параметрами. Кроме того стоимость таких аппаратов куда дороже, чем аппаратов, основанных на мощностном методе.

Позднее был предложен ещё один метод, основанный на разложении кривой мгновенного тока на ряд Фурье. Счётчик должен был фиксировать значение тока в сети, раскладывать его на гармонические составляющие, а затем по уникальному набору гармоник распознавать электроприбор. Такой способ удобен для выявления приёмников 1 и 4 класса, а также однозначно определяет нелинейную нагрузку. Данный метод имеет ряд существенных недостатков. При исследовании количество приборов в сети должно быть малым, поскольку с количеством увеличиваются расхождения гармонических составляющих тока и напряжения в сети.

Фиксация такого бесчисленного множества комбинаций невозможна. Кроме того, приборы, которые фиксируют форму кривой тока, должны обладать высокой частотой дискретизации, что многократно увеличивает стоимость счётчиков по сравнению с мощностным методом.

Исследователи предложили также интересный способ определения техники, оснащенной импульсными источниками питания. Такая техника создаёт при работе электромагнитные шумы и помехи в сети, которые улавливаются специальными аппаратами. Счётчики, работающие на таком принципе, можно использовать для выявления нагрузок, использующих в своём составе электрический двигатель. Основными недостатками способа являются зависимость от способов прокладки проводки, невозможность однозначного выявления перекрывающихся нагрузок, высокая частота дискретизации счётных механизмов.

Сравнение по характерным кривым переходных процессов на данный момент является универсальным методом для определения нагрузки в сети. Связано это с тем, что даже сходные по потреблению нагрузки имеют отличные друг от друга переходные кривые. Точность метода на порядок выше статических, и кроме того, данный способ хорош в определении нагрузок 3 класса. Помимо фиксации переходных кривых при работе такой техники он способен фиксировать её энергопотребление. Недостатками такого способа являются сложное устройство счётчиков, а также их большая стоимость, поскольку для регистрации переходных процессов требуется считывающий механизм с высокой частотой дискретизации.

Относительно перспективным можно назвать способ по идентификации нагрузок с использованием кратковременного разложения в ряд Фурье кривой тока при включении или выключении прибора. При этом счётчик должен раскладывать кривую переходного процесса на гармонические составляющие и сопоставлять полученный набор гармоник с базой гармонических составляющих, полученных ранее при экспериментах. При этом эффективность такого метода выше, чем у аналогичного статического. Это связано с меньшей вероятностью одновременного включения большого количества приборов в сеть. Недостатком такого метода, как и у метода выше, можно назвать сложность в конструкции счётчиков и высокую их стоимость. Кроме того, необходимо учитывать комбинации гармонических составляющих при одновременном включении нескольких приборов.

Помимо возможности улавливания помех напряжения, создаваемых приборами при их статической работе, исследователи попытались зафиксировать также и помехи, создаваемые в сети при переходных процессах. Метод только развивается и пока не может использоваться в счётчиках, поскольку он не поддерживает измерения количества потребляемой электроэнергии. Вместе с тем он гораздо лучше подходит для распознавания нагрузок с импульсными источниками и электродвигателями, нежели чем его аналог в статической идентификации. Хотя основными недостатками всё ещё остаются его зависимость от способов прокладки проводки, а также высокая стоимость оборудования.

Таким образом, переходные методы являются более точными по сравнению со статическими. Нельзя однозначно выделить лучший метод идентификации, однако метод сравнения кривых переходных процессов показывает хорошие результаты. Метод способен определить большинство видов нагрузок, но сравнительно со статическими методами, он более сложный и дорогой. Сегодня исследования в области неинтрузивных методов контроля направлены на разработку логических цепей обработки информации, которые будут максимально эффективно сочетаться с названными методами идентификации. Использование в будущем таких систем контроля должно обеспечить повышение эффективности выработки электроэнергии и снизить потери энергии.

Литература

1. Chang H. H. Non-intrusive demand monitoring and load identification for energy management systems based on transient feature analyses // *Energies* 2012. №5. P. 4569–4589.
2. Figueiredo M., de Almeida A., Ribeiro B. An experimental study on electrical signature identification of Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) systems. In *Adaptive and Natural Computing Algorithms* // Eds.; Springer: Berlin, Germany, 2011. Vol. 6594, P. 31–40.
3. Gupta S., Reynolds M. S., Patel S. N. ElectriSense: Single-Point Sensing Using EMI for Electrical Event Detection and Classification in the Home // In *Proceedings of the 12th ACM International Conference on Ubiquitous Computing*. Copenhagen, Denmark, 2010. P. 139–148.
4. Hart G. W. Nonintrusive appliance load monitoring // *IEEE Proc.* 1992. №. 80. P. 1870–1891.

5. Norford L. K., Leeb S. B. Non-intrusive electrical load monitoring in commercial buildings based on steady-state and transient load-detection algorithms // *Energ. Build.* 1996. №24. P.51–64.

6. Ruzzelli A. G., Nicolas C., Schoofs A., O’Hare G.M.P. Real-Time Recognition and Profiling of Appliances through a Single Electricity Sensor // *In Proceedings of the 7th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor.* Boston. 2010. P. 1–9.

7. Ahmed Zoha, Alexander Gluhak, Muhammad Ali Imran, Sutharshan Rajasegarar. Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated // *Energy Sensing: A Survey.* 2012.

УДК 620.92

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

¹Гусева Ольга Анатольевна, ²Пташкина-Гирина Ольга Степановна
ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, г. Троицк, Челябинская область
¹gusevaoa2010@mail.ru, ²girina2002@mail.ru

Очистные сооружения являются социальным объектом, направленным на исключение загрязнения окружающей среды от сточных и канализационных вод. Работа по обеззараживанию требует значительных энергетических затрат, ввиду необходимости использования системы насосов, теплогенерирующего источника. Повысить энергетическую эффективность очистных сооружений возможно путем внедрения на них установок на базе возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: очистные сооружения, энергоэффективность, гидроэнергия, тепловая энергия, тепловой насос, биореактор, ил очистных сооружений.

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AT TREATMENT FACILITIES BY INTRODUCING INSTALLATIONS BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

¹Guseva Olga, ²Ptashkina-Girina Olga
FSBEI HE SUSAU, Troitsk, Chelyabinsk region
¹gusevaoa2010@mail.ru, ²girina2002@mail.ru

Treatment facilities are a social object aimed at eliminating environmental pollution from sewage and sewage water. Work on disinfection requires significant energy costs, due

to the need to use a system of pumps, heat-generating source. It is possible to increase the energy efficiency of treatment facilities by introducing installations based on renewable energy sources.

Keywords: treatment facility, energy efficiency, hydropower, thermal energy, heat pump, bioreactor, sludge treatment plants.

В последнее время наблюдается тенденция к увеличению количества децентрализованных источников энергии. Это связано как с систематическим увеличением цены на энергоносители и стремлением потребителей обеспечить энергетическую безопасность, так и с удорожанием энергоносителей от централизованных систем электро- и теплоснабжения. Удорожание последних зависит не только от стоимости первичного сырья, но и включает в себя затраты на транспортировку энергоносителя до потребителя, которые не обходятся без потерь, оплачивать, которые приходится также потребителю. Использование децентрализованного источника энергоснабжения исключает затраты на транспортировку на дальние расстояния, а значит, и минимизирует потери и затраты на обслуживание линии [3].

Очистные сооружения являются объектом социальным и инвестиционно непривлекательным. В настоящее время в России сложилась ситуация, при которой коммунальные объекты, построенные в середине XX века, подлежат ремонту, провести повсеместно который не представляется возможным. Между тем, очистные сооружения имеют потенциал использования возобновляемых источников энергии: текущая вода обладает гидравлической энергией, незамерзающая, а часто и подогреваемая вода – обладает тепловой энергией, излишний ил можно использовать для выработки метана [4].

Очистные сооружения представляют собой комплекс, состоящий из объектов различной степени очистки – механической, биологической, физико-химической. В зависимости от величины населенного пункта и степени оснащённости станции количество этапов очистки может меняться. Главным критерием работы очистных сооружений является качество воды, сбрасываемой в водный объект [1].

К объектам механической очистки относят песколовки, жироловки, первичные отстойники и пр. Данный этап предназначен для удаления преимущественно тяжелых частиц (мусор, песок), большей части минеральных и веществ, влияющих на однородность воды с целью ее равномерного движения [1].

Биологическая очистка призвана удалять растворенные органические загрязнения, а также азот и фосфор [1].

Осуществляют биологическую очистку с помощью бактерий и простейших, которые поглощают данные загрязнения. Для биологической очистки с прикрепленными микроорганизмами сооружают биологические фильтры, в которых размещают емкости с бактериями и простейшими. Вода, приходящая в биофильтры, разбрызгивается форсунками в емкости с бактериями, проходит через всю емкость и вытекает уже биологически очищенная. Для поддержания жизнеспособности бактерий в биологических фильтрах необходимо поддерживать температуру 23–25 °С, что обуславливает использование тепловой энергии, получаемой из централизованной тепловой сети либо от собственной котельной [1, 11].

После биологической очистки сточная вода попадает во вторичные отстойники, где происходит ее отстаивание и выпадение ила в виде осадка. В процессе жизнедеятельности бактерии умирают и размножаются, в результате появляется избыточный ил. Использовать его в качестве удобрения нельзя, ввиду наличия в нем микроорганизмов [2], в связи с чем данный продукт относится к 4 классу опасности по классификации отходов и нуждается в утилизации.

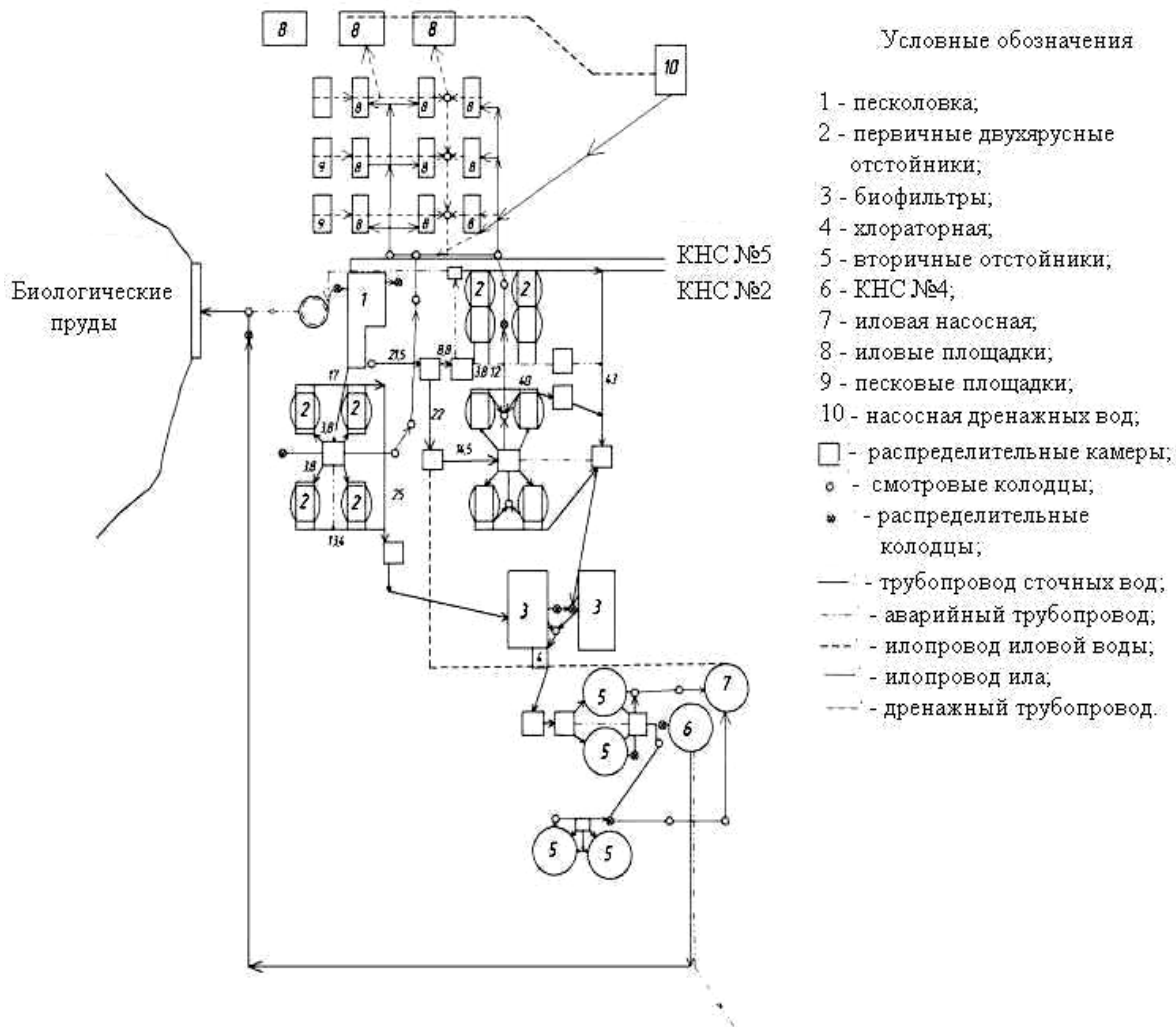
При оборотных системах водоснабжения применяют физико-химические методы (аэрация, нейтрализация, центрифугирование и пр.), при этом каждая из технологий имеет свои недостатки (значительное энергопотребление, увеличение занимаемой площади очистных сооружений и пр.) [1].

В крупных городах дополнительно используют дезинфекцию путем ультрафиолетового облучения, озонирование, обработку гипохлоритом либо хлором.

Для снижения затрат на электроснабжение насосных станций очистные станции сооружают на возвышенностях и располагают объекты комплекса на разных уровнях с целью обеспечить самотечную переброску стока из одного объекта очистки в другой. Однако несмотря на это, использование насосов неизбежно.

На рисунке приведена схема очистных сооружений города с населением 28 тыс. человек, централизованного водоотведением из которых пользуются 11 тыс. человек [6].

При данной схеме водоочистки вода сбрасывается в биологические пруды, где она дополнительно отстаивается и откуда самотеком попадает в реку. Количество сточных вод за год составляет около 1500 тыс. м³. Затраты на электроэнергию составляют 5500 руб. год / тыс. м³ [6].



Вариант компоновки очистных сооружений [6]

Наиболее подготовленным местом для установки гидросилового оборудования является выход трубопровода в биологические пруды. Здесь вода самотеком стекает в пруд, и далее не требуется создание напора, поэтому установка микроГЭС не будет сказываться на мощности насосов. К тому же вода, идущая в биологические пруды, уже прошла все стадии очистки и является практически соответствующей нормам [3, 5].

Исследования сбрасываемого стока в биологические пруды позволили определить 75 % обеспеченный расход, который составил $0,059 \text{ м}^3/\text{с}$, напор составил 7 м. Таким образом, гидроэнергетический потенциал сбрасываемой в биологический пруд воды составил 4 кВт. Для исключения дополнительных затрат на строительство микроГЭС и сокращения срока ввода в эксплуатацию предлагается использовать установку контейнерного типа WRFTW 3000. Себестоимость производимой на микроГЭС электроэнергии составит 0,92 руб. кВт·ч, капитальные затраты – 430 тыс. руб. срок окупаемости капиталовложений составит 7,7 года [5].

Биологические пруды представляют собой каскад прудов. При рассмотрении возможности использования гидроэнергетической энергии стоков, перетекающих из одного пруда в другой, необходимо собрать статистические данные об том стоке, поскольку он не будет равен расходу, вытекающему в первый биологический пруд ввиду наличия фильтрации, потерь на испарения и пр.

Использовать тепловую энергию на очистных сооружениях возможно при помощи теплового насоса (ТНУ).

Одним из мест установки ТНУ могут стать незамерзаемые биологические пруды, имеющие теплозапасы [12]. Наиболее целесообразным местом закладки испарителя ТНУ является сливной канал биологического фильтра, по которому стекает вода, уже прошедшая биологическую очистку. На рассматриваемых очистных сооружениях расположено два биологических фильтра. Поскольку микроорганизмы, осуществляющие биологическую очистку, живут при температурах 23–25 °С, а после фильтров вода уходит на вторичные отстойники, снижение температуры данной воды путем снятия тепла ТНУ не повлечет нарушения теплового режима биофильтров. Конденсатор ТНУ будет выполнять роль радиатора системы отопления фильтра. Учитывая агрессивную среду внутри биофильтра, предлагается установить оборудование ТНУ в пристрое. Тепловой расчет позволил определить мощность ТНУ, которая составила 18,95 кВт. Для работы ТНУ рекомендуется установить компрессор спирального типа CopelandScroll ZH38K4E-PFZ-524. Установка ТНУ в биофильтр позволит снизить затраты на обогрев биофильтров, при этом срок окупаемости проекта на один биофильтр составит 2 года с капитальными затратами 340 тыс. руб. [7, 11].

Тепловую энергию вторичных отстойников возможно использовать при помощи двигателя с внешним источником теплоты, например при помощи двигателя Стирлинга. Несмотря на невысокий КПД двигатель Стирлинга способен преобразовывать теряемую в окружающую среду тепловую энергию в механическую. Учитывая достаточно высокую цену на такие двигатели, применение их на рассматриваемых небольших очистных сооружениях является неэффективным.

Помочь утилизировать избыточный ил на очистных сооружениях и попутно выработать метан позволит внедрение биогазовой установки.

По данным [9] на одного человека образуется 0,26 кг осадков в сутки, а теплотворная способность 1 кг сухого осадка составляет

2000 ккал или 6,8 кг у.т. в год на человека. Таким образом, использование биореактора на рассматриваемой станции очистки позволит выработать 74,8 т.у.т. в год. Выработанный биореактором эффлюент можно использовать в качестве удобрений, предварительно его обеззаразив. Менее энергоемким, но эффективным методом обеззараживания эффлюента является его обработка в кавитационном поле [10].

Внедрение рассмотренных способов использования на очистных сооружениях возобновляемых источников энергии позволят повысить энергоэффективность станции, что может способствовать модернизации оборудования и исключения дополнительного финансирования. При проектировании данных установок следует учитывать, что срок окупаемости капиталовложений для инвестирования данных проектов не должен превышать 10 лет, учитывая их жизненный цикл [8].

Литература

1. Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод / 4-е изд., доп. и перераб. М.: Ассоциации строительных вузов, 2006. 702 с.
2. ГОСТ 25150-82. Канализация термины и определения. Введ. 01.07.1983. М.: Издательство стандартов, 1994.
3. Гусева О. А. Использование гидроэнергетического потенциала готовых напорных гидроузлов для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей (на примере Челябинской области): автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2014. 196 с.
4. Гусева О. А., Пташкина-Гирина О. С. Утилизация гидравлической и тепловой энергии искусственных водосбросных сооружений // Наука ЮУрГУ: Матер. 70-й науч. конф. Челябинск, 2018. С. 432–435.
5. Курильчик С. Ю., Шаталов Н. С., Гусева О. А. Возможность применения малых ГЭС на очистных сооружениях // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: Мат. Междун. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург: УрФУ, 2018. С. 683–686.
6. Официальный сайт администрации г. Карталы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kartaly74.ru/> (дата обращения: 10.10.2019).
7. Пташкина-Гирина О. С., Гусева О. А., Волкова О. С. Опыт внедрения теплонасосных установок в системы отопления зданий в Челябинской

области // Приоритетные направления развития энергетики в АПК: матер. II всерос. (национальной) науч.-практ. конф. Курган: Курганская ГСХА, 2018. С. 132–137.

8. Пташкина-Гирина О. С., Низамутдинова Н. С., Гусева О. А., Волкова О. С. Оценка экономической эффективности гидроэнергетических сооружений с учетом их жизненного цикла // АПК России. 2019. Т. 26, № 2. С. 254–261.

9. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) / под ред. Безруких П. П. М: ИАЦ Энергия, 2007. 272 с.

10. Телюбаев Ж. Б., Шерьязов С. К., Пташкина-Гирина О. С., Васенев В. В., Гусева О. А. Установка для выработки биогаза и обеззараживания эффлюента. Патент РФ № 186729. 2019. Бюл. №4.

11. Чеканин В. В., Скороплетов Е. А., Гусева О. А. Повышение энергоэффективности очистных сооружений посредством использования теплонасосной установки // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: Мат. Международной науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург: УрФУ, 2019. С. 687–690.

12. Шерьязов С. К., Пташкина-Гирина О. С., Гусева О. А. Использование тепловой энергии водоемов в условиях Южного Урала // АПК России. 2019. Т. 26. № 5. С. 833–842.

УДК 620.4

СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ

¹Данилевский Александр Юрьевич, ²Микаева Светлана Анатольевна,

³Ларшина Эвелина Леонидовна

РТУ МИРЭА, г. Москва

e-mail: dan2307700@gmail.com

Работа посвящена развитию высокоэффективных технологий солнечных батарей, кратко описана история развития солнечных батарей. Описан принцип работы и технология их изготовления на базе современных источников света.

Ключевые слова: солнечная батарея, принцип действия, история развития, светодиоды, материал.

SOLAR PANEL

¹Danilevsky Alexander Yurievich, ²Mikaeva Svetlana Anatolyevna,

³Larshina Evelina Leonidovna

RTU MIREA, Moscow

e-mail:dan2307700@gmail.com

The work is devoted to the development of high-efficiency solar cell technologies, briefly describes the history of solar cells. The principle of operation and technology of their production on the basis of modern light sources is described.

Keywords: solar battery, operating principle, history of development, LEDs, material.

С каждым годом потребность в энергии у человечества возрастает и с этим растёт потребность в ней. Мы должны понимать, что традиционное топливо как, например, нефть, газ и уголь не бесконечно, и единственным выходом из этого положения является поиск новых энергоресурсов. Эти ресурсы должны быть более разнообразны в своем качестве и количестве, например: солнечная энергия, энергия ветра, энергия биомассы, гидроэнергия и др. [1].

Солнечная батарея – это устройство, преобразующее энергию солнечного света непосредственно в электричество. Обычно солнечные батареи (рис. 1) состоят из кристаллов кремния, образующих полупроводник [1, 4].

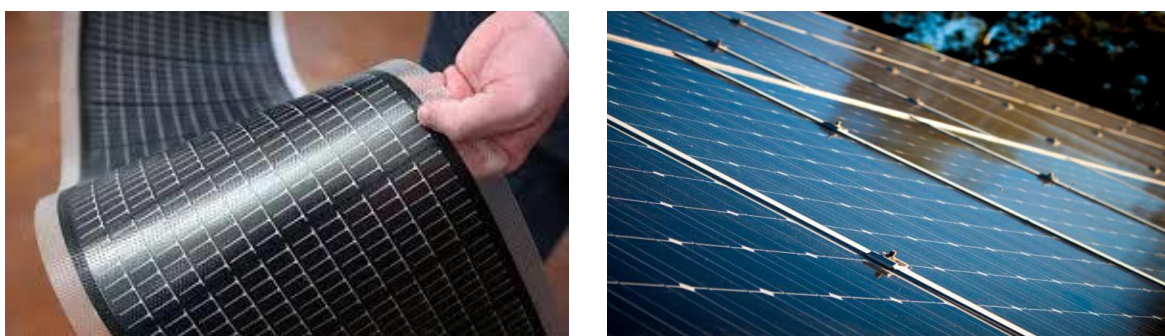


Рис. 1. Солнечная батарея

Первым, кто начал экспериментировать с электролитическими ячейками, которые способны генерировать электричество под воздействием солнечного света, был французский ученый Эдмонд Беккерель. Уже в 1883 г. американский изобретатель Чарльз Фриттс создает первый рабочий прототип солнечной батареи на основе селена, но коэффициент полезного

действия (КПД) данной установки составит всего 1%. И наконец, теоретическое обоснование возникновения фотоэлектрического эффекта в 1905 г. дал А. Эйнштейн, за что был удостоен Нобелевской премии [2, 3].

Принцип действия солнечных батарей заключается в следующем: последовательно подключенные фотоэлементы могут преобразовать солнечную энергию в электричество. Основным фотоэлементом для этого является оксид кремния. Из него создается полупроводник (p - n типа) с помощью нанесения на пластины кремния с одной стороны слоя бора, где появляется избыток электронов (n -слой), а с другой слоя фосфора, который образует недостаток электронов (дырки) (p -слой). Избытки электронов из n -слоя покидают свои атомы, тогда как p -слой эти электроны захватывает. Это происходит с помощью лучей света, которые «выбивают» электроны из атомов n -слоя, после чего они летят занимать дырки в p -слое. Электроны начинают бежать по кругу, выходя из p -слоя, проходя через нагрузку (в данном случае аккумулятор) и возвращаясь в n -слой, устройство и принцип действия солнечной батареи показан на рис. 2 [4–8].

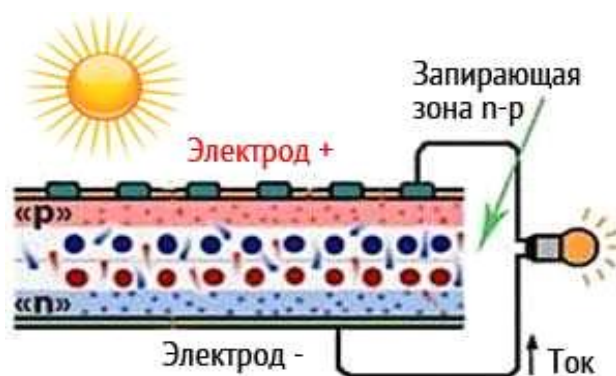


Рис. 2. Принцип действия солнечной батареи

Изготовление солнечных батарей делится на этапы, и первый – это подготовка сырья. Как уже говорилось ранее, в основном батареи делают из оксида кремния, но необходимо добиться содержания малых долей примесей в материале. Этого можно достичь с помощью 2-х процессов: первый процесс – высокотемпературное плавление; второй процесс – синтез с добавлением разнообразных химических элементов. После прохождения этого этапа очищение кремния достигает 99,99%. После очистки кремния его режут на тонкие пластины и покрывают слоем бора и фосфора с разных сторон. Далее материал тестируется. Процесс производства солнечных батарей приведен на рис. 3.



Рис. 3. Процесс производства солнечных батарей

На втором этапе эти пластины спаиваются в ячейки, а из них формируют блоки на стекле. Формируют эти блоки с помощью держателей из вакуума, чтобы исключить механическое воздействие на готовый фотоэлемент. Обычно ячейки состоят из 10 батарей, а блоки – из 4 ячеек. Далее эти блоки ламинируются с помощью этиленвинилацетатной пленки и специального защитного покрытия. Параметры всех этих процессов подбираются на компьютере.

Заключительным этапом является монтирование алюминиевой рамы и соединительной коробки, с помощью специального клея – герметика, который обеспечивает надежное соединение. Далее готовая батарея тестируется, измеряя ток короткого замыкания, максимальную мощность и напряжение холостого хода.

Преобразование солнечной энергии еще только развивается, но уже имеет ряд неоспоримых преимуществ и высокий потенциал развития. Общедоступность и неисчерпаемость источника энергии, экологическая безопасность, из-за того, что в солнечных батареях нет движущихся частей, они крайне редко выходят из строя и практически не изнашиваются. Им не нужно топливо, что позволяет не думать о его цене. Солнечные батареи практически бесшумны, это выгодно отличает их от ветряных систем, а также модульность. Существует и ряд недостатков в использовании солнечных батарей – низкий КПД, малая мощность солнечных батарей и малая эффективность в зимнее время, а также при пасмурной и туманной погоде. В разных местах земного шара разное количество солнечной энергии, падающей на землю, а также неработоспособность в ночное время. Но все эти недостатки также являются потенциалом развития. Применение солнечных батарей развивается с каждым днем. И они успешно показывают себя в сферах промышленности, сельского хозяйства, военно-космических отраслях и быту (рис. 4).



Рис. 4. Применение солнечных батарей

Обеспечение электроэнергией в труднодоступных местах нашей планеты, жилых домов, в космических аппаратах, наземном транспорте, калькуляторах и многое другое – гораздо дешевле и экологичней своих аналогов.

Одним из мировых центров по инновациям, основанных, как и Россия, на нефтяных доходах, являются Арабские Эмираты, которые нередко первыми в мире коммерчески эффективно реализуют свои проекты. Именно к таким относится Дубайский проект крупнейшей в мире солнечной электростанции на 700 МВт с коллектором высотой 260 м и максимальным улавливанием отраженных лучей. Дубай прогнозирует, что за счет электроэнергетики из возобновляемых источников энергии к 2030 г. ОАЭ покроет 25 % своих потребностей в электроэнергии, а к 2050 г. – 75 % [1].

Литература

1. Боднарь Д. Кто тащит альтернативную энергетику в пещеры? Слово в защиту солнечной энергетики // Электронные компоненты. 2019. № 8. С. 6–10.
2. Горюнова Н. А. Органические полупроводники. М.: Советское радио, 1968. 268 с.
3. Андреев В. М., Грилихес В. А., Румянцев В. Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л.: Наука, 1989. 310 с.
4. Микаева С. А., Микаева А. С. Экспериментальные исследования характеристик перспективных источников света, приборов и систем. М.: РУСАЙНС, 2017. 150 с.
5. Микаева С. А. Производство приборов и систем с новейшими источниками света. М.: РУСАЙНС, 2018. 135 с.
6. Микаева С. А., Микаева А. С. Современные электронные системы и устройства. М.: РУСАЙНС, 2019. 186 с.

7. Брысин А. Н., Микаева С. А. Электротехника. Казань: Бук, 2018. 228 с.

8. Брысин А. Н., Микаева С. А. Промышленная электроника. Импульсные устройства и основы микропроцессорной техники. Казань: Бук, 2019. 250 с.

УДК 620.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕКТОРА РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К МЕТОДАМ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ

¹Золин Дмитрий Сергеевич, ²Рыжкова Елена Николаевна
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва
¹diff1@mail.ru, ²ryzhkovayn@mpei.ru

В данной статье описываются основные требования к центру управления электрическими сетями с целью повышения эффективности и надежности работы технологического оборудования. Описаны пути решения и степень продвижения в заинтересованных областях поставленной проблемы.

Ключевые слова: централизация системы управления электрическими сетями, производственный отдел электрических сетей, автоматизированная система диспетчерского управления.

DETERMINING THE VECTOR OF DEVELOPMENT OF TECHNICAL REQUIREMENTS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF THE NETWORK CONTROL CENTER OF A REGIONAL NETWORK COMPANY

¹Zolin Dmitry Sergeevich, ²Ryzhkova Elena Nikolaevna
MPEI, Moscow
¹diff1@mail.ru, ²ryzhkovayn@mpei.ru

This article describes the basic requirements for the control center of electric networks in order to increase the efficiency and reliability of the operation of technological equipment. Ways of solving and the degree of advancement in interested areas of the problem are described.

Keywords: centralization of the control system for electric networks, the production department of electric networks, an automated dispatch control system.

На данный момент схемы оперативно-диспетчерского управления (ОДУ) региональных сетевых компаний (РСК) не имеют четко систематизированной структуры построения. Недостатки подобной ситуации очевидны, и при организации новой системы центра управления сетями появляется необходимость в централизации функций управления в общем комплексе 110 и 35 кВ каждой РСК [1–4]. ОДУ сетей 35 кВ осуществляется децентрализованно на уровне производственных отделений электросетей, а для сетей 110 кВ полный объем подобного управления в текущий момент не достигнут [1, 3]. Необходимо определить функциональный набор задач на время осуществления централизованной системы управления, что указано в таблице.

Функциональный набор задач РСК для осуществления перехода
к централизованному режиму управления

Центр управления сетей региональной сетевой компании	
Служба ИИС	Центральная диспетчерская служба
Задачи	Функции
Обеспечение единого адресного пространства РСК	Перспективное планирование, оперативное и автоматическое управление
Технические средства	
АСДТУ верхнего уровня ИИС	Электросетевой комплекс 110 и 35 кВ
Диспетчерский пункт ПОЭС	
Отдел ИИС	Оперативно-диспетчерская служба
Сбор, обработка и передача информации на верхний уровень в едином адресном пространстве	Краткосрочное планирование на основе нормальных, установившихся аварийных расчетов
Технические средства	
АСДТУ нижнего уровня ИИС	Электросетевой комплекс 110 и 35 кВ

Структурная схема центра управления сетями региональной сетевой компании включает в себя две службы:

- центральная диспетчерская служба (ЦДС);
- служба ИИС – информационно-измерительной системы (она относится к отделу эксплуатации ПАК – программно аппаратного комплекса).

Основные функции технических служб информационно-измерительной системы поддерживают централизованное управление электросетевого комплекса, а также контроль в режиме «online» с учетом единого информационного пространства. Перечень описанных функций указан ниже:

- непрерывный оперативный контроль и производство оценки текущего режима работы электрической сети;
- контроль и регулирование указанных параметров электрической сети в контрольных пунктах;
- организация бесперебойной работы системы планово-предупредительного ремонта: учет заявок, запись графика выполнения;
- контроль и анализ технологических коммутаций, данных о повреждениях оборудования, проведение аналитической работы по организации технических мероприятий, направленных на сокращение числа внештатных и аварийных ситуаций на объекте;
- разработка и внедрение методологии по устранению технологических нарушений в комплексе РСК;
- проведение расчетов режимов (нормальных, аварийных, послеаварийных), проведение анализа текущего состояния контролируемого комплекса, разработка мер по оптимизации работы электросетевого комплекса: управление средствами АЧР, системами ограничения мощности;
- контроль деятельности персонала нижестоящих уровней.

Процесс централизованного управления на уровне производственного отделения электрических сетей с помощью средств информационно-измерительного комплекса обеспечивается персоналом оперативно-диспетчерской службы с выполнением следующих функций:

- обеспечение деятельности комплекса, требующей краткосрочного планирования (составление прогнозов, сведение балансов мощности, производство выбора оборудования, содействие созданию оптимального режима работы);
- проведение контроля и управление подстанционным комплексом в оперативном режиме (сбор, обработка и передача технологической информации);
- учет и передача оперативной информации;
- обеспечение автоматического управления технологического оборудования;
- создание аналитических прогнозов, обеспечение наиболее экономичного и эффективного режима работы технологического оборудования.

Система сбора и структурной обработки технологической информации позволяет производить планирование в перспективной плоскости и обеспечивать оперативное и автоматическое управление комплексом с учетом контроля параметров действующей электрической сети и состояния оборудования [2].

Создание централизованной системы управления позволяет производить краткосрочное и перспективное планирование на основании результатов анализа технологической информации.

Автоматизированная система диспетчерского управления производственного отделения электрических сетей содержит средства автоматизации, обеспечивающие надежное и эффективное функционирование:

– высокочастотные каналы связи, образованные по ВЛ 35 и 110 кВ в производственном отделении электрических сетей на основе аналогового и цифрового оборудования средств связи;

– низкоскоростные каналы телемониторинга, организованные на основе высокочастотных каналов;

– основное оконечное оборудование каналов связи и телемониторинга.

Аналогово-цифровое оборудование каналов телемониторинга обеспечивает свое функционирование с помощью различных протоколов связи. Оконечные устройства средств связи АСДУ ПОЭС РСК имеют различное технологическое происхождение [4].

С целью продвижения систем централизации комплекса управления электрических сетей необходимо проведение стандартизации в сфере оборудования связи и управления – создание совокупности взаимосвязанных устройств микропроцессорного типа с гибкой архитектурой управления и контроля с программируемыми функциями сетевой структуры и возможностью непосредственного подключения к средствам измерения текущих параметров.

Для обеспечения функций надежного управления, контроля и планирования деятельности высокотехнологичного электросетевого комплекса необходимо проектирование централизованной микропроцессорной системы управления, производящей свою деятельность в едином пространстве ИИС ЦУС РСК.

Литература

1. Чичев С. И., Глинкин Е. И. Информационно-измерительная система центра управления сетей // Вестник Черноземья. 2008. № 4. С. 60–62.

2. Чичев С. И., Глинкин Е. И. Архитектура системы РСК «Тамбовэнерго» // Труды ТГТУ: сб. науч. статей. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. Вып. 22. С. 134–136.

3. О Единой технической политике в электросетевом комплексе: Положение ПАО «Россети» от 08.11.2019. №378. М., 2019. 120 с.

4. Чичев С. И., Глинкин Е. И. Мониторинг и диагностика оборудования сетей региональной сетевой компании «Тамбовэнерго» // Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического моделирования: матер. IX Всерос. науч.-техн. конф. 27-28 апреля 2009 г. Тамбов, 2009. С. 461–472.

УДК 620.9

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

¹Иванова Виля Равильевна, ²Иванов Игорь Юрьевич,
³Семенов Дмитрий Германович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

²vr-10@mail.ru¹, igorivanov85@list.ru, ³cemehob.dimitriy@gmail.com

Использование биогазовых установок (БГУ) позволяет свести загрязнение окружающей среды к минимуму и получить ряд необходимых для жизнедеятельности общества продуктов: тепла, электричества, топлива и органических удобрений. Для обслуживания установки вручную, без автоматизации, понадобится большое количество времени и штат обслуживающего персонала не менее четырех человек, которые будут регулярно осуществлять загрузку и разгрузку, проводить мониторинг и обслуживание БГУ. При вводе системы автоматизации для обслуживания биогазовой установки понадобится всего лишь 1–2 человека, при этом они будут задействованы не более 1 ч в сутки. Это позволяет существенно снизить стоимость обслуживания БГУ, а также уменьшает вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: биогаз, биогазовая установка, автоматизация, удобрение, сельское хозяйство, деревообработка, растениеводство, животноводство.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR EFFECTIVE PROCESS CONTROL

¹Ivanova Vilia Ravilyevna, ²Ivanov Igor Yurievich,
³Semenov Dimitri Germanovich

KSPEU, Kazan

¹vr-10@mail.ru, ²igorivanov85@list.ru, ³cemehob.dimitriy@gmail.com

The use of biogas plants (BGS) allows you to reduce environmental pollution to a minimum, and get a number of products necessary for the life of society: heat, electricity, fuel and organic fertilizers. To maintain the installation manually, without automation, you will need a large amount of time, and the staff of the service personnel is at least four people who will regularly carry out loading and unloading, monitor and maintain the BSU. When entering the automation system, only 1-2 people will be required to service the biogas plant, and they will be involved no more than 1 hour a day. This allows you to significantly reduce the cost of servicing the BSU, and also reduces the likelihood of accidents.

Keywords: biogas, biogas plant, automation, fertilizer, agriculture, woodworking, crop production, animal husbandry.

При отсутствии каких-либо систем автоматизации для обслуживания установки будет необходимо три восьмичасовые смены в сутки, так как установка требует бдительного контроля круглосуточно и 7 дней в неделю. То есть в соответствии с трудовым кодексом, персонал рабочих будет составлять минимум 5 человек. Персонал будет обязан своевременно осуществлять пуск компрессора, осуществлять пуск и остановку перемешивающего устройства, или в случае ручного привода, вращать перемешивающее устройство вручную, следить за показателями температуры в биореакторе, следить за показателями давления в БГУ, контролировать уровень отработанного субстрата, осуществлять загрузку органических отходов и разгрузку удобрений.

При применении системы автоматизации будет необходим лишь контроль установки в случае аварийных ситуаций, а также для оперативной загрузки органических отходов и слива удобрений. Общее время в сутки, необходимое для оперативных работ, составляет около 1 ч, остальные процессы контролируются автоматической системой управления технологическим процессом (АСУ ТП). При использовании АСУ ТП количество обслуживающего персонала сокращается более чем в 2 раза и составляет всего два человека, а в случае обслуживания одним человеком персонал сокращается в 5 раз. При этом они могут осуществлять работу другого рода, так как объем работ будет совсем небольшим. В случае возникновения аварийных ситуаций выдвигается оперативная бригада.

Основными целями автоматизации технологического процесса являются:

- сокращение численности обслуживающего персонала;
- повышение эффективности производственного процесса;
- повышение качества продукции;
- повышение экономичности.

Загрузка биомассы в БГУ производится 1 раз в сутки. Одна порция подаваемой биомассы составляет 1/20 от общего объема, находящегося в биореакторе. Конструкция биогазовой установки показана на рис. 1.

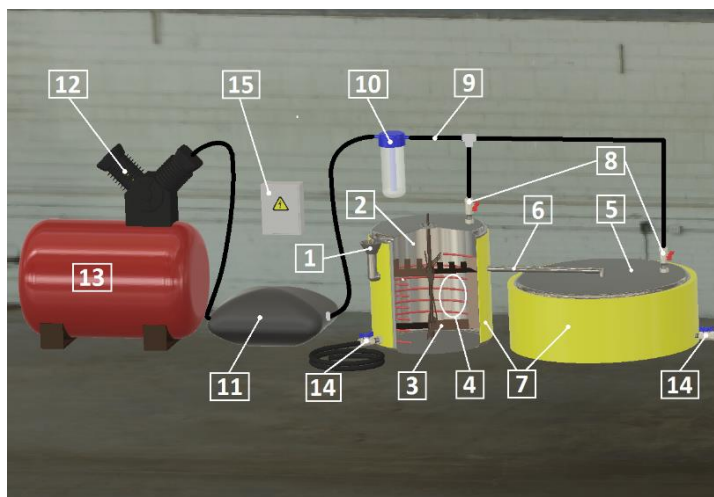


Рис. 1. Конструкция биогазовой установки

Составляющие биогазовой установки: 1 – загрузочный канал, 2 – биореактор, 3 – перемешивающее устройство, 4 – система отопления, 5 – камера дображивания, 6 – канал связи, 7 – теплоизоляция, 8 – газовые вентили, 9 – трубопровод, 10 – фильтр, 11 – промежуточный резервуар, 12 – компрессор, 13 – газгольдер, 14 – сливной вентиль, 15 – щит автоматизации и защиты [1, 2].

Схемы построены в программе ONI PLR Studio для логического реле PLR-S-CPU-1206.

Пуск электродвигателя будет осуществляться автоматически в определенные промежутки времени. Например, при использовании дифференцированного тарифа по двум зонам суток электродвигатель будет включаться в промежутке времени с 7:00 до 22:59 на 15 мин и с 23:00 до 6:59 на 30 мин. В промежуток времени с 7:00 до 22:59 контактор КМ1 (вывод Q001) (рис. 2) замыкается, и двигатель включается на 15 мин каждый час.

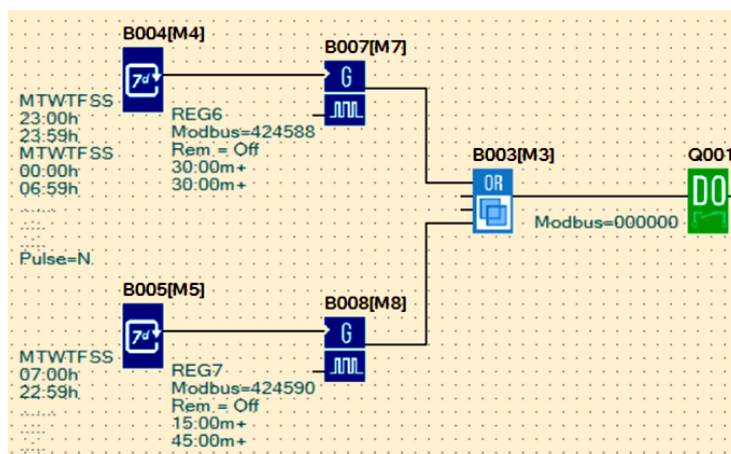


Рис. 2. Схема пуска электродвигателя с помощью логического реле

В промежутке времени с 23:00 до 6:59 двигатель включается на 30 мин каждый час (заполняется в двух интервалах с 23:00 до 23:59 и с 00:00 до 6:59) (рис. 2 звено В004[М4]), затраты на работу электродвигателя в ночное время суток с 23:00 до 7:00 будет значительно ниже, чем в дневное время.

Датчик давления Р1, который на рис. 3 показан как ввод I001, установлен в биореакторе. В случае, если давление будет превышать значение X, тогда подаётся сигнал на логическое реле, которое подает команду, и контактор КМ2 (вывод Q002) замыкается, активируя систему стравливания: включается привод заслонки, подается напряжение на свечу зажигания и сигнализацию. Излишки газа выводятся по трубе и воспламеняются с помощью свечи зажигания. Процедура стравливания проводится на протяжении А минут, после чего контактор КМ2 автоматически размыкается, и заслонка закрывается (в данной ситуации параметры заданы так, что стравливание осуществляется на протяжении 5 мин). Данная аварийная ситуация может возникнуть в случае, если вентиль будет закрыт или закупорен чем-либо.

Датчик давления Р2, показанный на рис. 3 как ввод I002, установлен в газгольдере. Если давление будет больше значения Y, то сигнал подаётся на логическое реле, и происходит стравливание газа из биореактора по схеме датчика давления Р1.

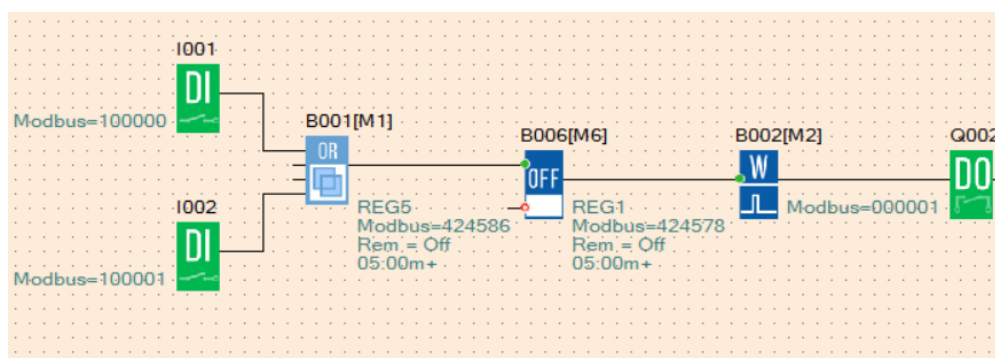


Рис. 3. Схема работы датчиков давления Р1 и Р2

Задержка выключения в данной ситуации необходима для того, чтобы блок генератора одиночного импульса получал питание на протяжении 5 мин, а не отключился сразу после снижения давления ниже предельного.

Датчик давления Р3, показанный на рис. 4 как ввод I003, установлен в промежуточном резервуаре. Если давление достигнет значения Z, тогда сигнал подаётся на логическое реле, после чего срабатывает контактор КМ3 (вывод Q003), включая тем самым компрессор, и газ перекачивается в газгольдер на протяжении В минут (в примере на протяжении 10 мин).

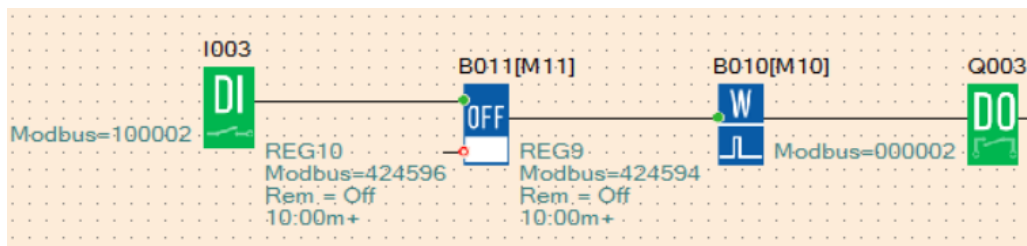


Рис. 4. Схема работы датчика давления P3

В камере дображивания устанавливается уровнемер для контроля объема накопившегося удобрения. Если уровень U становится больше значения h , то подаётся сигнал на логическое реле (ввод I004) (рис. 5), вследствие чего замыкается контактор КМ4 (вывод Q004), и загорается зелёная лампа.

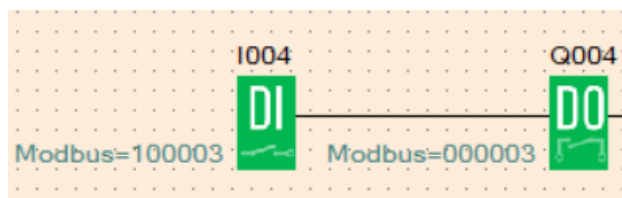


Рис. 5. Схема работы уровнемера

В помещении, в котором находится БГУ, необходимо постоянно делать замеры содержания воспламеняющихся газов. Для этих целей устанавливается газоанализатор. В случае, если он зафиксирует повышенное содержание метана в воздухе, тогда подается сигнал управления на логическое реле (ввод I005) (рис. 6), после чего замыкается контактор КМ5 (вывод Q005), который включает следующие системы: принудительную вентиляцию помещения, загорается красная сигнальная лампа, и включается звуковая сигнализация. Блок задержки отключения ставим на максимально доступный интервал, чтобы принудительная вентиляция работала до тех пор, пока не будет обнаружено место утечки и выполнены ремонтные работы.

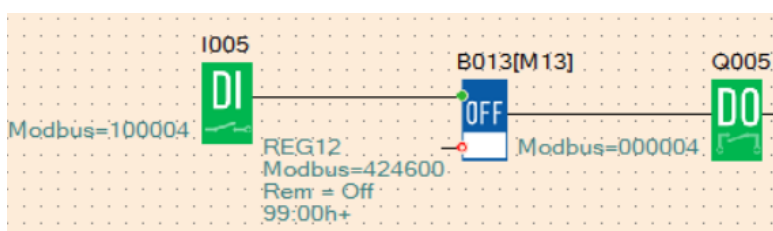


Рис. 6. Схема работы газоанализатора

Для того чтобы реакция протекала с необходимой скоростью, нужно поддерживать для этого оптимальную температуру. Для этого используется датчик температуры. Если температура T в биореакторе становится выше значения t , тогда подаётся сигнал на логическое реле (ввод I005) (рис. 7), после чего следует отключение контактора КМ6 (вывод Q005), который отключает нагреватель.

Если температура T в биореакторе становится ниже значения t , тогда подаётся сигнал на логическое реле, вследствие чего следует включение контактора КМ6. Так как система имеет большую массу и, соответственно, большую инертность, периоды работы нагревателя и отключенного состояния будут достаточно длительны.



Рис. 7. Схема работы датчика температуры

Также в щите устанавливаются дифференциальные автоматические выключатели для защиты от аварийных режимов в электрической цепи, в данном случае включается аварийная сигнализация [3–5].

Таким образом, с помощью логического реле осуществляется автоматический запуск электродвигателя перемешивающего устройства, автоматическое регулирование температуры в биореакторе, автоматический пуск компрессора, система аварийного стравливания газа из биореактора в случае повышения давления выше установленных значений в газгольдере или биореакторе, принудительная вентиляция помещения в случае утечек газа, а также звуковая и световая сигнализация [6–8].

Литература

1. Панцхава Е. С. Биоэнергетика. Мир и Россия. Биогаз. Теория и практика. М.: Русайнс, 2014. 312–313 с.
2. Зиганшин Б. Г., Кашапов И. И., Гайфуллин И. Х., Шогенов Ю. Х., Рудаков А. И. Актуальность применения биогазовых установок в России и за рубежом // Вестник Казанского Государственного Аграрного Университета. 2017. Т. 12. № 2 (44). С. 71–74.

3. Иванова В. Р., Фетисов Л. В. Разработка учебного стенда для эффективной и безопасной эксплуатации резервного электроснабжения на промышленных предприятиях // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. № 9–10. С. 120–129.

4. Иванова В. Р., Иванов А. С., Гусамов Д. И. Внедрение эффективного электроснабжения систем озеленения общественных зданий // Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития: сб. матер. междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2018. С. 76–78.

5. Виноградов В. М., Черепяхин А. А. Автоматизация технологических процессов и производств. Введение в специальность: учеб. пособие. М.: Инфра-М, Форум, 2018. 140–141 с.

6. Рудаков А. И., Гайфуллин И. Х., Кашапов И. И., Зиганшин Б. Г. Расчет теплового баланса и обоснование параметров малогабаритной биогазовой установки с мезофильным сбраживанием субстрата // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017. № 3. С. 63.

7. Ivanova V.R., Rozhentcova N.V. Justification of the set of technical and technological criteria when designing a combined power supply system for multi-story residential buildings // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). Pp. 26–30.

8. Рудаков А. И., Нуриев З. З. Переносная малогабаритная биогазовая установка // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2011. Т. 6. № 4 (22). С. 88–90.

УДК 621.31

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

¹Иванов Игорь Юрьевич, ²Гильманова Гульчачак Ренатовна

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹vr-10@mail.ru, ²79274514324@mail.ru

В данной работе описывается попытка создания единой методики, которая позволяет оценить ветропотенциал территории, оптимизировать тип ветроэнергетических установок для эксплуатации в данном пункте с максимальной эффективностью, рассчитать эксплуатационные показатели ветроэнергетических станций и определить их экономическую эффективность.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, ветроэнергетическая станция, эксплуатационные показатели, выработка электроэнергии, мощность, ветровой потенциал, ветровой поток, скорость ветра, экономическая эффективность.

ELECTROTECHNICAL COMPLEX DESIGN ALGORITHM

¹Ivanov Igor Yrievich, ²Gilmanova Gulchachak Renatovna

KSPEU, Kazan

¹vr-10@mail.ru, ²79274514324@mail.ru

This paper describes an attempt to create a unified methodology that allows you to evaluate the wind potential of the territory, optimize the type of wind power plants for operation at this point with maximum efficiency, calculate the operational performance of wind power stations and determine their economic efficiency.

Keywords: wind power plant, wind power station, operational indicators, power generation, power, wind potential, wind flow, wind speed, economic efficiency.

Целью проведения исследования является попытка создания единой методики, позволяющей адекватно оценить имеющийся ветропотенциал территории, оптимизировать тип ветроэнергетических установок (ВЭУ) для эксплуатации в данном пункте с максимальной эффективностью, рассчитать эксплуатационные показатели ВЭС и определить экономическую эффективность ВЭС.

Необходимость улучшения экологического состояния окружающей среды и рост цен на энергоносители способствуют развитию нетрадиционных возобновляемых источников энергии. В последнее время в мире наблюдается устойчивое развитие ветроэнергетики, как наиболее прогрессивного направления в области возобновляемых источников. Однако на территории Российской Федерации не наблюдается бурного развития ветроэнергетики, хотя страна обладает богатым ветропотенциалом. Одной из основных причин задержки развития ветроэнергетики является недостаточная проработка вопроса экономической обоснованности ветроэнергетических проектов для территории России, что, в свою очередь, обусловлено отсутствием единого подхода в определении эксплуатационных показателей ветроэнергетических станций (ВЭС) и интерпретации результатов в качестве исходной информации для инвестиционного проекта [3–5].

Для определения эксплуатационных показателей ВЭС необходимо последовательно выполнить ряд шагов, которые можно представить в виде алгоритма.

Алгоритм расчета эксплуатационных показателей ВЭС можно представить в виде схемы рисунке.

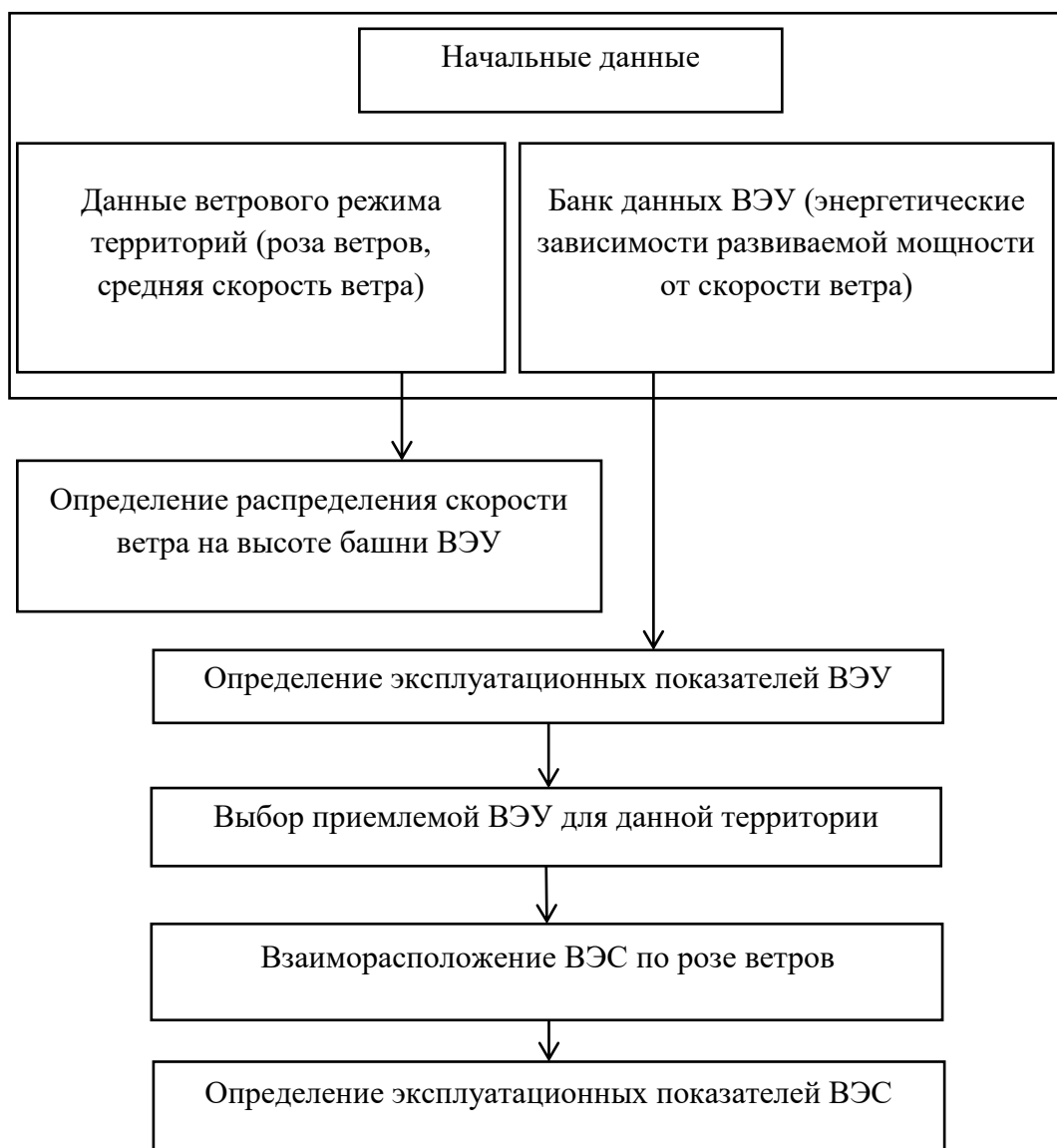


Рис 1. Алгоритм расчета эксплуатационных показателей ВЭС

Особенностями предлагаемого алгоритма является то, что исходные данные представляют собой следующее.

1. Данные ветрового режима территории, включающие в себя высоту, на которой производились измерения скорости ветра, среднюю скорость ветра за рассматриваемый период времени, розу ветров. Важной особенностью является тот факт, что функция распределения скорости ветра может быть задана аналитически (при помощи распределения Вейбулла), либо статистическим рядом значений вероятностей появления скоростей ветра заданного диапазона. Кроме этого, здесь же представляется информация о типе местности, интерпретируемая в виде коэффициента шероховатости поверхности.

2. Банк данных ВЭУ, который содержит основные параметры современных ВЭУ, такие как энергетические кривые (содержащие информацию о номинальных параметрах ВЭУ: номинальной мощности, скорости включения, номинальной скорости, скорости отключения), диаметр ветроколеса ВЭУ, высоты башен, типы электрических генераторов.

Таким образом, исходные данные позволяют определить распределения скоростей ветра на заданных высотах, оценить ветровой потенциал территории в виде расчета удельной мощности ветрового потока, приходящейся на квадратный метр пространства, и предварительно оценить потенциал территории.

Далее следуя алгоритму, ветровой режим на заданной высоте (высоте флюгера) приводится к высоте башни ВЭУ, используя известные уравнения, описывающие увеличение скоростей ветра с высотой.

Рассчитываются эксплуатационные показатели ВЭУ по следующим зависимостям: выработка электроэнергии ВЭУ за определенный промежуток времени:

$$W = T \int_0^{\infty} P(u) f_u(u) du, \quad (1)$$

где T – рассматриваемый период времени (месяц или год); $P(u)$ – энергетическая кривая ВЭУ; $f_u(u)$ – функция распределения скорости ветра на высоте башни.

Если выражение (1) поделить на T (число часов рассматриваемого периода), то получим среднюю мощность, развиваемую ВЭУ, за рассматриваемый период:

$$P_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P_u f_u(u) du. \quad (2)$$

Для оценки эффективности работы ВЭУ определяется коэффициент использования установленной мощности ВЭУ:

$$K_{\text{и}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{ном}}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность ВЭУ.

Число часов работы ВЭУ:

$$T_p = T \int_{u_0}^{u_{\max}} f_u(u) du, \quad (4)$$

где T_p – число часов работы ВЭУ за рассматриваемый период; T – число часов рассматриваемого периода (месяц, год); $f_u(u)$ – функция распределения скорости ветра; u_0 – начальная скорость рассматриваемой ВЭУ; u_{\max} – скорость отключения рассматриваемой ВЭУ.

Число часов простоев ВЭУ:

$$T_{\text{п}} = T - T_p. \quad (5)$$

На этапе выбора оптимальной ВЭУ производится выборка по результатам экономико-математического моделирования. Для оценки экономической эффективности ВЭУ на вход модели подаются такие основные показатели: номинальные данные ветроустановки, включая ее стоимость; данные о среднегодовой выработке электроэнергии ВЭУ, рассчитанной на предыдущем этапе; период действия ВЭУ, равный 20–25 лет; норма дисконта. Производится расчет основных экономических показателей: чистой приведенной стоимости – NPV ; индекса доходности инвестиций – PI ; внутренней нормы прибыли – IRR ; срока окупаемости инвестиций – PP . На выходе модели получаем: срок окупаемости ВЭУ, себестоимость электроэнергии, производимой ВЭУ.

Далее производится конфигурирование предполагаемого массива ВЭУ по розе ветров и определение эксплуатационных показателей ВЭС с учетом затенения агрегатами друг друга. В результате расчетов, на выходе модели получаем данные о предполагаемой выработке электроэнергии на ВЭС, средней развиваемой мощности ВЭС, числе часов работы и простоев агрегатов на ВЭС, коэффициенте использования установленной мощности как отдельных агрегатов, так и ВЭС в целом. Оценивается процент потерь электроэнергии на ВЭС из-за взаимного расположения ВЭУ.

Для уяснения целесообразности использования ВЭС в заданном пункте проводится технико-экономическое обоснование предполагаемого проекта по методике, принятой для ВЭУ. Рассчитывается срок окупаемости ВЭС, себестоимость электроэнергии, производимой ВЭС.

Как показано в [1, 2], на территории Республики Татарстан имеются пункты, где возможно эксплуатировать ВЭС, построенные на базе крупных ВЭУ, при этом срок окупаемости ВЭС составит 8–10 лет. Для сравнения пунктов с сильными среднегодовыми скоростями ветра:

- Лопатка, мыс (среднегодовая скорость на высоте флюгера 9,96 м/с);
- Аскольд (среднегодовая скорость на высоте флюгера 8,8 м/с);
- Терпения, мыс (среднегодовая скорость на высоте флюгера 8,0 м/с) срок окупаемости ВЭС составит 4–5 лет.

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет производить обоснование ветроэнергетических проектов и на основании анализа эксплуатационных показателей делать выводы об экономической эффективности ВЭС.

Литература

1. Абдрахманов Р. С., Переведенцев Ю. П. Возобновляемые источники энергии: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 1992. 133 с.
2. Rozhentcova N. V., Ganin P. V., Rudakov A. I. Structural and Computer Optimization Model of a Solar-Wind Hybrid Electrical System in the Software Environment Matlab Simulink // Proc. of the 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2017). 2017. P. 644–649.
3. Иванова В. Р., Иванов И. Ю., Гильманова Г. Р. О выборе перспективных районов установки ветроэлектростанций с учетом совокупности технических, экономических и экологических критериев оценки принимаемых решений // Системы управления электротехническими объектами: сб. тр. VII Всерос. науч.-практ. конференции.
4. Иванова В. Р., Гильманова Г. Р. О выборе установки ветроэлектростанций на территории Республики Татарстан для эффективного и безопасного их функционирования // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. I Всерос. науч.-практ. конф. 2019. С. 479–483.
5. Ivanova V. R., Rozhentcova N.V. Justification of the set of technical and technological criteria when designing a combined power supply system for multi-story residential buildings // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). P. 26–30.

УДК 621.311

ГАЗОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С НУЛЕВЫМИ ВЫБРОСАМИ CO₂

¹Кононович Александр Сергеевич, ²Полазин Алексей Олегович
ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», г. Тольятти
¹79865498@mail.ru, ²alexpolazin@gmail.com

В статье представлен принцип функционирования газовой электростанции на основе цикла Аллама. Рассмотрены предпосылки реализации такого проекта. Проведена оценка возможности применения подобной электростанции в России.

Ключевые слова: цикл Аллама, газовая электростанция, электроэнергия, выбросы, экология, углекислый газ, природный газ.

GAS POWER PLANT WITH ZERO CO₂ EMISSIONS

¹Kononovich Alexander Sergeevich, ²Polaszin Alexey Olegovich
Togliatti State University, Togliatti
¹79865498@mail.ru, ²alexpolazin@gmail.com

The article presents the principle of functioning of a gas power plant based on the Allam cycle. The prerequisites for the implementation of such a project are considered. The possibility of using such a power plant in Russia was assessed.

Keywords: Allam cycle, gas power plant, electricity, emissions, ecology, carbon dioxide, natural gas.

В современном мире экологические проблемы с каждым годом становятся все более обсуждаемыми, во многом это связано с тем, что изменение климата на планете стало очень заметным. При этом, по оценкам многих экспертов, энергетика является одной из основных причин таких изменений. И это неудивительно, ведь значительная часть электроэнергии производится на ТЭС за счет сжигания органического топлива, а этот процесс сопровождается выбросом в атмосферу большого количества загрязняющих веществ.

Эта и многие другие причины способствуют все большему интересу к альтернативным источникам энергии, способным в будущем заменить собой традиционные. Но в России использование возобновляемых источников энергии находится на низком уровне, в немалой степени это связано с доступностью традиционных энергоносителей. В будущем

ситуация наверняка изменится, но сегодня именно на долю ТЭС приходится наибольшая часть генерируемой электроэнергии как в России, так и в мире.

По данным из отчета о функционировании Единой энергосистемы (ЕЭС) России по итогам 2018 г. [1] общая установленная мощность тепловых электростанций составляет 164 587 МВт, что составляет 67,7 % от общей установленной мощности всех электростанций России.

При этом современные технологии безусловно позволяют значительно снизить количество многих вредных веществ, выделяющихся при работе ТЭС. Но это не относится к выбросам углекислого газа (CO_2), а ведь именно выбросы этого газа являются причиной так называемого «парникового эффекта», который, в свою очередь, приводит к различным климатическим изменениям и глобальному потеплению. Возможность очистки выбросов ТЭС от углекислого газа аппаратными средствами не нашла большого применения в следствие высокой стоимости и недостаточной эффективности.

Решить эту проблему взялась компания Net Power. После нескольких месяцев разработки они представили принципиально новый вид газовой турбины, работавшей на основе так называемого «цикла Аллама», названного так в честь его изобретателя Родни Аллама.

Основной принцип работы данного цикла заключается в том, что рабочим телом в нем является углекислый газ, который не выбрасывается в атмосферу, а используется повторно в самом технологическом процессе.

Рассмотрим принцип действия цикла Аллама более подробно. Чистый кислород, получаемый из воздуха при помощи специальной установки разделения воздуха, поступает в специальную камеру сгорания. Туда же поступает топливо в виде природного газа или газифицированного угля. В результате сгорания топлива выделяется углекислый газ. Отметим, что при этом в камере поддерживаются особые условия, а именно температура около $1200\text{ }^\circ\text{C}$ и давление в 30 МПа. При таких условиях углекислый газ является сверхкритическим веществом, которое обладает свойствами газов и жидкостей одновременно.

В таком состоянии углекислый газ направляют в газовую турбину, где он в процессе вращения вала и соответственно выработке электричества охлаждается до $750\text{ }^\circ\text{C}$.

После прохождения через турбину он поступает в теплообменник и охлаждается до $50\text{ }^\circ\text{C}$, в этот момент происходит выделение паров воды, которые удаляются при помощи сепаратора.

После удаления воды углекислый газ делится на две части. Одна часть нагревается в теплообменнике до 720 °С и поступает в камеру сгорания для повторного использования в технологическом процессе. Нагрев газа происходит за счет двух источников:

- 1) передача тепла от сверхкритического вещества, которое охлаждается в теплообменнике;
- 2) тепло от воздуходелительной установки.

Оставшаяся часть углекислого газа, которая уже не будет использована в технологическом процессе, сжижается под высоким давлением и передается по трубопроводу или же консервируется в баки.

Для осуществления вышеописанного процесса обычные паровые турбины были модернизированы, и в результате их размер уменьшился в 10 раз, при этом мощность осталась неизменной. Строительство первой электростанции уже завершено, её мощность составляет 50 МВт, при этом компания Net Power утверждает, что чистый КПД электростанции составляет 58,9 % при работе на газе и 51,4 % при работе на угле. Кроме того, станция может работать без стороннего подвода воды для охлаждения (при этом КПД немного снижается) превращаясь фактически в производителя чистой воды. Компания позиционирует этот проект как тестовый, на его основе они планируют провести исследования, сделать работу над ошибками. И в случае их успешного устранения, приступить к более масштабному проекту, в планах компании строительство подобной ТЭС на 300 МВт уже для коммерческого использования [2–5].

Одной из возможных проблем при создании более мощных агрегатов может стать то, что сверхкритическая углекислота представляет собой очень сильный растворитель. А учитывая температуру и давление, при которых проходит процесс, можно себе представить, какие жесткие требования будут представлены к используемым материалам. Поэтому использование подобной технологии в большой энергетике пока остается под вопросом.

При этом компания утверждает, что существующая станция успешно функционирует, а это значит, уже сейчас возможно использование такой технологии для строительства небольших электростанций. Так, в составе ЕЭС России функционирует 16 газовых ТЭС мощностью до 50 МВт, все они входят в объединенную энергосистему Урала и используются для снабжения электроэнергией нефтегазовых месторождений. Размещение новых станций в таких местах будет крайне выгодно в экономическом плане, т.к. траты на транспортировку топлива будут минимальны.

Еще одной сферой применения данной технологии может стать малая энергетика, особенно выгодно это будет в тех местах, где возможно прямое подключение к газопроводу.

Особенно это будет актуально для тех стран, где уже введены ограничения по выбросам CO₂, например в Норвегии, где энергетики вынуждены использовать углеродные ловушки, которые либо снижают эффективность электростанций, либо загрязняют атмосферу другими токсичными веществами, да и в целом имеют гораздо меньшую эффективность, чем представленная технология. Если в будущем подобные законы будут приняты в России, то представленная нами технология будет иметь неплохие шансы для использования на территории нашей страны.

Подводя итоги, хотелось бы отметить, что наше будущее неразрывно связано именно с получением энергии от возобновляемых источников энергии. Но все прекрасно понимают, что мгновенно этот процесс произойти не может, не сейчас, не через несколько лет. Даже когда технологии получения альтернативной электроэнергии достигнут того уровня, который позволит, использовать их с той же эффективностью, что и традиционные электростанции при сопоставимой стоимости строительства и эксплуатации, потребуются несколько десятков лет для того, чтобы вытеснить традиционные источники энергии с лидирующих позиций. За это время экологическая ситуация из-за продолжающихся выбросов CO₂ в атмосферу не только не улучшится, а продолжит стремительно ухудшаться, а данная технология позволит еще какое-то время использовать ископаемые ресурсы, но уже без такого значительного вреда для экологии.

Литература

1. АО «СО ЕЭС» [Электронный ресурс]. URL: https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2019/ups_rep2018.pdf (дата обращения: 31.01.2020).
2. Энерговектор [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energovector.com/energoznanie-sverhkriticheskiy-podhod.html> (дата обращения: 31.01.2020).
3. Энергетика. ТЭС и АЭС [Электронный ресурс]. URL: <http://tesiaes.ru/?p=15543> (дата обращения: 31.01.2020).
4. Техно: блог [Электронный ресурс]. URL: <https://teknoblog.ru/2017/02/26/75321> (дата обращения: 31.01.2020).

5. Econet [Электронный ресурс]. URL: <https://econet.ru/articles/155469-innovatsionnaya-teploelektrostantsiya-rabotaet-bez-vybrosov-co2> (дата обращения: 31.01.2020).

УДК 622.276.012:621.311

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СТАНКА-КАЧАЛКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Кривова Екатерина Олеговна
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ekaterinakrivova@rambler.ru

В данной статье будут рассмотрены вопросы обоснования применения ветро-солнечных электростанций в качестве альтернативного источника электроэнергии для потребителей малой мощности.

Ключевые слова: возобновляемый источник энергии, станок-качалка, ветро-солнечные электростанции, электроэнергетика, гибридные электростанции, энергия солнца, энергия ветра.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF POWER SUPPLY PUMPING UNIT WITH THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Krivova Ekaterina Olegovna
KSPEU, Kazan
ekaterinakrivova@rambler.ru

This article will address the issues of justification of the use of wind and solar power plants as an alternative source of electricity for low-power consumers.

Keywords: renewable energy source, rocking machine, wind-solar power plants, electric power industry, hybrid power plants, solar energy, wind energy.

На протяжении многих лет тепло- и электроэнергетика использовала традиционные источники энергии, такие как уголь, природный газ, горючие сланцы, торф и другие. Но, к сожалению, их запас исчерпаем.

На данный момент для электроснабжения нефтедобывающих объектов чаще всего применяются электростанции собственных нужд, использующие в качестве топлива нефтяной газ [1].

Решить проблему дефицита природных ресурсов можно, однако очевидно, что в связи с нестабильным потенциалом возобновляемых источников энергии нельзя ограничиваться только ими для бесперебойной работы электроприемников.

Стоит вопрос организации сочетания и совместной работы традиционных и новых источников энергии, так как использование нетрадиционных источников энергии связано с рядом преимуществ, таких как сокращение затрат энергии, экологическая чистота, новые возможности в области повышения степени автономности систем жизнеобеспечения [2].

В качестве альтернативного источника электроэнергии наиболее популярно применять ветро-солнечные (гибридные) электростанции, они довольно стабильны в сравнении с электростанциями, которые используют только энергию солнца или ветра [1].

Таким образом, при совместном сочетании использования энергии солнца и ветра можно обеспечить стабильную выработку электроэнергии практически при любых погодных условиях.

Дополнительное преимущество данного метода связано с тем, что избыток вырабатываемой электроэнергии запасается в аккумуляторных батареях, которые входят в состав электростанции, он может расходоваться для покрытия дефицита мощности при неблагоприятных погодных условиях [1].

Наличие устройства накопления энергии – это необходимое условие, так как график электропотребления и энергетического потенциала возобновляемых источников носит весьма переменный характер [3].

Ветровые и солнечные энергетические установки небольшой мощности находят обширное применение для питания автономных потребителей, они отличаются простотой конструкции и помимо этого самым главным преимуществом является то, что ветровая энергия бесплатна и доступна.

Именно возобновляемые источники электроэнергии представляют особый интерес в вопросе развития систем электроснабжения потребителей малой мощности [3].

Среди минусов можно выделить, что начальный этап строительства сопряжен с большими инвестиционными вложениями на сооружение и строительство ветро-солнечных электростанций. Поэтому на этапе вложений следует ожидать достаточно большого срока окупаемости.

Однако интенсивный рост ветровой и солнечной энергетики в целом по миру указывает на большой потенциал данного направления.

Таким образом, несмотря на ряд существенных преимуществ традиционных источников питания по сравнению с ветро-солнечными для энергообеспечения крупных потребителей использование альтернативных источников энергии может стать наиболее рациональным и экономичным решением для объектов небольшой мощности (от 1 до 10 кВт), удаленных от основного источника питания на десятки и сотни километров [3].

Часто месторождения находятся в удаленных и труднодоступных районах. В связи с этим возникает необходимость строительства протяженных трубопроводов. Поэтому требуется поиск решений по оптимизации затрат на строительство и эксплуатацию производственной инфраструктуры.

В качестве одного из вариантов оптимизационных мероприятий рассматривается применение ветро-солнечных электростанций малой мощности для автономного электроснабжения линейных объектов с небольшой нагрузкой электроприемников (1–10 кВт), таких как [3]:

- станки-качалки;
- площадки электрифицированных узлов запорной арматуры на трубопроводах внешнего транспорта нефти и газа;
- станции электрохимической защиты от коррозии;
- системы обнаружения утечек транспортируемой среды;
- станции линейной телемеханики и связи.

В случае применения автономных источников питания (АИП) строительство протяженных высоковольтных электрических сетей не требуется, так как АИП малой мощности размещаются в непосредственной близости от электроприемников на единой либо смежной площадке [3].

Таким образом, оптимальным вариантом применения ветро-солнечных электростанций на объектах компании является их использование в качестве АИП удаленных линейных объектов небольшой мощности.

Публикация статьи осуществлена в рамках проекта «Создание серии электроприводов на базе российских высокоэффективных синхронных двигателей для станков-качалок нефти с применением беспроводных систем передачи данных и адаптивной системой управления для «умных» месторождений, Соглашение № 074-11-2018-020 с Минобрнауки РФ от 30 мая 2018 г.

Литература

1. Кочнев А. Е., Огнев Е. Н., Туровин О. А. Применимость ветро-солнечной энергетики в качестве альтернативного источника электроснабжения нефтяных объектов компании // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2017. № 2(4). С. 69–74.

2. Гарипов Н. И., Шаймарданов А. А. Исследование перспектив использования источников энергии в биогазовых установках // Международный научный журнал «Инновационная наука». 2016. № 10-2. С. 239–241.

3. Лукутин Б. В., Муравлев И. О., Плотников И. А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учеб. пособие. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2015. С. 6–7.

УДК 621.311.182

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ. РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Нурмухаметов Азат Фаилович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань
azatey.n@yandex.ru

В тезисе рассмотрены режимы работы объектов распределенной генерации, а именно автономный режим, режим параллельно с сетью и режим «следования за нагрузкой». Также для каждого режима представлена упрощенная схема подключения к локальной электрической нагрузке.

Ключевые слова: объект распределенной генерации (ОРГ), режимы работы, автономный режим, режим параллельно с сетью, режим «следования за нагрузкой», схема подключения.

DISTRIBUTED GENERATION. OPERATING MODES OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS

Nurmukhametov Azat Failovich
KSPEU, Kazan
azatey.n@yandex.ru

The thesis includes the modes of operation of distributed generation objects, namely Autonomous mode, mode in parallel with the network and the mode of "following the load". Also we have a simplified scheme of connection to the local electrical load for each mode.

Keywords: object of distributed generation (ORG), modes of operation, autonomous mode, mode in parallel with the network, mode of "following the load", connection diagram.

Как известно, генерирующее оборудование, выпускаемое ведущими производителями, используемое для распределенной генерации электроэнергии (дизель-генераторы, микротурбинные, газопоршневые установки, а так же ВИЭ), имеет возможность работать в трех различных режимах:

- в «островном» (автономном) режиме, без присоединения к сетям;
- параллельно с сетями;
- режим «следования за нагрузкой».

Их отличие состоит в способе управления генерацией электрической энергии для каждой единицы оборудования.

1. Автономный (островной) режим (рис. 1).

К оборудованию, вырабатывающую электрическую энергию, присоединена только электрическая нагрузка ближайшего объекта. Нагрузка может варьироваться от 0 до 100 %, при этом оборудование вырабатывает электрическую энергию, обеспечивая неизменный уровень напряжения, не зависящий от нагрузки. В таком режиме выходное напряжение – главный параметр, за которой следит автоматика генерирующего оборудования.

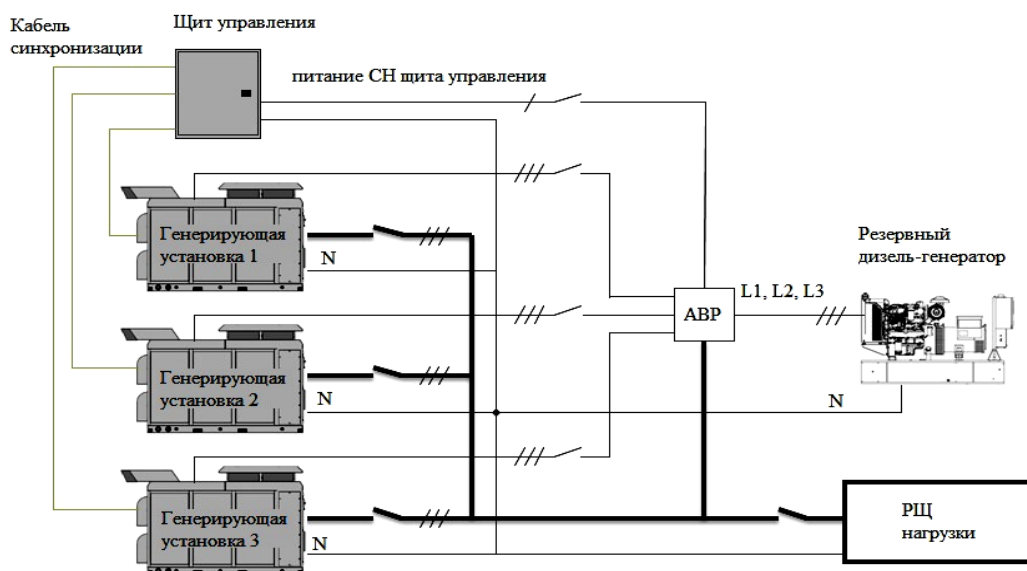


Рис. 1. Пример включения в автономном режиме

2. Режим параллельно с сетью (рис. 2).

В техническом описании САР одного из иностранных заводоизготовителей ГПУ говорится: «Система следит за нагрузкой, которую несет турбогенератор, и регулирует расход топлива в турбине таким

образом, чтобы поддерживать постоянную нагрузку в среде постоянно меняющейся частоты шин бесконечной мощности».

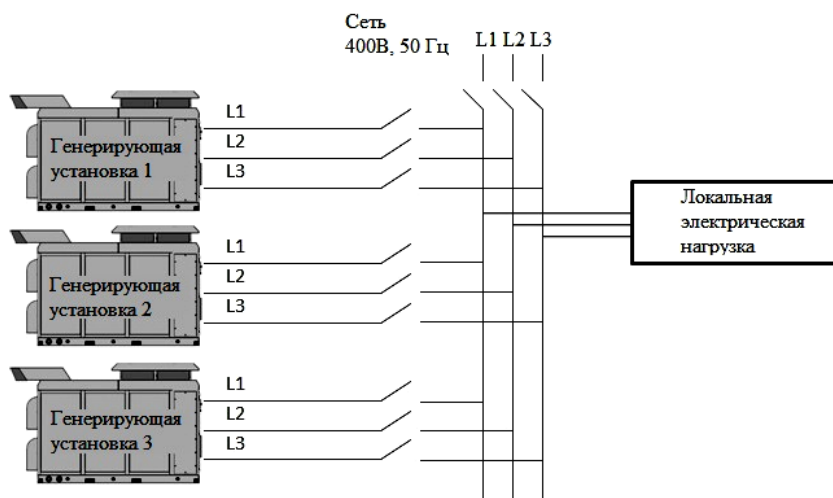


Рис. 2. Пример подключения параллельно с сетью

3. Режим «следования за нагрузкой» (рис. 3).

Имеется возможность организации работы энергокомплекса параллельно с сетями, но без передачи электрической энергии в сеть. Этот режим называется «следование за нагрузкой». В данном режиме при нехватке мощности от генерирующих установок, система «берет» из сети. Контролирует за этим процессом датчик мощности, который и дает сигнал на автоматические переключения в щите управления.

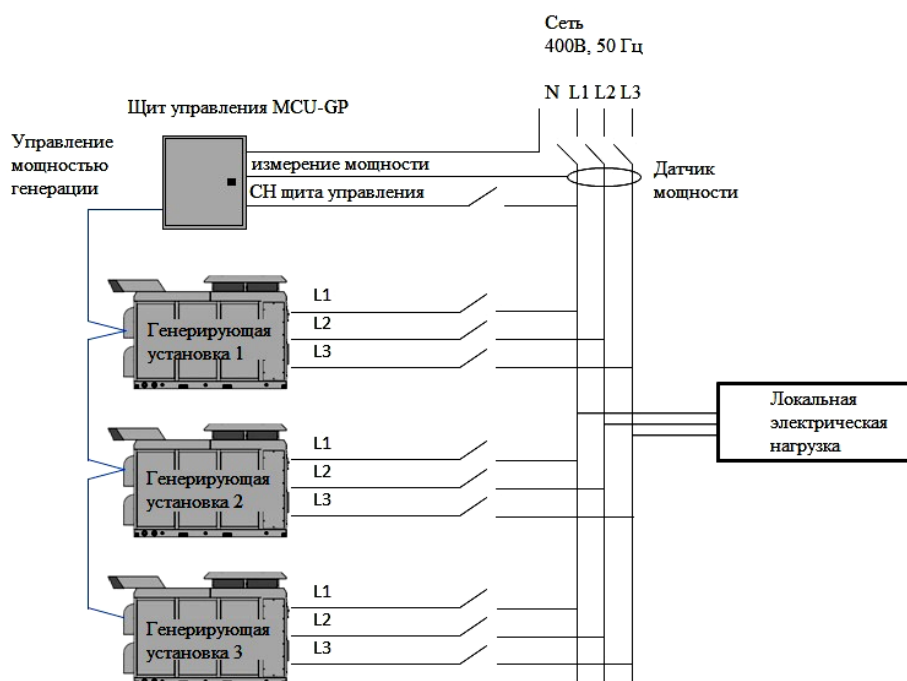


Рис. 3. Пример включения в режиме «следования за нагрузкой»

Литература

1. Безруких П. П. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии // Энергетическая безопасность и малая энергетика: сб. докл. XXI век. Всерос. науч.-техн. конф. Санкт-Петербург, 2002. С. 30–45.

2. Воропай Н. И., Ефимов Д. Н. Требования к противоаварийному управлению ЭЭС с учетом изменения условия их развития и функционирования // Надежность либерализованных систем энергетики. Новосибирск: Наука, 2004. С. 74–84.

3. Распределенная генерация [Электронный ресурс]. URL: <http://raoreform.elektra.ru> (дата обращения: 31.01.2020).

4. Возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс]. URL: <http://zodiak-energo.ru/articles/article/109/> (дата обращения: 31.01.2020).

5. Распределенная генерация [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 31.01.2020).

УДК 620.92

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ СТОРОНЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Пирогова Татьяна Олеговна

Ульяновский государственный технический Университе, г. Ульяновск

hudojnik25@mail.ru

В статье описываются позитивные и негативные воздействия ветроэнергетических установок на окружающую среду и человека, предлагаются возможные способы решения имеющихся проблем.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, альтернативная энергетика, ветроэнергетика, ветроэнергетическая станция, ветроэнергетическая установка, ветрогенератор.

NEGATIVE PERTIES TO THE USE OF WIND POWER STATION

Pirogova Tatyana Olegovna

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

hudojnik25@mail.ru

The article describes the positive and negative impacts of wind energy installations on the environment and humans, and suggests possible solutions to existing problems.

Key words: renewable energy sources, alternative energy, wind energy, wind power station, wind power installation, wind generation.

Ветроэнергетика – современное направление в энергоотраслевой промышленности. Её полностью можно отнести к отрасли альтернативной энергетики. Всё больше стран вкладываются в это направление, осознавая доступность и экологическую безопасность данного способа выработки энергии. Перспективность ветровой энергетики доказана на практике. Также она имеет большой потенциал для дальнейшего развития и совершенствования.

Ветровая энергетика имеет ряд преимуществ.

1. Способ добычи энергии из ветра не несёт за собой никакого воздействия на экологию. Во время работы ветроэнергетических установок (ВЭУ), выбросы в окружающую среду не происходят.

2. Перемещение воздушных масс зависит от погодных условий и имеет своеобразную постоянность в большинстве регионов. Поэтому ветер является возобновляемым источником энергии, т.е. считается неограниченным ресурсом.

3. Ветродвижитель имеет сравнительно низкие эксплуатационные затраты. Его работа осуществляется за счёт бесплатного сырья, ветра, который не требует расходов на добычу или изготовление.

4. Ветроэнергетические станции (ВЭС) уменьшают силу ветра, что снижает ветровую эрозию почвы. Также это уменьшает ветра в акваториях водохранилищ и водоёмов.

Несмотря на свои положительные качества, ветровая энергетика имеет ряд недостатков.

1. Одним из несовершенств ветроэлектрических установок (ВЭУ) является шум. Он возникает в результате работы механической передачи от ветроколеса к генератору. При работе ветроколеса возникает аэродинамический шум, а при работе редуктора – механический.

Данная проблема не имеет способа полного решения. Но акустическое воздействие ВЭУ можно снизить. Для этого, в случае с редуктором, используются гасители разной конструкции, а также кабину покрывают звукоизолирующим материалом. Снижение аэродинамического шума предлагается изменением профиля лопастей и подбором оптимальной скорости вращения ветроколеса. По данным Европейской ветроэнергетической ассоциации средняя величина шума на расстоянии 350 м от ветровой установки не превышает 45 дБ. Такой же уровень шума имеет оживленная магистраль на расстоянии 5 км. Следовательно, шум, исходящий от ветроэнергетической установки, находящейся близко

к жилой зоне, не изменит привычного уровня городского шума. А благоразумное размещение установки на расстоянии более трёх сотен метров от жилых домов решает проблему повышенности шума полностью. При этом необходимо учесть розу ветров и высоту ближайших зданий на предполагаемом месте сооружения ветроустановки [2].

2. Фундамент ветряка занимает крупную земельную площадь, также его монтаж изменяет свойства почвенного слоя. Это сокращает площадь, пригодную для сельскохозяйственных угодий. Данная проблема является спорной. Площадь, занимаемая ВЭУ, составляет 200–400 м², в то время как расстояние между ветряками довольно велико. Современные ветровые установки, диаметр ветроколеса которых составляет 80–100 м, устанавливаются на расстоянии 5–10 диаметров ветроколеса, т.е. от 400 до 1000 м. Если ветроэнергетическая станция располагается на плодородных землях, то промежутки между ветровыми установками можно использовать по своему прямому сельскохозяйственному назначению.

Для того чтобы не изымать часть плодородных земель из аграрного пользования, следует размещать ветроустановки на землях, не пригодных для сельского хозяйства. Также можно уменьшить процент занимаемой ветряком плодородной почвы, закопав тело фундамента на достаточную глубину (1–2 м от поверхности земли). Эта инженерная проработка позволит расширить использование почвы вблизи установки для нужд сельского хозяйства почти до основания установки.

3. Визуальное влияние ветровых установок – это, скорее, субъективный фактор. Вопрос для жителей России не очень-то понятен. Мы привыкли, что нас никогда не спрашивали и не спрашивают о сооружении, например, ретрансляторной мачты или опоры ЛЭП. Человек быстро привыкает к появлению ВУЭ в привычном ландшафте [1].

Для решения проблемы неэстетичного вида ВЭУ предлагается несколько способов решений. Во-первых, при выборе места для расположения ветропарка следует учитывать особенности ландшафта и уровень его изменения в ходе установочных работ. Во-вторых, важно опросить население, живущее вблизи предполагаемой территории установки ветряков, для выявления его мнения о предполагаемой стройке. В-третьих, также важно найти способ рекреационного применения ветряков. Сейчас во многих крупных фирмах по производству ветроустановок над эстетическим видом конструкции работают профессиональные дизайнеры.

4. Ветровые парки также оказывают влияние на орнитофауну, морскую фауну (при размещении ветрогенераторов в акватории), а также на крылатых представителей земной фауны. Этот вопрос не так страшен при более глубоком его рассмотрении. Если не располагать ветроустановки на трассах перелета птиц, на путях миграции рыб и вблизи пещер, где зимуют летучие мыши, то общее число гибелей живых существ от столкновения с ВУЭ не превысит 1 % от общего числа поражений животных от результатов человеческой деятельности.

Для достижения наиболее низкого воздействия ветровых установок на животный мир необходимо производить анализ вероятности гибели птиц, рыб и летучих мышей на местности предполагаемого строительства ветропарка. Данные расчеты помогут уменьшить процент поражения животных в зоне воздействия ветрогенератора.

5. Опасность гибели человека – проблема, которая существует во всём и будет существовать всегда. Этот вопрос связывают с вероятностью поражения людей в результате оторвавшейся лопасти или падения льда с лопасти в случае обледенения. На сегодняшний день конструкция ВЭУ имеет достаточно высокий уровень надежности. А лопасти ветроколеса оснащены греющими приборами, предотвращающими появление наледи. В мире находятся более 200 тыс. работающих ветроустановок, но не зафиксировано ни одной гибели человека в результате отрыва лопасти или отлетевшим куском льда.

В Германии был зарегистрирован единичный случай гибели парашютиста, которого занесло ветром на работающую ветроустановку. Найти способ избежания подобной ситуации невозможно, т. к. функция резкой остановки ветроколеса на ВЭУ неосуществима.

В 2013 г. в Голландии на острове Гуре-Оверфлакке был отмечен случай возгорания ветрогенератора, в результате которого погибли два человека. В момент возгорания работающие там механики не смогли перебраться в безопасное место, а помощь прибыла слишком поздно. Решением проблемы опасности возникновения пожара на ВЭУ является усиление системы защиты от пожара ветроэнергетических установок. В ряде стран Европы принят стандарт VdS 3523 [3], представляющий собой образец концепций противопожарной защиты ВЭУ.

В заключение необходимо сказать, что ВЭС является одним из самых безопасных способов выработки электроэнергии. Даже учитывая все вышеперечисленные отрицательные стороны

и недоработки ВЭУ, данный вид электростанций, по сравнению с ГЭС и АЭС, является наиболее безопасным как для обслуживающего персонала и обычных людей, так и для экологического состояния окружающей среды в целом.

Литература

1. Безруких П. П., Безруких П. П. (младший). Ветроэнергетика. Вымыслы и факты. Ответы на 100 вопросов. М.: Институт устойчивого развития Общественной палаты Российской Федерации. Центр экологической политики России, 2011. 74 с.

2. Ветроэнергетика в России, развитие технологии в ветроэнергетике [Электронный ресурс]. URL: <http://vetrodvig.ru/istoriya-razvitiya/vetryanye-melnicy-v-rossii/vetroenergetika-v-rossii/> (дата обращения: 29.11.2019).

3. Противопожарная защита ветроэлектрических станций [Электронный ресурс]. URL: http://security-info.com.ua/articles/?ELEMENT_ID=2006 (дата обращения: 01.12.2019).

УДК 621.313

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЛИТА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

¹Рашитова Рузанна Айдаровна, ²Тухбатуллина Диана Ильшатовна,

³Рылов Юрий Анатольевич, ⁴Бабакулыев Фархад Юнусович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань

¹r.rashitova97@mail.ru, ²dtukhbatullina@inbox.ru, ³auhadeevkgma@rambler.ru,

⁴farhat_zemla@mail.ru

Исследуется контроль качества электролитов стационарных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей на содержание примесей, определяющих работоспособность и срок их службы. Изучается эффективность применения фотометрического метода анализа для покомпонентного определения загрязняющих веществ в электролите.

Ключевые слова: свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, контроль качества, фотометрический метод анализа, жидкий электролит, вредные примеси.

ELECTROLYTE QUALITY CONTROL OF BATTERIES OF ELECTRIC POWER OBJECTS

¹Rashitova Ruzanna Aidarovna, ²Tukhbatullina Diana Ilshatovna,
³Rylov Yuri Anatolievich, ⁴Babakulyev Farhad Yunusovich

KSPEU, Kazan

¹r.rashitova97@mail.ru, ²dtukhbatullina@inbox.ru, ³auhadeevkgma@rambler.ru,
⁴farhat_zemla@mail.ru

The quality control of electrolytes of stationary lead-acid storage batteries for the content of impurities that determine the performance and their service life is investigated. The effectiveness of the application of the photometric method of analysis for the component-wise determination of pollutants in the electrolyte is studied.

Key words: lead acid batteries, quality control, photometric analysis method, liquid electrolyte, harmful impurities.

Сегодня процесс эволюции инновационных технологий в области накопления и хранения энергии является важной составляющей глобального развития энергетических систем, что обуславливает необходимость решения проблемы строгой одновременности процессов генерации и потребления. Предоставление «запасных» свойств и мобильности электроэнергии упростит переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергии. Развитие таких систем накопления энергии расширит зоны мировой технологической конкурентоспособности российского топливно-энергетического комплекса.

Наиболее распространенным типом батарей являются свинцово-кислотные. Из-за широкого разнообразия данный вид батареи используется в различных областях резервного питания, транспорте, солнечных электростанций, автономных систем электропитания и т.д. Принцип работы батареи основан на взаимодействии металлов и жидкостей, являющееся обратимой реакцией, возникающей, когда контакты отрицательной и положительной пластин замкнуты.

Свинцово-кислотные аккумуляторы состоят из свинца и жидкого электролита, где положительно заряженные пластины представляют собой свинец, а отрицательно заряженные – оксид свинца [3]. Все внутренние части батареи покрыты жидким электролитом, который состоит из серной кислоты и воды. Его химическая чистота оказывает значительное влияние на производительность и срок службы батареи.

Поэтому при приготовлении электролита чистота используемой воды должна соответствовать требованиям ГОСТ 6709-72 «Вода дистиллированная. Технические условия», а по качеству и химическому составу серная кислота должны соответствовать требованиям ГОСТ 667-73 «Аккумуляторная серная кислота. Технические условия».

При длительной эксплуатации электролита образуются продукты накопления химических и электролитических реакций. Загрязнение электролита вредными веществами, такими как марганец, хлор, железо и другие, приводит к уменьшению доставляемой емкости, разрушению электродов, быстрому саморазряду аккумуляторов и раннему выходу из строя аккумуляторов, а также для поддержания стабильности работы электролита. Контролировать необходимо эти процессы и периодически – качество электролита. Окраска электролита является одним из основных признаков его неудовлетворительного качества. При нормальных условиях электролит должен быть бесцветным, в присутствии органических веществ он окрашивается от светлых до темно-коричневых тонов, в присутствии соединений марганца он приобретает фиолетовый цвет [2].

Контроль содержания вредных примесей в электролите осуществляется физико-химическими методами анализа. Одним из таких методов является фотометрический – самый старый и самый распространенный метод. Измерительный прибор, используемый в этом методе, представляет собой спектрофотометр, который использует монохроматическое излучение.

Разработаны и внедрены методы фотометрического определения оксидов железа, меди и азота в аккумуляторных электролитах. Метод определения массовой доли оксидов азота основан на взаимодействии оксидов азота с сульфаниламидом и получении азосоединения, которое образует азокраситель малинового цвета с гидробромидом N-этил-1-нафтиламина, интенсивность окраски которого пропорционально содержанию оксидов азота. Его определение необходимо для предотвращения или устранения разрушения положительных электродов. Метод определения железа в электролите основан на образовании ионов железа I и II в аммиачной среде с сульфасалициловой кислотой комплексов, окрашенных в желтый цвет и имеющих одинаковый коэффициент поглощения. Определение ионов меди основано на образовании комплексных соединений с диэтилдитиокарбаматом свинца. Анализ для выявления этих компонентов необходим для предотвращения быстрого саморазряда батареи [1].

В зависимости от вида загрязняющего вещества в электролите аккумуляторных батарей существуют различные способы их устранения:

1) при загрязнении электролита хлоридами (внешние признаки – запах хлора и отложения светло-серого ила) или оксидами азота (без внешних признаков) аккумулятор подвергают трем или четырем циклам разрядки-зарядки, в результате проведения которых примеси удаляются;

2) марганец и его соединения удаляются из электролита путем разрядки батареи. Электролит заменяется новым, и аккумулятор заряжается нормально;

3) для устранения соединений железа аккумулятор разряжается, загрязненный электролит удаляется вместе с осадком и промывается дистиллированной водой. После этого аккумуляторную батарею заполняют электролитом с плотностью от 1,04 до 1,06 г /см³ и заряжают до тех пор, пока напряжение и плотность электролита не будут оставаться постоянными. После заряда батареи раствор удаляется и заменяется свежим электролитом с плотностью 1,20 г/см³, батарея разряжается до 1,8 В. В конце разряда электролит проверяется на содержание железа. В случае неблагоприятного анализа цикл обработки повторяется;

4) очистить электролит от соединения меди весьма несложно, но процесс требует замену отрицательных электродов после зарядки. Установка новых отрицательных электродов на старые положительные приводит к быстрому выходу из строя последних. Поэтому такая замена должна выполняться, если на складе имеются старые неработающие отрицательные электроды [1].

Использование фотометрического метода анализа для контроля качества электролитов обусловлено простотой и надежностью этого метода, практически неограниченными возможностями использования химических веществ в контрольной среде для анализа. На практике, когда задача состоит в том, чтобы определить все металлы в электролите, использование фотометрического метода нецелесообразно, поскольку этот метод анализа не позволяет определять широкий спектр металлов, именно здесь этот метод уступает атомному поглощению. Атомный метод анализа, как и фотометрический метод, относится к оптическим методам.

Литература

1. СТО 70238424.29.220.20.001-2009. Аккумуляторные установки электрических станций. Организация эксплуатации и технического обслуживания: Нормы и требования. Введ. 29.01.2010. М.: Филиал ОАО «Инженерный центр ЕЭС», «Фирма ОРГРЭС», 2009. 76 с.

2. Хрусталёв Д. А. Аккумуляторы. М.: Изумруд, 2003. 178 с.

3. РД 34.50.502-91. Инструкция по эксплуатации стационарных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. Введ. с 01.10.92 до 01.10.97. «УРАЛТЕХЭНЕРГО». 35 с.

УДК 621.31.031

РАЗРАБОТКА ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММЫ «УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПАНЕЛИ»

¹Рудаков Александр Иванович, ²Максимова Вероника Анатольевна

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹rud-38@mail.ru, ²maksimova.veronika@mail.ru

В работе показана разработка прикладной программы для ПЛК на языке LD пакета CoDeSys на основании описания технологического процесса «Устройство автоматической ориентации фотоэлектрической панели».

Ключевые слова: фотоэлектрические панели, возобновляемые источники энергии, фотоэлектрические энергосистемы, автоматическая ориентация, энергоэффективность.

DEVELOPMENT OF APPLICATION PROGRAM “DEVICE FOR AUTOMATIC ORIENTATION OF PHOTOELECTRIC PANEL”

¹Rudakov Alexander Ivanovich, ²Maksimova Veronika Anatolyevna

KSPEU, Kazan

¹rud-38@mail.ru, ²maksimova.veronika@mail.ru

Application development for PLC in LD language of CoDeSys package. based on the description of the technological process “Device for automatic orientation of the photovoltaic panel”.

Keywords: photovoltaic panels, renewable energy sources, photovoltaic power systems, automatic orientation, energy efficiency.

Рассмотрим технологический процесс на примере автоматического поворота фотоэлектрической панели (ФЭП) для повышения её энергоэффективности.

При запуске работы фотоэлектрической панели датчик слежения за углом поворота определяет местоположение и обнаруживает нужный угол к солнцу (азимут), задача трекера заключается в том, чтобы

установить углы наклона рабочей поверхности нагрузки, сориентировав её строго на солнце. Солнечные лучи должны падать на фотопанель под углом 90° . Затем производится мониторинг параметров мощности, освещенности и температуры фотоэлектрической панели. После мониторинга подается сигнал на электродвигатель и определяется нужный угол к солнцу, и, соответственно, фотоэлектрическая панель поворачивается на этот угол для получения максимальной интенсивности светового потока [1].

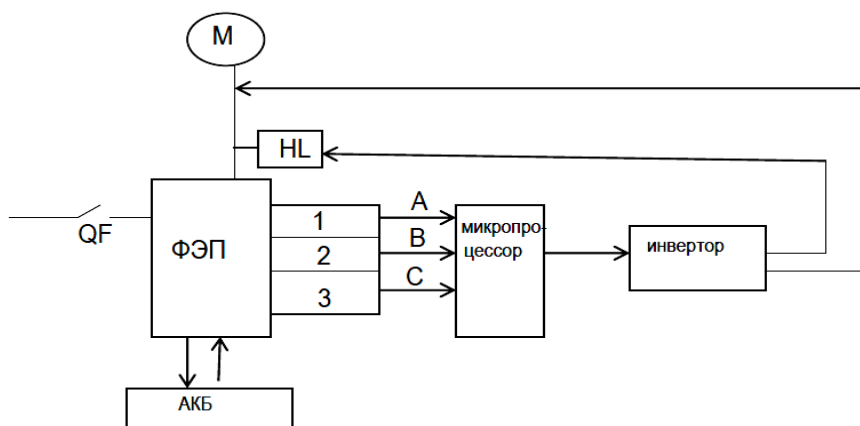


Рис. 1. Схема технологического процесса

На ФЭП установлены три датчика слежения (приёмные элементы) (рис. 1): 1 – датчик освещения; 2 – датчик температуры; 3 – датчик слежения за углом поворота в зависимости от времени суток.

Исполнительные элементы: асинхронный двигатель *M*, сигнальная лампочка *HL*.

С восходом солнца, при условиях срабатывания датчиков, электродвигатель начнет поворачивать ФЭП с запада на восток.

По мере уменьшения разницы в длительностях импульсов скорость поворота ФЭП плавно замедляется, что обеспечивает ее точное позиционирование.

Если срабатывает только 1 или 2 датчик по отдельности, то подаётся сигнал об ошибке на устройство сигнала, и тогда электродвигатель не будет осуществлять поворот ФЭП.

Микропроцессор обрабатывает сигналы, которые будут подаваться с *A*, *B*, *C*.

Инвертор служит для преобразования тока из постоянного в переменный [4].

Приемные элементы, вырабатывающие дискретные сигналы, подключены к катушкам электромагнитных реле *A*, *B*, *C*, установленных на входах СЛУ.

Условия срабатывания для M :

- M срабатывает, если срабатывают A , C , но не срабатывает B ;
- M срабатывает, если срабатывают B , C , но не срабатывает A ;
- M срабатывает, если срабатывает C , но не срабатывают A и B .

$$M_1 = a \cdot \bar{b} \cdot c;$$

$$M_2 = \bar{a} \cdot b \cdot c;$$

$$M_3 = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c;$$

$$\begin{aligned} M &= M_1 + M_2 + M_3 = a \cdot \bar{b} \cdot c + \bar{a} \cdot b \cdot c + \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c = \\ &= c(a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b + \bar{a} \cdot \bar{b}) = c(a \cdot \bar{b} + \bar{a}(b + \bar{b})) = c(a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b). \end{aligned}$$

Условия срабатывания для HL :

- HL срабатывает, если срабатывает A , но не срабатывают B и C ;
- HL срабатывает, если срабатывает B , но не срабатывают A и C .

$$HL_1 = a \cdot \bar{b} \cdot \bar{c};$$

$$HL_2 = \bar{a} \cdot b \cdot \bar{c};$$

$$HL = HL_1 + HL_2 = a \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} + \bar{a} \cdot b \cdot \bar{c} = \bar{c}(a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b).$$

В таблице представлены состояния работы элементов.

Таблица состояний работы элементов

	A	B	C	Устройство сигнала (HL)	Электродвигатель (M)
1	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1
3	0	1	0	1	0
4	1	0	0	1	0
5	0	1	1	0	1
6	1	0	1	0	1
7	1	1	0	0	0
8	1	1	1	0	0

1) в первую цепь необходимо внести контакт датчика 1 и катушку реле A ;

2) аналогично вносим во вторую цепь контакты датчика 2 и катушку B ;

- 3) создаём третью цепь, вносим контакт датчика 3 и катушку C;
- 4) создаём четвертую цепь. Добавим контакт реле «с», добавим размыкающий контакт «b» и контакты реле «a». Параллельно им добавим «b» и размыкающий контакт «a»;
- 5) вносим в цепь катушку реле КМ. Цепь завершена;
- 6) создаем пятую цепь. Последовательно вносим в цепь размыкающий контакт «с», затем контакт «a» и размыкающий контакт «b», параллельно им вносим размыкающий контакт «a» и контакт «b» [2].

На рис. 2 представлена схема релейно-контактной комбинации СЛЮ.

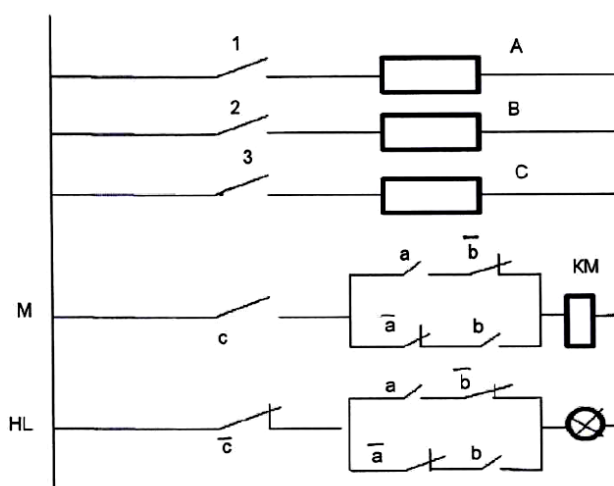


Рис. 2. Схема релейно-контактной комбинации СЛЮ

Программа для СЛЮ будет выглядеть следующим образом (рис. 3).

PLC_PRG (PRG-LD)	
0001	SB = FALSE
0002	A = FALSE
0003	SL = FALSE
0004	B = FALSE
0005	SK = FALSE
0006	c = FALSE
0007	km = FALSE
0008	HL = FALSE
0009	
0010	
0011	
0012	
0013	

Рис. 3. Программа для СЛЮ

На рис. 4 представлена схема релейно-контактной комбинации СЛУ на языке LD в программе CoDeSys.

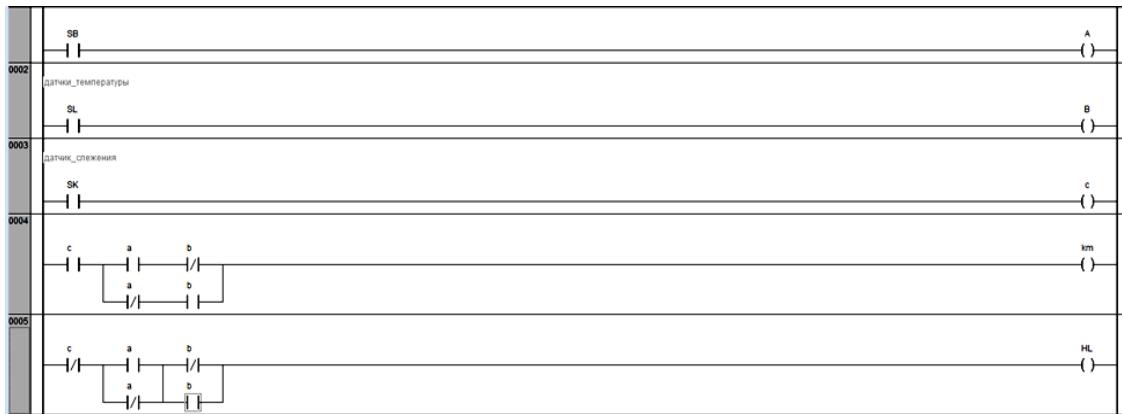


Рис. 4. Схема релейно-контактной комбинации СЛУ на языке LD в программе CoDeSys

На рис. 5 представлена схема релейно-контактной комбинации СЛУ на языке LD в программе CoDeSys в работе.

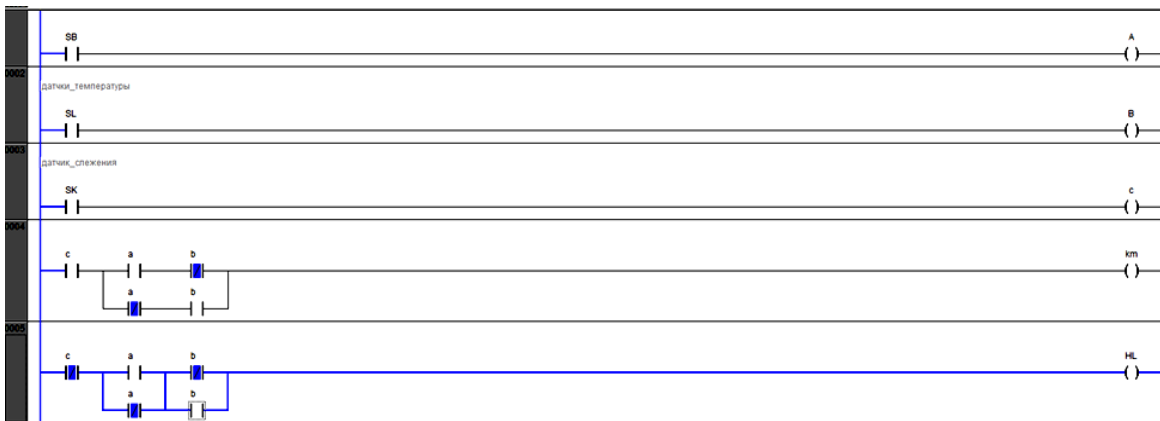


Рис. 5. Схема релейно-контактной комбинации СЛУ на языке LD в программе CoDeSys в работе

Устройства системы ориентирования (слежения) фотоэлектрических панелей позволяют повысить эффективность использования солнечной энергии:

- увеличивает КПД установки;
- понижает стоимость установки;
- оптимизирует работу установки;
- обеспечивает энергоэффективность установки [3].

Литература

1. Рудаков А. И., Максимова В. А. Повышение энергоэффективности солнечных фотоэлектрических установок // Наука. Технология. Производство-2019: Моделирования и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий: матер. Всерос. науч.-метод. конф., посвященной 100-летию образования Республики Башкортостан. Салават, 2019.

2. Ivanova V. R., Ivanov I. Y., Rozhentcova N.V. Justification of the set of technical and technological criteria when designing a combined power supply system for multi-story residential buildings // 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). P. 26–30.

3. Рудаков А. И., Максимова В. А., Фаттахов И. И. Повышение энергоэффективности гибридных электроустановок на базе возобновляемых источников энергии. Душанбе: НИЦ Мир науки, 2019. С. 36.

4. Rozhentcova N. V., Ganin P. V., Rudakov A. I. Structural and Computer Optimization Model of a Solar-Wind Hybrid Electrical System in the Software Environment Matlab Simulink // Proc. of the 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM 2017). 2017. P. 644–649.

УДК 621.31.031

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АВТОНОМНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

¹Рудаков Александр Иванович, ²Максимова Вероника Анатольевна

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹rud-38@mail.ru, ²maksimova.veronika@mail.ru

В данной статье рассмотрим фотоэлектрические энергосистемы, которые представляют собой совокупность специальных элементов, которые предназначены для преобразования потока солнечного излучения в электрическую энергию, для питания объектов.

Ключевые слова: фотоэлектрические панели, инверторы, возобновляемые источники энергии, фотоэлектрические энергосистемы, гибридная энергетика.

PHOTOELECTRIC AUTONOMOUS POWER SYSTEMS

¹Rudakov Alexander Ivanovich, ²Maksimova Veronika Anatolyevna

KSPEU, Kazan

¹rud-38@mail.ru, ²maksimova.veronika@mail.ru

In this article, we consider photovoltaic power systems, which are a set of special elements that are designed to convert the flow of solar radiation into electrical energy, to power objects.

Key words: photovoltaic panels, inverters, renewable energy sources, photovoltaic power systems, hybrid energy.

Одними из самых распространённых схем фотоэлектрических систем являются:

1) автономная система обеспечения объекта с использованием аккумуляторов, при которой объект питается исключительно от солнечных батарей;

2) автономная система-гибрид «Солнце-электромеханический генератор».

Типовая автономная фотоэлектрическая система (по первому варианту) может состоять из следующих элементов:

– фотоэлектрический преобразователь – это основной элемент, который является полупроводниковым прибором и преобразует энергию Солнца (энергию фотонов) в электрическую энергию;

– солнечные панели. Все фотоэлементы между собой соединяются в фотоэлектрический модуль (иными словами, солнечную панель). Дальше солнечные панели соединяются между собой в солнечные батареи (последовательно и параллельно), тем самым могут образовывать фотоэлектрические системы большей мощности (до нескольких кВт);

– инвертор. Данный элемент отвечает за преобразование постоянного тока в переменный, так как солнечные панели вырабатывают только постоянный ток. Таким образом, инвертор необходим для передачи электрической энергии как потребителям постоянного тока, так и переменного;

– коллектор. Пульт управления энергетической системы является солнечный коллектор, который не допускает обратного тока ночью или перегрузки всей системы;

– устройство автоматического ввода резерва. Если энергия солнца отсутствует или аккумуляторы разряжены полностью, это устройство автоматически переключает питание объекта на электросеть [5];

– электросчетчик солнечной электростанции. Прибор показывает, сколько электроэнергии подается в общую сеть, при необходимости – сколько потребляется (например, в зимнее время);

– аккумулятор (один или несколько) необходим системе для того, чтобы сохранять энергию, которую выработал солнечный модуль.

Для наглядного представления рассмотрим схему, на которой представлен переход от солнечного элемента до фотоэлектрической системы (рис. 1).

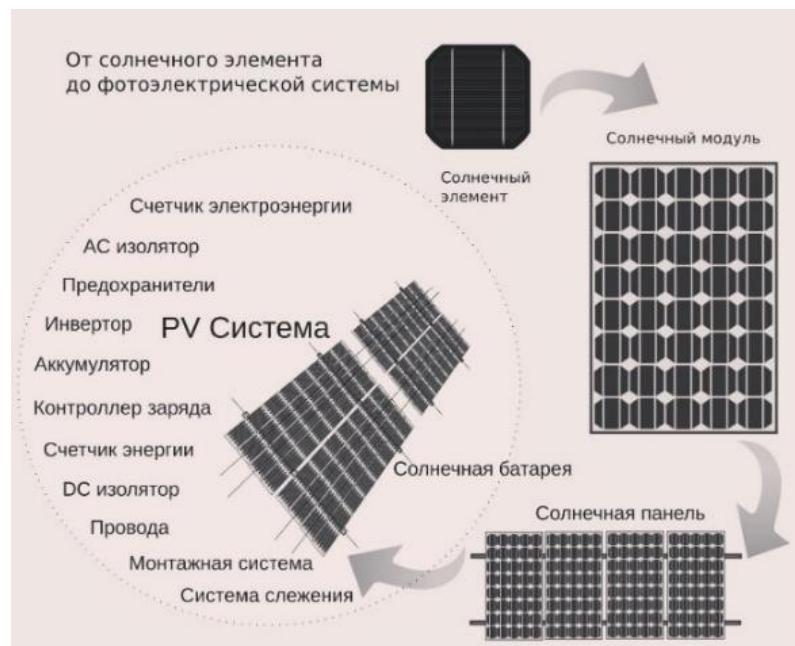


Рис. 1. Схематичное изображение фотоэлектрической системы

Работу всей системы определяют три основные величины:

– пиковая выходная мощность или пиковая нагрузка (кВт). Эта величина определяется только мощностью инвертора, она не зависит от количества солнечных дней или емкости аккумуляторов. Исходя из этого параметра, можно определить количество электроприборов, которые могут быть подключены одновременно к системе;

– время непрерывной работы при отсутствии солнца (А·ч). Этот параметр определяется исходя из емкости аккумуляторных батарей, зависит от мощности включенных электроприборов в сеть и длительности потребления ими электроэнергии;

– скорость заряда солнечной батареи (кВт/ч). Этот параметр зависит от мощности солнечной батареи. Чем выше мощность солнечной батареи, тем больше требуется места для ее установки [1].

Таким образом, чтобы подобрать солнечные батареи и вспомогательное оборудование, нужно знать:

- количество электроэнергии, которое необходимо объекту в месяц (кВт);
- необходимое время автономной работы в пасмурные (безсолнечные) дни или, когда потребление энергии будет превышать скорость зарядки аккумуляторов солнечными батареями;
- максимальную нагрузку сети в пиковые моменты.

Рассмотрим виды конструкций для автономных энергосистем.

1. Система со сбросом излишков энергии (рис. 2). В данном случае обеспечивается использование части потенциала первичного энергоносителя, необходимого для энергообеспечения текущего значения нагрузки потребителя. Оставшаяся энергия возобновляемого источника не используется.

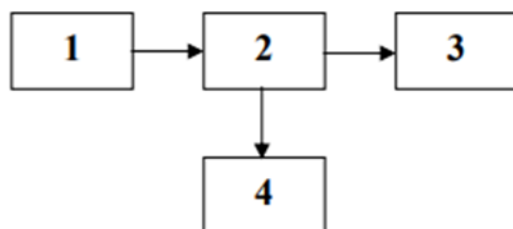


Рис. 2. Схема согласования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с потребителем. Система со сбросом энергии:

1 – ВИЭ; 2 – преобразователь энергии; 3 – потребитель; 4 – сброс в окружающую среду

2. Система с накопителями энергии. Излишки энергии первичного энергоносителя, по отношению к текущему значению полезной нагрузки, могут аккумулироваться и питать нагрузку в периоды недостатка потенциала возобновляемого энергоресурса. Данные системы являются наиболее энергоэффективными и применяются во всех типах энергоустановок возобновляемой энергетики.

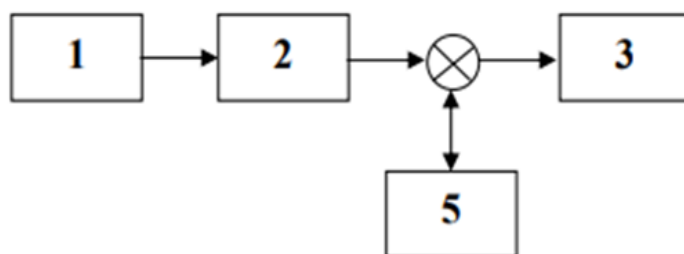


Рис. 3. Схема согласования ВИЭ с потребителем. Система со сбросом энергии
1 – ВИЭ; 2 – преобразователь энергии; 3 – потребитель; 5 – накопитель

3. Системы с регулированием нагрузки. Такие системы обеспечивают полное использование первичного энергоресурса за счет управления текущей мощностью нагрузки [5]. Регулирование нагрузки

обычно осуществляется автоматически с помощью полупроводниковых автобалластных систем. В качестве балластных нагрузок низкого приоритета применяются нагревательные устройства [2, 3].

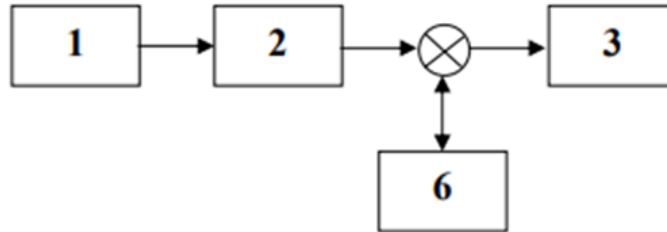


Рис. 4. Схема согласования ВИЭ с потребителем. Система со сбросом энергии:
1 – ВИЭ; 2 – преобразователь энергии; 3 – потребитель; 6 – регулятор

Для обеспечения надёжного электроснабжения необходим источник резервного питания. В качестве такого источника можно использовать дизель-генератор. Преимуществом наличия резервного источника питания является значительное снижение стоимости фотоэлектрической системы, в связи с отсутствием необходимости расчёта системы на худшие возможные условия. Но в тоже время со снижением стоимости системы увеличатся эксплуатационные расходы за счёт большего расхода топлива.

Литература

1. Лукутин Б. В., Муравлев И. О., Плотников И. А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электроснабжениями: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 128 с.
2. Попель О. С. Автономные энергоустановки на возобновляемых источниках энергии // Энергосбережение, 2006. № 3. С. 70–76.
3. Лукутин Б. В., Муравлев И. О., Плотников И. А. Возобновляемая энергетика в децентрализованном энергоснабжении. Томск: ТПУ, 2008. 231 с.
4. Вагапова Н. А., Вагапов Г. В., Сидоров А. Е., Абдуллин Л. И. Эволюция технологий в энергетике // Вестник экономики управления и права. 2015. № 1. С. 158.
5. Рудаков А. И., Роженцова Н. В., Ведерникова А. Е. Ветрогидроаккумулирующая электроустановка. Патент на полезную модель № 2662787. 2017.

УДК 621.548

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ МАГНУСА

¹Рудаков Александр Иванович, д.т.н., проф.

²Спиридонов Роман Радионович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹rud-38@mail.ru

В работе обозначены причины неустойчивой и неэффективной работы лопастных ветроустановок с горизонтальной осью вращения, особенно при малых оборотах ветроколеса. Дано описание принципа работы установок, использующей эффект Магнуса. Приведен алгоритм расчета ветроэнергетической электроустановки на основе эффекта Магнуса.

Ключевые слова: ветроэнергетика, электроустановка, эффект Магнуса, вращающийся цилиндр, подъемная сила.

A MATHEMATICAL MODEL OF THE WIND POWER INSTALLATIONS OF MAGNUS

¹Rudakov Aleksandr Ivanovich, doctor of technical Sciences, prof.

²Spiridonov Roman Radionovich

KSPEU, Kazan

¹rud-38@mail.ru

Reasons of unsteady and effective work of the blade vetroustanovok are in-process marked with the horizontal axis of rotation, especially, at the small turns of windwheel. Description of principle of work of settings, using the effect of Magnus is Given. The algorithm of calculation of wind energetic elektroustanovki is resulted on the basis of effect of Magnus.

Keywords: wind power, elektroustanovka, effect of Magnus, revolved cylinder, carrying capacity.

На сегодняшний день дальнейшее развитие ветроустановок с горизонтальной осью вращения практически остановилось. Это обусловлено тем, что для получения мегаваттных мощностей необходимо увеличивать ометаемую площадь, а значит, увеличивать размер лопастей. Это, в свою очередь, ведёт к необходимости увеличивать и размеры башни. Таким образом, стоимость ветроустановки возрастает в кубической зависимости.

Кроме того, существующие в настоящее время и широко используемые в мире лопастные ветрогенераторы неустойчиво и неэффективно работают при малых скоростях ветра, которые характерны для основных территорий континентальной части Земли.

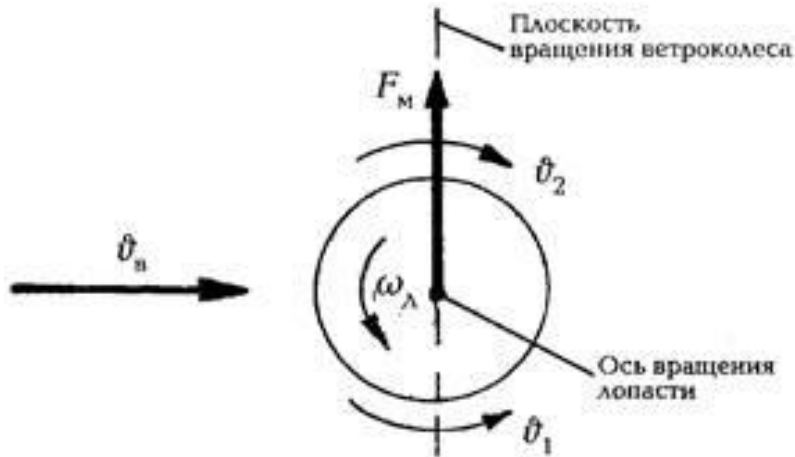
Поэтому внимание обращено на ветроустановки, использующие эффект Магнуса, основные преимущества, которых проявляются при низких, но наиболее часто повторяющихся скоростях ветра 2–6 м/с [4, 5].

Принцип работы установки, основанный на использовании эффекта Магнуса, заключается в следующем.

Сила Магнуса (F_M), направленная в сторону вращения ветроколеса, указанного на рисунке, возникает из-за разности давлений обтекающего эту лопасть ветрового потока. При вращении цилиндрической лопасти с угловой частотой ω_L относительная скорость обтекания цилиндра воздушным потоком v_1 будет меньше аналогичной скорости v_2 , что и является первопричиной возникновения силы F_M .

При поперечном обтекании вращающегося цилиндра на него действуют подъемная сила, а также силы сопротивления поступательному движению и вращению. Наиболее значительной из них является сила Магнуса, вектор которой совпадает с направлением движения цилиндров в плоскости вращения [3]. Проще говоря, вектор возникающей подъемной силы перпендикулярен набегающему потоку. Значит, вся возникающая энергия тратится на вращение конструкции. Это справедливо если рассматривается статическая схема, в динамике картина иная. При вращении конструкции со скоростью ветра с учетом скорости вращения и скорости ветра набегающий поток будет падать на цилиндры под углом 45 %, а значит и вектор подъемной силы отклонится от плоскости вращения на такую же величину. То есть, чем выше скорость вращения конструкции, тем больше вектор возникающей подъемной силы отклоняется от плоскости вращения. Справедливости ради надо отметить, что в ветроэлектрических установках (ВЭУ) с использованием эффекта Магнуса возникающая подъемная сила зависит не только от скорости набегающего потока, но и от частоты вращения цилиндров, а значит, нет необходимости в большой скорости вращения конструкции.

Особенностью рассматриваемого процесса является то, что по сравнению с движением жидкостей движение газов характеризуется рядом отличий, обусловленными физическими свойствами газов – их сжимаемостью [1, 2].



Взаимодействие вращающейся цилиндрической лопасти с ветровым потоком:

v_B – вектор скорости ветра; v_1, v_2 – относительные скорости обтекания;

ω_L – угловая скорость вращения лопасти вокруг своей оси; F_M – сила Магнуса

Так как при изменении давления плотность газа меняется существенно, то уравнение неразрывности должно учитываться массовым расходом:

$$m = \rho_1 \cdot V_1 \cdot \omega_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot \omega_2 = \dots = \text{const}, \quad (1)$$

т.е. масса газа, протекающего в единицу времени через любое живое сечение потока, постоянна.

При движении реальных газов, обладающих вязкостью, необходимо учитывать потери напора.

Уравнение Бернулли примет вид:

$$dz + \frac{dp}{\rho g} + \frac{dV^2}{2g} + dh = 0. \quad (2)$$

Интегрируя уравнение (2) по длине, получим:

$$z_1 - z_2 + \int_{F_1}^{F_2} \frac{dp}{\rho g} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + \Delta h = 0. \quad (3)$$

Сила Магнуса Y в общем виде выражается формулой:

$$Y = \rho \cdot V \cdot \bar{A} \cdot L, \quad (4)$$

где ρ – плотность среды;

V – скорость набегающего потока;

\tilde{A} – циркуляция, создаваемая вращением цилиндра;

L – длина цилиндра.

Циркуляция для реального, отрывного обтекания газовой средой описывается следующим образом:

$$\tilde{A} = K_{\tilde{A}} (2\pi R^2 \cdot \omega), \quad (5)$$

где $K_{\tilde{A}}$ – коэффициент, учитывающий влияние отрыва потока (при безотрывном обтекании $K_{\tilde{A}} \leq 1$); R – радиус цилиндра; ω – частота вращения.

Таким образом, улучшение характеристик, подобных ВЭУ, возможно при безотрывном обтекании цилиндров и, если учитывать их длину, диаметр, частоту вращения [3, 4].

Однако увеличение геометрических размеров цилиндров, а также частоты их вращения значительно усложняет конструкцию и имеет определенные пределы для ветроустановок с горизонтальной осью вращения, использующих эффект Магнуса. Это объясняется также тем, что радиально расположенные цилиндры имеют только нижнюю опору в ступице ветроколеса около оси, что вызывает вибрации, удары и боковые усилия на изгиб, причем, чем длиннее цилиндр, тем больше проявляются эти негативные факторы.

Практика показывает, что наибольший эффект силы Магнуса проявляется при относительном удлинении цилиндра более двенадцати, т.е.:

$$l/d > 12,$$

где l – длина цилиндра, d – диаметр цилиндра [5].

Литература

1. Мазо А. Б., Моренко И. В. Численное моделирование вязкого отрывного обтекания вращающегося кругового цилиндра // Инженерно-физический журнал. 2006. Т.79. № 3. С. 75–81.

2. Редчиц Д. А., Гуржий А. А. Численное моделирование эффекта Магнуса при обтекании кругового цилиндра невозмущенным потоком вязкой жидкости // Прикладная механика. 2012. Т. 14. № 1. С. 63–71.

3. Рудаков А.И., Хузиахметов А. Р. Ветрогенератор на основе вращающихся цилиндров и влияния шероховатости на его аэродинамические показатели // Актуальные вопросы современных исследований: сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф. Кишинев, 2018. С. 90–98.

4. Рудаков А. И., Хузиахметов А. Р. Обзор и классификация ветроустановок на основе эффекта Магнуса // Инновационная наука в современном мире: сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2018. С. 52–60.

5. Щеклеин С. Е., Попов А. И. Ветродвижитель с эффектом Магнуса. Патент РФ № 2526127. 2014 . Бюл. № 13.

6. Фетисов Л. В., Низамутдинов Р. Р., Шайхиев И. Г. Энергосбережение в электроприводе аэрационных установок очистных сооружений биологической очистки сточных вод // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 5. С. 158–160.

УДК 621.311

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ В КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ

¹Рудаков Александр Иванович, ²Фаттахов Ильназ Ильдарович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹rud-38@mail.ru, ²iln.fattahov@yandex.ru

В статье рассматривается двигатель Стирлинга, его преимущества, а также перспективы его применения в когенерационных установках.

Ключевые слова: двигатель Стирлинга, когенерационная установка, эффективность, электроэнергия, тепло.

MODERN STATE AND DEVELOPMENT OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES IN COGENERATION PLANTS

¹Rudakov Alexander Ivanovich, ²Fattahov Ilnaz Ildarovich,

KSPEU, Kazan

¹rud-38@mail.ru, ²iln.fattahov@yandex.ru

The article describes the Stirling engine, its advantages, and the prospects of its application in cogeneration systems.

Keyword: stirling's engine, cogeneration plant, efficiency, electric power, heat.

В последнее время вопросы энергосбережения и энергетической эффективности рассматриваются на государственном уровне. В этой связи значительно возрос интерес к нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии.

К устройствам, использующих нетрадиционное использование тепловой энергии, относится двигатель Стирлинга [1, 5]. В нем эффективно используется солнечная энергия, тепло геотермальных источников, тепло выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и многие другие источники тепла.

Двигатель Стирлинга – это тепловая машина с замкнутым регенеративным циклом, с высоким значением давления. Двигателю не требуется большого количества масла для смазки рабочих поверхностей, в нем отсутствуют клапанные механизмы, он характеризуется передачей тепла через стенки цилиндра или регенеративный теплообменник.

Машины Стирлинга характеризуются небольшой вибрацией по сравнению с двигателями внутреннего сгорания; надежностью в работе; минимальными объемами и концентрацией выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, воду, почву; повышенным ресурсом работы; универсальностью эксплуатации, позволяющей преобразование прямого и обратного циклов Карно; низким уровнем шума, равный 60–65 дБ [2]. Все эти свойства составляют преимущество в эксплуатации энергетических установок с двигателями Стирлинга в сравнении с подобными установками с поршневыми или газотурбинными двигателями.

Свойство двигателей Стирлинга как машины с внешним подводом тепла, позволяет применять все виды альтернативных топлив, делает их особенно привлекательными в связи с использованием энергии из возобновляемых источников.

Двигатель Стирлинга применим в случаях, когда необходим небольшой преобразователь тепловой энергии, либо в том случае, когда эффективность других тепловых двигателей оказывается ниже (например, если разницы температур недостаточно для работы паровой или газовой турбины).

Двигатели Стирлинга, которые относятся к двигателям внешнего сгорания, используются в тех процессах, в которых необходимо получение тепловой энергии с последующим преобразованием ее электрическую [3].

Как правило, применяют двигатели Стирлинга в установках мощностью до 100 кВт для выработки электроэнергии и тепла в местах их непосредственного потребления. Эффективная работа двигателей Стирлинга по сравнению с ДВС и газопаровыми турбомашинами обуславливается их тепловым балансом. Для двигателей Стирлинга баланс обычно равен 10 и 40 % соответственно. Высокий КПД двигателя, позволяет создавать малогабаритные и высокоэффективные когенерационные установки. КПД современных зарубежных стирплинг-генераторов с учетом получения дополнительного тепла может достигать до 95 % [4].

Применение когенерационной установки на основе двигателей Стирлинга позволяет на 40 % снизить расход топлива на производство электроэнергии и тепла по сравнению с централизованным энергообеспечением. Ввиду того, что себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии когенерационной установки ниже, чем тарифы централизованных энергосистем, использование установки позволяет значительно дополнять рынок теплоэнергоснабжения. Использование автономности работы когенерационной установки обеспечивает потребителей теплом и электричеством со стабильными температурными и электрическими показателями.

Обычно двигатели Стирлинга подразделяют на три различных вида: альфа-Стирлинг, бета-Стирлинг с ромбическим механизмом и регенератором и гамма-Стирлинг с регенератором и без регенератора (см. рис. 1).

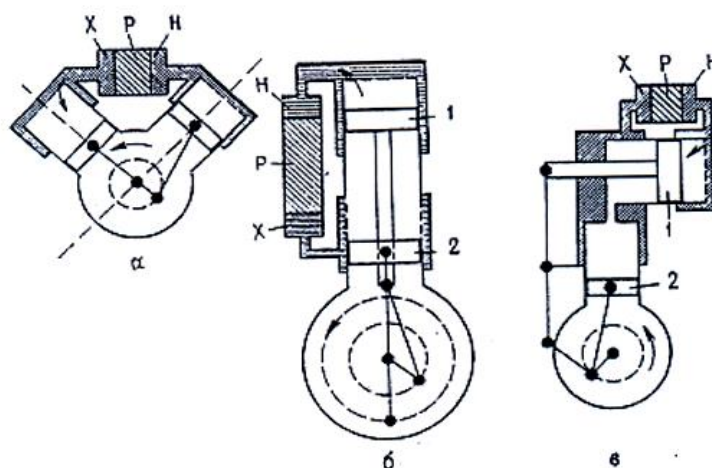


Рис. 1. Типы соединений цилиндров:

a – Альфа-Стирлинг с двумя поршнями; *б* – Бета-Стирлинг с рабочим и вытеснительным поршнями; *в* – Гамма-Стирлинг с рабочим и вытеснительным поршнями; 1 – Вытеснительный поршень; 2 – Рабочий поршень; Н – Нагреватель; Р – Регенератор; Х – Холодильник

Отметим основные преимущества двигателя Стирлинга в сравнении с двигателями внутреннего сгорания:

- возможность работы от очень небольшого перепада температур, например между слоями воды;
- работа от использования солнечной энергии;
- от ядерного нагревателя;
- от теплоты сгорания угля или дров и т.д.

Таким образом, внедрение современных когенерационных установок на базе двигателей Стирлинга позволит поднять энергетическую эффективность страны.

Литература

1. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга / пер. с англ. М.: Мир, 1986. 464 с.
2. Рудаков А. И., Мевлиянов М. Д. Использование биогаза для получения электрической энергии с помощью двигателя Стирлинга // В сб.: Технологии XXI века: проблемы и перспективы разв. Сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. 2016. С. 133–137.
3. Рудаков А.И. Использование двигателя Стирлинга в когенерационных процессах получения тепла и электричества // Матер. междунар. науч.-техн. конф., посв. памяти проф. А. К. Юлдашева. 5–6.04.2018 г. Изд-во КГАУ, Казань, 2018. С. 65–70.
4. Русский Stirling. Новые возможности старых систем / под ред. С. Иванова «The Russian Engineering» ООО «ИИЦ «Стирлинг-технологии», <http://stirling.ru> SOLO <http://www.stirling-engine.de>.
5. Рудаков А. И., Роженцова Н. В., Денисова А. Р. Современные технические средства повышения энергоэффективности водокольцевых машин // промышленная энергетика. 2014. № 5. С. 27–30.

УДК 502.3.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ТОКСИЧНОСТИ ПОЛИМЕРОВ EVA И TEDLAR® ПРИ УТИЛИЗАЦИИ КОМПОНЕНТОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

¹Семенова Маргарита Игоревна, ²Веженкова Ирина Владимировна,
³Степанова Мария Сергеевна, ⁴Кустов Тарас Владимирович,
⁵Ковалевская Алла Станиславовна
¹⁻⁴ СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург
¹smi-2409@yandex.ru, ²i.vezhenkova@gmail.com, ³mashastpn@gmail.com,
⁴tvkustov@etu.ru, ⁵lellikat@yandex.ru

В работе отражены исследования по определению токсичности полимерных компонентов EVA (этилвинилацетат) и Tedlar® (поливинилфторид), построены зависимости степени токсичности рассматриваемых соединений от времени.

Ключевые слова: солнечные панели, полимеры, токсичность, биотестирование, инфузории.

INSITUATION OF THE TOXICITY LEVEL OF EVA AND TEDLAR® POLYMERS DURING RECYCLING OF PARTS OF CRISTALLINE SOLAR PANELS

¹Semenova Margarita Igorevna, ²Vezenkova Irina Vladimirovna,
³Stepanova Maria Sergeevna, ⁴Kustov Taras Vladimirovich,
⁵Kovalevskaya Alla Stanislavovna
¹⁻⁴ ETU, Saint Petersburg
¹ smi-2409@yandex.ru, ² i.vezhenkova@gmail.com, ³ mashastpn@gmail.com,
⁴ tvkustov@etu.ru, ⁵ lellikat@yandex.ru

The paper presents the results of a study to determine the level of toxicity of the polymer parts of EVA (ethyl vinyl acetate) and Tedlar® (polyvinyl fluoride), graphs of the dependence of the obtained levels of toxicity on time are constructed

Key words: solar panels, polymers, toxicity, bioassay, ciliates.

В последние десятилетия мировая солнечная энергетика развивается высокими темпами, солнечные электростанции становятся частью энергетической инфраструктуры многих стран. Каждый год устанавливаются новые солнечные панели, глобальная мощность которых увеличивается экспоненциально. Но наряду с высокой экологичностью получаемой энергии необходимо думать о том, что произойдет с этими солнечными панелями после окончания их гарантийного срока эксплуатации, средняя оценка которого составляет 25–30 лет. По данным различных агентств (IEA PVPS и IRENA) к 2050 г. количество отходов солнечных панелей составит 78 млн т [11].

85 % всех солнечных панелей, производимых в настоящее время, относятся к кристаллическим солнечным панелям. Деградация этого типа панелей происходит, в среднем, на 1 % в год по разным причинам: воздействие ультрафиолетовых лучей и влаги, разрушение пленки этилвинилацетата и др. [12].

В состав кристаллических солнечных панелей, кроме основного фотоэлектрического блока и стекла, входят полимерные материалы EVA (этилвинилацетат) и Tedlar® (поливинилфторид), токсичность и химическая инертность которых до настоящего момента не изучена. Следовательно, захоронение солнечных панелей является нежелательным, так как рассматриваемые элементы воздействуют на окружающую среду, тем самым могут подвергать опасности здоровье населения. В результате в июле 2012 г. Европейский союз официально пересмотрел Директиву

об утилизации электрического и электронного оборудования (WEEE), добавив, что фотоэлектрические солнечные элементы теперь должны быть включены в систему электронного управления отходами и должны собираться и утилизироваться.

В качестве метода определения степени токсичности полимерных материалов EVA и Tedlar® был выбран биотестовый анализ, так как это один из основных методов выявления токсичности среды при помощи тест-объектов. В данном исследовании были выбраны *Paramecium caudatum*. Инфузории по своим биохимическим параметрам очень близки к высшим животным и человеку, что делает возможной экстраполяцию данных, полученных в биотестировании с использованием инфузорий, на человека [1, 6, 7, 10].

Метод определения токсичности проб основан на способности тест-объектов реагировать на присутствие в пробах веществ, представляющих опасность для их жизнедеятельности, и направленно перемещаться по градиенту концентраций (в направлении изменения концентраций) этих веществ (хемотаксическая реакция), избегая их вредного воздействия. Если исследуемая проба не содержит токсических веществ, в кювете будет наблюдаться концентрирование клеток инфузорий в верхней зоне. Наличие в пробе токсических веществ приводит к перераспределению инфузорий в кювете, а именно: чем выше токсичность пробы, тем меньшая доля инфузорий перемещается в верхнюю зону (исследуемую пробу). Биотестовая хемотаксическая методика представлена на рис. 1.

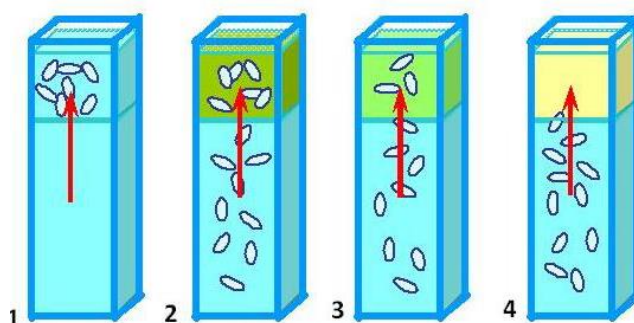


Рис. 1. Биотестовая хемотаксическая методика: 1 – безвредная проба; 2, 3 – проба средней токсичности; 4 – токсичная проба

Критерием токсического действия является значимое различие в числе клеток инфузорий, наблюдаемых в верхней зоне кюветы в пробе, не содержащей токсических веществ (контроль), по сравнению с этим показателем, наблюдаемым в исследуемой пробе (опыт).

В работе биотестовый анализ проводился в соответствии с [5], т.к. исследуемые соединения – это химические полимерные вещества сложного состава.

Для изучения степени токсичности полимеров EVA и Tedlar® был произведен механический демонтаж солнечной панели, в результате которого исследуемые компоненты были отделены от стекла и основного фотоэлектрического блока. Полученные навески (массой по 2 г каждая) исследуемых компонентов смешивались с дистиллированной водой (объем 50 мл), после велось перемешивание полученного раствора на протяжении нескольких часов на аппарате для встряхивания жидкости.

Измерения концентрации инфузорий в кювете проводились с помощью прибора «БИОТЕСТЕР 2М», разработанного на кафедре инженерной защиты окружающей среды СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Каждая из исследуемых проб анализировалась в 3-х кюветах, с каждой кюветы снималось по 10 показаний прибора.

Согласно [5] для предотвращения грубых ошибок во время анализа оперативно производилась оценка приемлемости контрольной пробы по следующему неравенству:

$$|I_{k_{\max}} - I_{k_{\min}}| \leq 0,2I_{\text{ср.к}}, \quad (1)$$

где $I_{k_{\max}}$ – максимальные показания прибора для контрольных проб, $I_{k_{\min}}$ – минимальные показания прибора для контрольных проб, $I_{\text{ср.к}}$ – средние показания прибора для контрольных проб [5].

Количественная оценка параметра тест – реакции (индекс токсичности пробы – Т) производилась по относительной разнице количества инфузорий в верхней зоне кюветы в контрольной и анализируемой пробе. В соответствии с [5] индекс рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{|I_{\text{ср.к}} - I_{\text{ср.пр}}|}{I_{\text{ср.к}}} \cdot K, \quad (2)$$

где $I_{\text{ср.к}}$ – средние показания прибора для контрольных проб, $I_{\text{ср.пр}}$ – средние показания прибора для анализируемых проб, K – коэффициент разбавления пробы» [5].

Индекс токсичности Т – это величина безразмерная и может принимать значения от 0 до 1 в соответствии со степенью токсичности анализируемой пробы.

Согласно [5] в зависимости от значения индекса пробы классифицируют по степени их токсичности на 3 группы:

- 1) допустимая степень токсичности ($0,00 < T \leq 0,40$);
- 2) умеренная степень токсичности ($0,40 < T \leq 0,70$);
- 3) высокая степень токсичности ($T > 0,70$)» [5].

Индексы токсичности представлены на рис. 2.

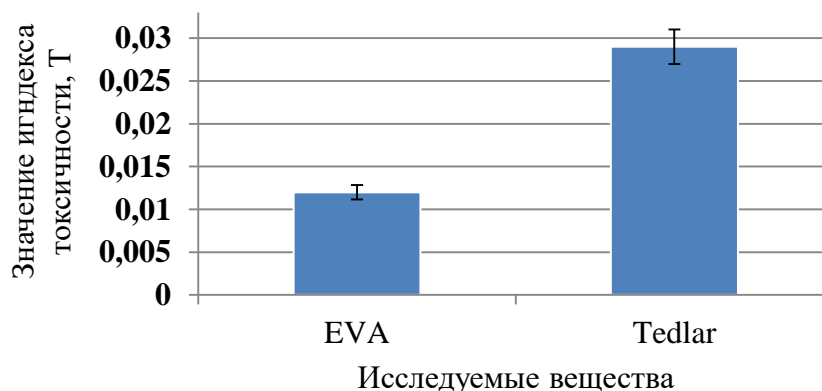


Рис. 2. Индексы токсичности

Конечные значения индексов токсичности исследуемых компонентов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Индексы токсичности исследуемых компонентов поликристаллических солнечных панелей

Определяемый показатель	Результаты анализа		Степень токсичности пробы, T
	Исследуемое вещество	Индекс токсичности (без учета кратности разбавления)	
Токсичность пробы на инфузории <i>Paramecium caudatum</i>	EVA	0,012±0,001	Допустимая, T = 0,012±0,001
	Tedlar®	0,029±0,002	Допустимая, T = 0,029±0,002

Для детального изучения токсичности с помощью *Paramecium caudatum* был проведен ряд экспериментов для выявления зависимости изменения степени токсичности от времени растворения компонентов. В качестве контрольных временных точек рассматривались следующие промежутки времени: 24 ч, 48 ч, 96 ч и 7 суток (168 ч) – как наиболее применяемые промежутки времени в методиках по определению токсичности среды с помощью инфузорий [2, 4, 8, 9]. Результаты исследования сведены в табл. 2.

Индексы токсичности исследуемых компонентов в зависимости
от времени растворения

Определяемый показатель	Результаты анализа		Индекс токсичности (без учета кратности разбавления)	Индекс токсичности (с учетом кратности разбавления), T
	Исследуемое вещество	Время, ч		
Токсичность пробы на инфузории <i>Paramecium caudatum</i>	EVA	24	0,021±0,001	T=0,021±0,001
		48	0,043±0,003	T=0,043±0,003
		96	0,054±0,004	T=0,054±0,004
		168	0,122±0,009	T=0,122±0,009
	Tedlar®	24	0,032±0,002	T=0,032±0,002
		48	0,041±0,003	T=0,041±0,003
		96	0,062±0,004	T=0,062±0,004
		168	0,144±0,010	T=0,144±0,010

Для наглядности с помощью программного пакета MSExcel был произведен регрессионный анализ, в результате которого построены линии тренда зависимости степени токсичности от времени для каждого компонента отдельно (рис. 3, 4).

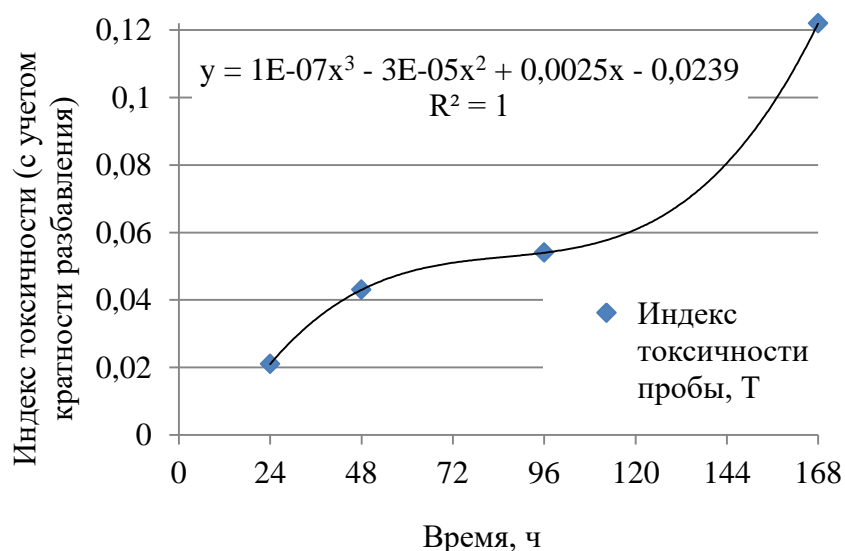


Рис. 3. Линия тренда зависимости индекса токсичности EVA от времени

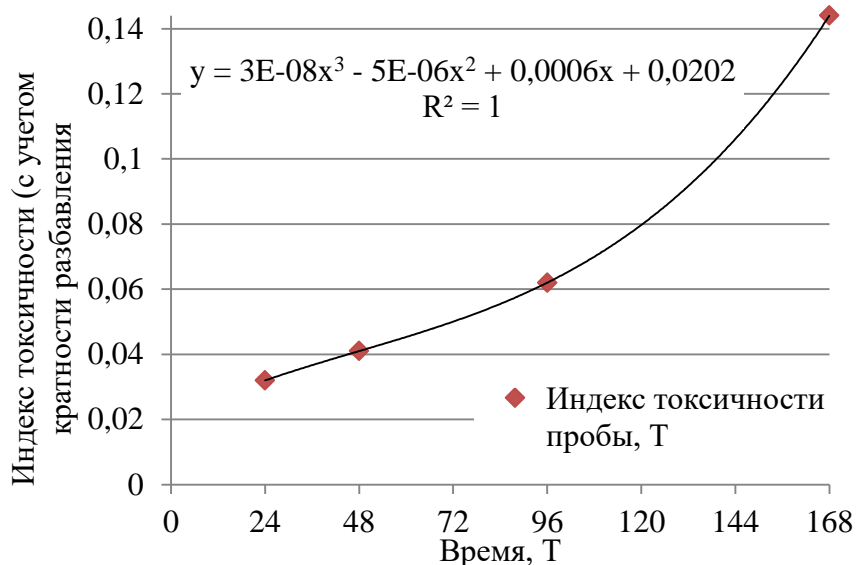


Рис. 4. Линия тренда зависимости индекса токсичности Tedlar® от времени

Как видно из графиков, индексы токсичности увеличиваются, если полимерные компоненты находятся значительное время в растворе, тем самым приближаясь к значению, которое характеризует токсичную среду.

В ходе работы было выявлено, что индексы токсичности компонентов EVA и Tedlar® увеличиваются при длительном нахождении материалов в водном растворе, приближаясь к значениям, характеризующим небезопасную степень токсичности для окружающей среды и здоровья человека. Построены графики, отражающую полученную зависимость. Данные исследования показывают необходимость разработки методики утилизации компонентов солнечных панелей, предотвращающие возможные негативные последствия для окружающей среды и здоровья человека. В дальнейшем планируется продолжение исследования для выявления более точной зависимости изменения степени токсичности от времени, а также определения временного промежутка, когда зависимость перейдет в горизонтальную линию (плато).

Литература

1. Бубнов А. Г., Буймова С. А., Гушин А. А., Извекова Т. В. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды: учеб.-метод. пособие / под ред. В. И. Гриневича. Иваново: ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2007. 112 с.

2. ГОСТ Р 57166-2016. Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg. Введ. 01.01.2018. М.: Стандартиформ, 2018.

3. Измайлова Н. Л., Ляшенко О. А., Антонов И. В. Биотестирование и биоидикация состояния водных объектов: учеб.-метод. пособие к лабораторным работам по прохождению учебной (ознакомительной) практики. СПб: СПбГТУРП, 2014. 52 с.

4. МР № ЦОС ПВ Р 005-95. Методические рекомендации по применению методов биотестирования для оценки качества воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения. М., 1995.

5. ПНД ФТ 16.3.16-10 (ред. 2015 г.) Методика определения токсичности отходов производства и потребления экспресс-методом с применением приора серии «Биотестер». М., 2015.

6. Гелашвили Д. Б., Безель В. С., Романова Е. Б., Безруков М. Е., Силкин А. А., Нижегородцев А. А. Принципы и методы экологической токсикологии / под ред. Гелашвили Д. Б. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородский ун-т, 2016. 705 с.

7. Тихановская Г. А., Машихина Ю. В. Биологический контроль окружающей среды: методические указания к выполнению лабораторных работ. Вологда: ВоГУ, 2016. 39 с.

8. ПНД Ф Т 14.1:2:3.13-06 Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg (ЛЭТАП, МГУ). М., 2006.

9. ПНД Ф Т 16.3.12-07 Методика определения токсичности золошлаковых отходов методом биотестирования на основе выживаемости парамеций и цериодафний (ф-т почвоведения МГУ и ОАО «Всероссийский теплотехнический институт»).

10. Чеснокова С. М., Чугай Н. В. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: учеб. пособ. Вып 2. Ч. 2 Методы биотестирования. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. 92 с.

11. Deng R., Chang N. L., Ouyang Z., Chong C. M. A techno-economic review of silicon photovoltaic module recycling // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. №109. С. 532–550.

12. Jordan D. C., Kurtz S. R. Photovoltaic Degradation Rates – An Analytical Review // National Renewable energy Laboratory Journal Article. – June, 2012. № NREL/ JA-5200-51664. С. 32–41.

УДК 621.31.03

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

¹Сичевский Алексей Сергеевич, ²Долгопол Татьяна Леонидовна
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет
им. Т. Ф. Горбачёва», г. Кемерово
¹sichevskiy1995@yandex.ru, ²tdolgopol@yandex.ru

Развитие возобновляемой энергетики как распределенной генерации по всему миру является одним из приоритетных направлений по модернизации энергетики. В настоящий момент в России распределенная генерация составляет порядка 10 % общей энергосистемы страны и имеет серьезный потенциал дальнейшего развития. При этом распределенная генерация может быть дополнением к централизованному электроснабжению, а также обеспечивать электроснабжение труднодоступных районов, удаленных от централизованных источников электроэнергии.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, возобновляемая энергетика, распределенная генерация, удаленные потребители электрической энергии, автономные гибридные энергоустановки, децентрализованное электроснабжение.

RENEWABLE ENERGY AS DISTRIBUTED GENERATION OF REMOTE SETTLEMENTS

¹Sichevsky Alexey Sergeevich, ²Dolgopol Tatyana Leonidovna
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
¹sichevskiy1995@yandex.ru, ²tdolgopol@yandex.ru

The development of renewable energy as a distributed generation around the world is one of the priority areas for the modernization of energy. Nowadays in Russia, distributed generation makes up about 10% of the country's total energy system, which has serious potential for further development. Moreover, distributed generation can be an addition to the centralized electric power supply, as well as provide power to hard-to-reach areas remote from centralized power sources.

Keywords: renewable energy sources, renewable energetics, distributed generation, remote consumers of electric energy, autonomous hybrid power plants, decentralized electricity supply.

За последние десятилетия по всему миру наблюдается положительная тенденция развития возобновляемой энергетики. Лидирующие позиции в данном направлении занимают США, страны Европы и Китай (рис. 1). Снижение выбросов вредных веществ в атмосферу для вышеуказанных стран регламентируется на законодательном уровне и является стратегически важным направлением технического совершенствования современной энергетической отрасли [1].

Тренды «зеленой энергетики», энергосбережения и интеграции различных источников энергии поддерживается как отдельными государствами, так и всем мировым сообществом. Также возникают технологии, позволяющие развить и укрепить эти тренды.

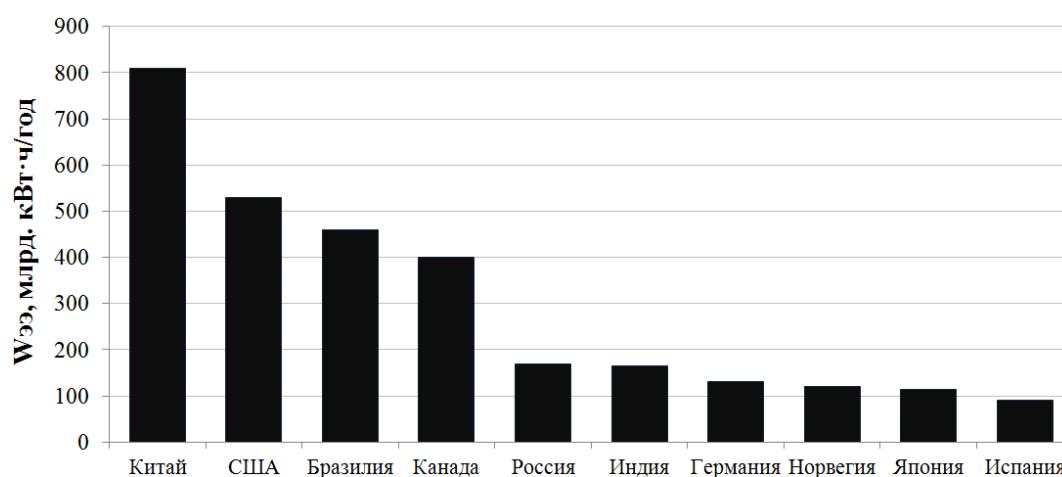


Рис. 1. Сравнительный рейтинг стран-производителей альтернативной энергии

Как видно из рис. 1, Россия занимает 5 место в мировой энергетике по объему производства альтернативной электроэнергии. Однако преобладающую часть вырабатываемой электрической энергии из возобновляемых энергоносителей составляет гидроэнергетика, а энергии солнца, ветра и биомассы в сумме составляют всего 2 % от доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Кроме этого, стоит учитывать и тот факт, что в настоящий момент в России не закреплено законодательно внедрение и использование возобновляемой энергетики, как одного из направлений развития электроэнергетики в целом. Активное внедрение и развитие использования возобновляемых источников энергии на территории России законодательно закреплены только в Проекте энергостратегии Российской Федерации на период до 2035 г. [2].

На данный момент возобновляемая энергетика находит все большее применение для распределенной генерации труднодоступных населенных пунктов по всему миру. Электростанции в малочисленных поселениях выполняются в трех конфигурациях, а именно: использование только

традиционных источников энергии, использование только ВИЭ, либо совокупность использования ВИЭ и традиционных источников энергии (гибридные электростанции). Последний тип электростанций активнее всего используется при реконструкции систем электроснабжения (СЭС) удаленных потребителей. Это связано с тем, что применение ВИЭ в чистом виде нерационально из-за климатических условий местности и несовершенства оборудования электростанций «зеленой энергетики».

В России, как и во всем мире, гибридные электростанции представляют собой тандем дизель-генераторных установок (ДГУ) и установок на основе ВИЭ: фотоэлектрические станции (ФЭС), ветряные электростанции (ВЭС), микро-ГЭС (МГЭС) или биогазовой установки. Данный вид источника питания получил название «автономная гибридная энергоустановка» (АГЭУ).

Активное увеличение объемов использования ВИЭ для распределенной генерации удаленных потребителей во всем мире трактуется двумя факторами: увеличением стоимости дизельного топлива (ДТ) (рис. 2) и проводимой политикой сдерживания количества выбросов вредных веществ в атмосферу (рис. 3).

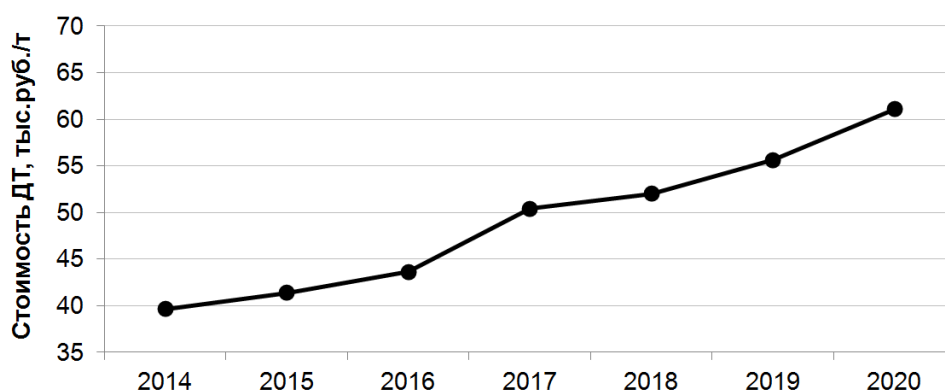


Рис. 2. Тенденция изменения стоимости ДТ

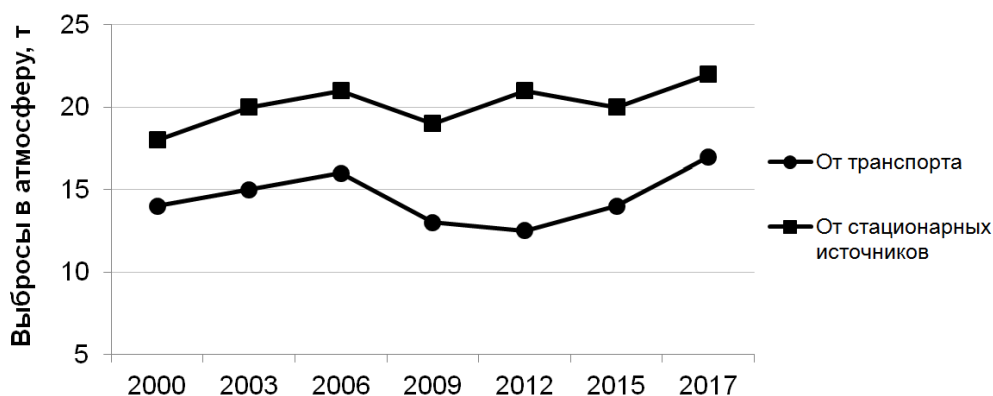


Рис. 3. Динамика выбросов вредных веществ в атмосферу

Однако не все возобновляемые источники энергии могут быть применены для электроснабжения удаленных потребителей с небольшой электрической нагрузкой.

При существующих технологиях в области возобновляемой энергетики во всем мире нерентабельно устанавливать биогазовые установки мощностью меньше 0,5 МВт. Более того, процесс получения электроэнергии из сырья биологического происхождения весьма сложный и трудозатратный технологический процесс, который требует непрерывный контроль квалифицированным персоналом.

Применение геотермальной энергии малой мощности также не целесообразно на данный момент, ввиду отсутствия испытанного оборудования для малых геотермальных станций.

Поскольку большинство поселений располагаются возле источников малых рек, где уклон реки небольшой, применение микро-ГЭС тоже не может быть внедрено в СЭС удаленных потребителей. Более того, МГЭС способствуют ухудшению экологической обстановки в местах их монтажа.

Самыми подходящими возобновляемыми энергоносителями для всего мира являются энергии солнца и ветра. АГЭУ с применением ФЭС весьма подходит для горной местности, а также для малых широт Земли. Внедрение АГЭУ с ВЭС наиболее актуально для зон Арктики и прибрежных территорий материков. В среднем, срок окупаемости внедрения АГЭУ в СЭС удаленных потребителей составляет от 7 до 10 лет, что является отличным показателем эффективности данных решений, которыми заинтересованы энергосервисные компании (ЭСКО).

Литература

1. Возобновляемые источники в мире. Использование и перспективы возобновляемой энергетики [Электронный ресурс]. URL: <http://digitalsubstation.com/blog/2019/02/02/vie-nastupayut-plany-na-nbsp-2019-i-nbsp-ne-nbsp-tolko/> (дата обращения: 31.01.2020).

2. Проект энергостратегии Российской Федерации на период до 2035 года (редакция от 21.10.2019) [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1920> (дата обращения: 31.01.2020).

УДК 662.611

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ РАЙОНОВ

¹Таймаров Михаил Александрович, ²Тимербаев Наиль Фарирович,
³Чикляев Евгений Геннадьевич
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
¹taimarovma@yandex.ru, ²сpekgeu@gmail.com, ³evgeniy16116@list.ru

Потребность в углеводородном топливе в настоящее время непрерывно возрастает в связи с вводом новым технологических мощностей в промышленности. В этой связи альтернативой является использование возобновляемых источников энергии, к числу которых принадлежит ветроэнергетика. Для производственного использования предпочтительным является использование, проектирование и создание ветрогенераторов с выработкой количества электроэнергии, достаточного для обеспечения малых и средних производственных мощностей.

Ключевые слова: ветроэнергетика, электрогенератор, электроснабжение, скорость ветра, мощность, ветроколесо, электродвигатель, ветрогенератор.

APPLICATION OF WIND POWER FOR ELECTRICITY SUPPLIES OF REMOTE AREAS

¹Taimarov Mikhail Alexandrovich, ²Timerbaev Nail Farilovich,
³Chiklyayev Evgeny Gennadevich
KSPEU, Kazan
¹taimarovma@yandex.ru, ²сpekgeu@gmail.com, ³evgeniy16116@list.ru

The demand for hydrocarbon fuels is currently continuously increasing due to the introduction of new technological capacities in the industry. In this regard, the alternative is the use of renewable energy sources, which include wind energy. For production use, it is preferable to use, design and create wind generators with the generation of an amount of electricity sufficient to provide small and medium production capacities.

Keywords: wind power, electric generator, power supply, wind speed, power, wind wheel, electric motor, wind generator.

Анализ проблемы

Ветрогенератор – это устройство, преобразующее кинетическую энергию ветра в механическую энергию вращения вала с последующим ее применением в качестве привода электрогенератора. Среди трех групп ветрогенераторов: промышленных, коммерческих и бытовых [1–7]

наиболее представительными и системообразующими являются промышленные, которые вводятся в эксплуатацию государством или крупными энергетическими компаниями.

Их электрическая мощность может достигать до 50 МВт и они объединяются в сети, в результате которых получаются ветровая электростанция. Необходимым условием их возведения является высокий средне годичный уровень силы ветра. Конструкция мощных ветрогенераторов одинакова и за основу взят расположенный в гондоле горизонтальный ротор с тремя лопастями, которые создают значительную площадь сопротивления потоку ветра. Ротор передает вращательное движение на электрогенератор, для выработки электроэнергии. Вся конструкция, включающая лопасти, ротор, гондолу, электрогенератор и электромеханическую часть поворота гондолы, располагается с помощью башни с фундаментом, углубленным в грунт, на значительной высоте, не менее 70 м, для улавливания мощных воздушных потоков. Из этого анализа конструкции следует, что возведение таких энергосиловых объектов в удаленных и труднодоступных районах Крайнего Севера России и Сибири является финансово затратным и сложно реализуемым мероприятием. Потому приемлемым решением является возведение ветрогенераторов несетевого назначения и предназначенного для обеспечения нужд строительства, малотоннажной переработки полезных ископаемых, лесопереработки и лесопильного производства.

Объект исследования и используемая методика

Для ветрогенераторов небольшой мощности применительно к потребностям строительства, объектов сельскохозяйственного, геологоразведывательного, горнодобывающего и полевого назначения наиболее важным является выбор мощности электрогенератора в соответствии с преобладающей силой ветра и нагрузкой, которая обеспечивает безотказность в эксплуатации и полезное использование мощности в соответствии с производственными потребностями. В этой связи объектом исследования является выявление закономерностей взаимосвязи скорости ветра, полезной площади и диаметра лопастей, числа оборотов вала электрогенератора и его нагрузки со стороны потребителей электроэнергии. Число оборотов вала электрогенератора является одним из важных технических режимных параметров, так как при понижении числа оборотов снижается генерация электрической энергии, несмотря на то, что площадь лопастей при большом их диаметре воспринимает значительное количество ветровой нагрузки при заданной

скорости ветра для конкретного региона России. По принципу действия используемые современные ветроэлектростанции являются преимущественно асинхронными.

Формула для расчета мощности P на выходных клеммах электрогенератора ветряной установки записывается как

$$P = 0,5 \cdot r \cdot F \cdot w^3 \cdot K_u \cdot K_z \cdot K_m, \text{ Вт} \quad (1)$$

где r – плотность воздуха, равная $1,23 \text{ кг/м}^3$; F – площадь ометания ветроколеса, м^2 ; w – скорость ветра, м/с ; K_u – коэффициент использования энергии ветра, равный $0,35 - 0,45$; K_z – коэффициент полезного действия электрогенератора, равный $0,9$; K_m – коэффициент полезного действия мультипликатора, равный $0,8$.

Ветровая нагрузка по мощности выражается зависимостью

$$P_g = 0,5 \cdot r \cdot F \cdot w^3, \text{ Вт} \quad (2)$$

Отсюда, площадь F ометания ветроколеса при известных значениях мощности на клеммах электрогенератора

$$F = \frac{P}{0,5 \cdot r \cdot w^3}, \text{ м}^2 \quad (3)$$

По известной площади F можно найти радиус ветроколеса

$$r_g = \left(\frac{F}{\rho}\right)^{0,5}, \text{ м} \quad (4)$$

Определение количества оборотов в минуту n_B , развиваемого ветроколесом, производится по формуле

$$n_g = \frac{60 \cdot w \cdot z}{2 \cdot p \cdot r}, \text{ об/мин} \quad (5)$$

где z – коэффициент быстроходности ветроколеса.

На рис. 1 приведены значения коэффициента использования энергии ветра K_u в зависимости от коэффициента быстроходности z различных типов ветроколес.

Как видно из рис. 1, самый высокий коэффициент использования энергии ветра $K_{и}$ [7] имеют малоллопастные колеса, которые характеризуются большими значениями коэффициента быстроходности составляющими $z = 4 \dots 7$.

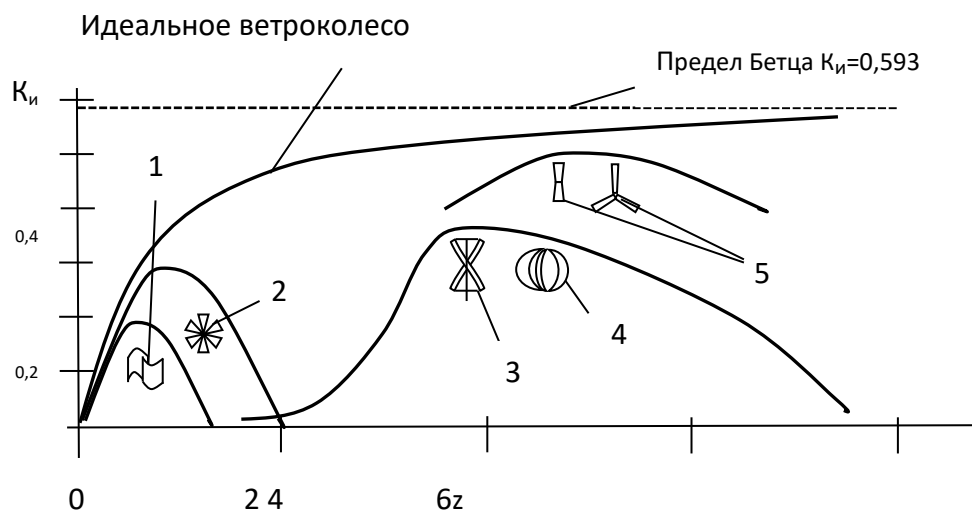


Рис. 1. Коэффициент использования энергии ветра $K_{и}$ в зависимости от быстроходности z при различных типах ветроколес:

1 – ветроколесо Сигурта Савониуса $K_{и} = 0,2$;

2 – тихоходное многолопастное ветроколесо $K_{и} = 0,3$; 3 – геликоидный ротор $K_{и} = 0,4$;

4 – ротор Дарье $K_{и} = 0,3$; 5 – быстроходные малоллопастные ветроколеса $K_{и} = 0,45$

На рис. 1 также показано предельное значение $K_{и} = 0,593$, как предел Бетца для идеального ветроколеса, к показателям конструкции которого должны стремиться разработчики.

При оптимальных параметрах сочетания числа оборотов ветроколеса $n_{в}$ и числа оборотов электрогенератора $n_{г}$ мощность электрической нагрузки потребителей электроэнергии $P_{э.п}$ и мощность $P_{в}$ равны между собой, то есть $P_{э.п} = P_{в}$.

При $P_{э.п} > P_{в}$ происходит торможение ротора ветроколеса, а обороты $n_{в}$ становятся меньше $n_{г}$ и вырабатываемая электрическая мощность $P_{э}$ снижается. При этом суммарный КПД ветряной установки понижается. Так как скорость ветра можно выразить в виде зависимости $w = p D_{в} n_{в}$, где $D_{в}$ диаметр ветроколеса (м), оптимальное число оборотов $n_{в.о}$ можно получить из выражения (1).

Отсюда при $P_{э.п} = P_B$ можно определить значение скорости ветра w_0 , которое соответствует оптимальной нагрузке потребителей для заданной конструкции ветрогенератора.

При использовании асинхронных электродвигателей в качестве электрогенераторов для ветряных установок корректируется выбор мощности конденсаторов.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2 приведены результаты расчетов электрической мощности $P_э$ ветрогенераторов с трехлопастными ветроколесами радиусов $r_B = 3$ м, $r_B = 4$ м и $r_B = 4,5$ м при различных скоростях ветра w .

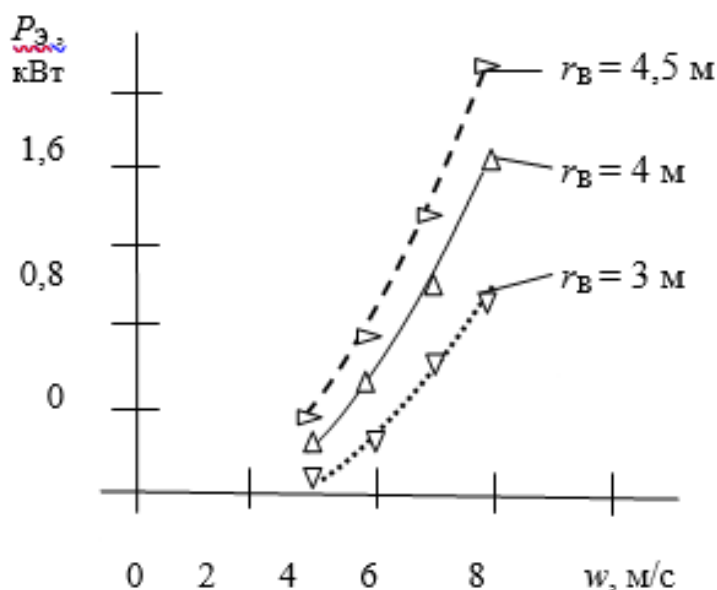


Рис. 2. Результаты расчетов электрической мощности $P_э$ ветрогенераторов с трехлопастными ветроколесами радиусов $r_B = 3$ м, $r_B = 4$ м и $r_B = 4,5$ м при различных скоростях ветра w .

Из рис. 2 видно, что для скоростей ветра, имеющих место в России и приемлемых величинах радиуса r_B ветроколеса получаемые значения электрической мощности на клеммах электрогенератора невысоки. Для строительных нужд приемлемым является радиус ветроколеса $r_B = 4,5$ м при скорости ветра $w = 6$ м/с. Однако при этом необходимо иметь несколько ветрогенераторов, обеспечивающих в сумме для потребителей повышенные значения требуемой электрической мощности для строительных работ. На рис. 3 приведена зависимость числа оборотов ветроколеса n_B от скорости ветра w при различных радиусах ветроколеса r_B .

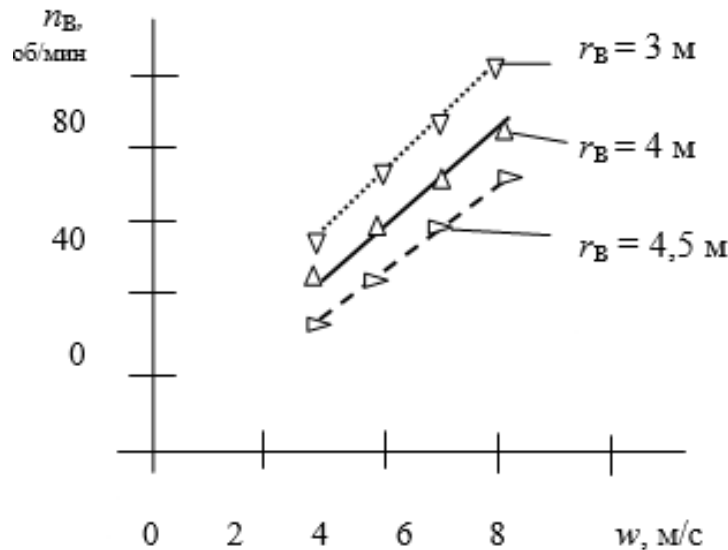


Рис. 3. Зависимость числа оборотов трехлопастного ветроколеса $n_{B,K}$ от скорости ветра w при различных радиусах ветроколеса r_B

Как видно из рис. 3, с уменьшением радиуса ветроколеса r_B число его оборотов n_B при постоянной скорости ветра w сильно возрастает. Однако электрическая мощность P_3 с уменьшением радиуса ветроколеса снижается (см. рис. 2). Поэтому при строительстве ветрогенераторов необходимо изначально учитывать преобладающее значение скорости ветра в течение года и в зависимости от потребности производства в электрической мощности выбирать радиус ветроколеса.

В таблице приведены сравнительные показатели применимости различных марок ветрогенераторов для использования в удаленных районах.

Сравнительные показатели применимости различных марок ветрогенераторов, для использования в удаленных районах

Марка ветрогенератора	Мощность при ветре 6 м/с, кВт	Радиус ветроколеса, м	Тип электрогенератора	Число лопастей	Быстроходность z	Обороты ветроколеса, об./мин	Коэф. образования ветра
1	2	3	4	5	6	7	8
ВИСХОМ Д3,5	0,9	1,8	3-х фазный асинхронный	2	7	306	0,38
ВИМЭ ТВ3	0,7	1,5	3-х фазный асинхронный	18	1,2	67	0,29
ТВ5	1,8	2,5	3-х фазный асинхронный	24	1,2	40	0,29
ТВ8	4,8	4	3-х фазный асинхронный	18	1,2	25	0,29
УНДИМ Д10	7,4	5	3-х фазный асинхронный	2	5	78	0,49

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7	8
ВИМЭ Д12	10,7	6	3-х фазный асинхронный	3	4,5	60	0,47
CONDOR AIR WES 380/50-10	8	3,5	3-х фазный на постоянных магнитах	3	4,3	35	0,42
EnergyWind	0,8	2	3-х фазный асинхронный	3	4,1	40	0,4
EnergyWind	3	3,5	3-х фазный асинхронный	3	4,2	48	0,4
SAV10	8	R2,5, H4	3-х фазный на постоянных магнитах	5	5	60	0,42
BEKAR	0.5	1	3-х фазный на постоянных магнитах	3	4,2	56	0,42
ВЭУ-3	3	R1,7, H3,8	3-х фазный на постоянных магнитах	6	5	60	0,45
Роторный синхронный «Орион»	1	4	Роторный синхронный двигатель	6	4	174	0,35
Energy Stock	0,6	1,8	Синхронный Электрогенератор	3	4,5	60	0,38

Как видно из таблицы, ветрогенераторы с тремя лопастями и горизонтальным ротором при числе оборотов ветроколеса около 60 об./мин и радиусом 2,5–3,5 м с трехфазным асинхронным электрогенератором являются предпочтительными перед другими конструкциями.

Постоянные магниты с течением времени ослабевают, синхронные электрогенераторы неустойчивы к короткому замыканию и к перегрузкам в сравнении с асинхронными электрогенераторами. Применение роторного синхронного двигателя в качестве электрогенератора для ветрогенератора «Орион» не позволяет получать высокие мощности при значительных радиусах ветроколеса около 4 м.

Многолопастные ветроколеса с числом лопастей 18 и 24 имеют невысокую быстроходность порядка 1,2. Это сказывается на коэффициенте использования силы ветра и не позволяет достигнуть высокой электрической мощности.

Литература

1. Кожухов Ю. В., Лебедев А. А., Данилишин А. М., Давлетгареев Э. В. Аудит характеристик ветрогенераторов с применением CFD-моделирования на суперкомпьютере CAD/CAM/CAE. /Observer журнал. 2016, № 7 (107), с. 81-87.
2. Номенклатура и характеристики ветрогенераторов компании «EDS Group». Электронный ресурс. Доступ: energy-ds@mail.ru.
3. Таймаров М. А., Лавирко Ю. В. Особенности применения ветряных электрогенераторов с вертикальным ветроколесом. В сборнике статей Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс как фактор развития современного общества» (г. Оренбург, 25 января 2018 г.). Уфа, изд-во Аэтерна, 2018, с.122-124.
4. Таймаров М. А., Осипов А. Л., Тимербаев Н. Ф. Параметры ветряных электрогенераторов с вертикальным и горизонтальным ротором. В сборнике статей Международной научно-практической конференции «Теоретические и практические аспекты развития научной мысли в современном мире» (г. Уфа, 5 декабря 2018 г.). Уфа, изд-во Аэтерна, 2018, с. 61-63.
5. Таймаров М. А., Афанасьев И. А. Горизонтальный ветрогенератор на постоянных магнитах. Вестн. Казан.технол. ун-та. 2014, т. 17, № 11, с. 183-184.
6. Таймаров М.А. Ветроэнергетическая установка. Патент на полезную модель № 112289 от 10 января 2012.
7. Таймаров М. А. Ветроэлектрогенератор. Патент на изобретение № 2518152 от 10 июня 2014 г.
8. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. М., ГНУ ВИЭСХ, 2006. 280 с.

УДК 621.311

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ МИКРОГРИД С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ И ВОДОРОДНЫМИ ТОПЛИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

¹Ткаченко Сергей Николаевич, ²Коваленко Анна Валериевна,
³Корытченкова Елена Евгеньевна

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
¹tsn1981@mail.ru, ²anna.kovalenkoetf@gmail.com, ³e.e.korytchenkova@gmail.com

В статье рассмотрены перспективы и преимущества использования водородных топливных элементов в качестве накопителей энергии в системах концепции

микросетью с возобновляемыми источниками энергии. Установлено, что водород является наиболее эффективным энергоносителем и позволяет организовать долгосрочное хранение энергии.

Ключевые слова: декарбонизация, возобновляемые источники энергии, микросеть, водородные топливные элементы, накопители энергии, электролиз, ископаемое топливо.

TRENDS IN DEVELOPMENT OF MICROGRID WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES AND HYDROGEN FUEL CELLS

¹Tkachenko Sergii Nikolayevich, ²Kovalenko Anna Valerievna,
³Korytchenkova Elena Evgeniyevna

Donetsk National Technical University, Donetsk

¹tsn1981@mail.ru, ²anna.kovalenkoetf@gmail.com, ³e.e.korytchenkova@gmail.com

The article discusses the prospects and advantages of using hydrogen fuel cells as energy storage systems in the systems of the microgrid conception with renewable energy sources. Hydrogen is the most efficient energy carrier and allows organizing long-term energy storage.

Keywords: decarbonization, renewable energy sources, microgrid, hydrogen fuel cells, energy storage, electrolysis, fossil fuels.

В связи с ухудшением экологической ситуации и переориентированием мировой энергетики на путь низкоуглеродного развития в настоящее время в мире огромное внимание уделяется внедрению возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Электрификация на основе ВИЭ является на данный момент одной из приоритетных стратегий многих государств на пути к декарбонизации.

Понятие ВИЭ подразумевает солнечную, ветровую, геотермальную, водородную энергию, энергию биомассы, приливов и др. При этом значительная доля ВИЭ приходится на гидроэнергетику, применение которой возможно далеко не везде, поэтому комбинирование различных видов альтернативных источников энергии является целесообразным. В России, например, имеется огромный потенциал для развития всех типов ВИЭ, и в каждом из её регионов найдет применение как минимум один, учитывая, что экологические показатели многих крупных городов отклонены от нормы в негативную сторону из-за деятельности предприятий нефтегазовой промышленности. Так, развитие водородного комплекса помогло бы в значительной мере устранить не только

экологический аспект этой проблемы, но и социальный, привлекая для своих нужд человеческие ресурсы. Неоспоримыми преимуществами водорода являются его экологическая безопасность и высокая энергетическая ценность. В связи с этим в данной работе особое внимание уделяется применению водородных технологий в энергосистеме.

Учитывая, что точечным применением ВИЭ не обойтись, возникает необходимость массового внедрения ВИЭ в уже имеющуюся традиционную энергосистему, что влечет за собой ряд сопутствующих трудностей. Чтобы облегчить управление энергосистемой с большой долей ВИЭ и сделать ее более надежной, существует концепция «интеллектуальной» энергосистемы, или «Smart grid», базирующаяся на принципах децентрализации, цифровых технологиях управления, использовании систем накопления энергии и др.

Существует множество труднодоступных территорий, где нет централизованного электроснабжения. Согласно данным исследований Крыловского государственного научного центра [2], в отдельных районах РФ, не охваченных единой энергосистемой, проживает более 20 % населения страны. Таким образом, для развития малой рассредоточенной энергетики на сегодняшний день целесообразно использовать энергетические решения, которые часто называют микро- или мини-сетями (англ. microgrids, minigrids).

Особенностью микрогрид является возможность работать как в автономном (островном) режиме, так и параллельно с энергосистемой. С целью компенсации нестабильной генерации электроэнергии от ВИЭ, уменьшения потерь при передаче мощности и поддержания необходимого уровня частоты целесообразно использовать накопители энергии. Условно можно выделить несколько видов микрогрид по типам используемых систем аккумулирования энергии (аккумуляторные батареи, суперконденсаторы, супермаховики и др.).

Вопросам анализа микрогрид-систем с ВИЭ посвящены работы [4, 6], однако в них в недостаточной степени рассмотрены системы с водородными топливными элементами (ВТЭ) в качестве накопителей энергии. Стоит отметить, что накопителями энергии служат не сами топливные элементы, а водород, производимый при наличии избыточной электроэнергии от ВИЭ. Интеллектуальная система управления или виртуальная электрическая станция микрогрид в режимах избытка электроэнергии запускает систему производства водорода, пополняя его запасы. Такой подход позволяет организовать долгосрочное хранение энергии, в то время как аккумуляторные батареи занимают нишу краткосрочных накопителей.

Принцип работы топливного элемента обеспечивает более высокий КПД (до 90 %) за счет всего лишь одного этапа преобразования энергии, тогда как на теплоэлектростанции цикл состоит из трёх ступеней преобразования (рис. 1), и каждая связана с потерями и снижением эффективности. Преимуществом также является большой срок эксплуатации топливных элементов за счёт не расходуемых в процессе реакции электродов и возможности быстрого восстановления энергоресурса, для этого необходимо просто заменить ёмкость с водородом.

По рабочей температуре различают низко-, средне- и высокотемпературные топливные элементы. Тип используемого электролита определяет аббревиатуру названия топливного элемента [6]. Принцип работы всех видов ВТЭ аналогичен и схематично представлен на рис. 2. Для нужд децентрализованной энергетики мегаваттного класса применяются высокотемпературные твердооксидные топливные элементы (SOFC) с высоким коэффициентом стойкости к примесям, в качестве топлива могут использоваться водородосодержащие газовые смеси. Риформинг происходит в самом ВТЭ, для которого используется выделяющееся в топливном элементе тепло.

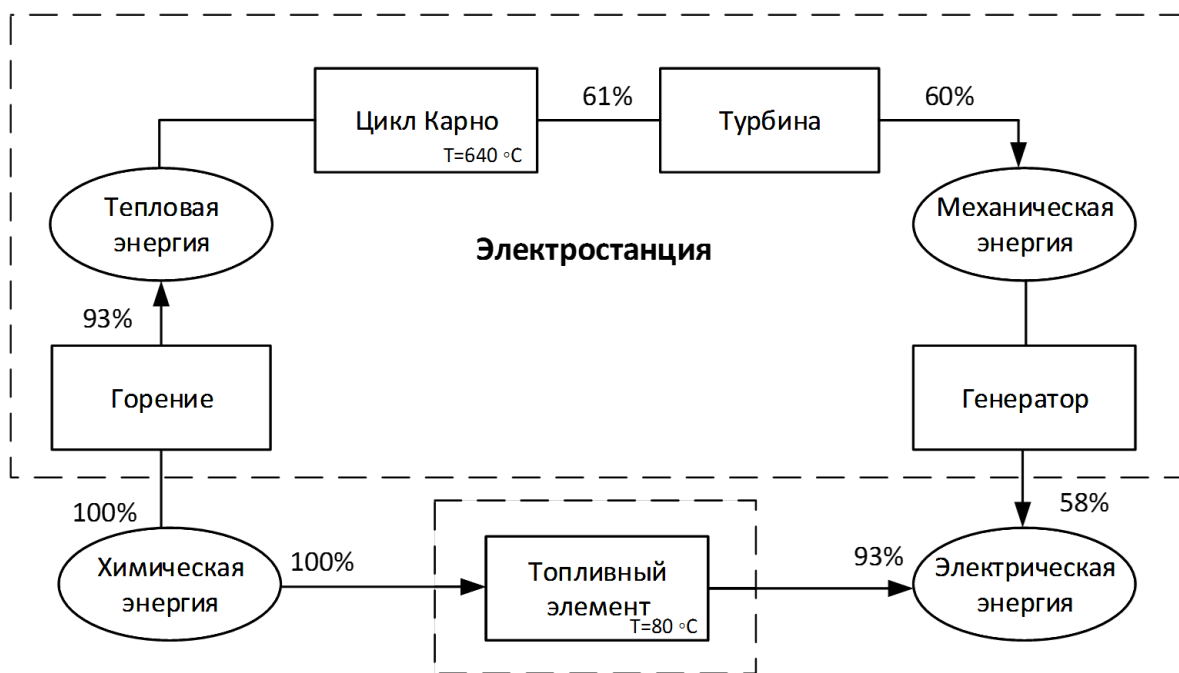


Рис. 1. Сравнение цепи преобразования энергии топливного элемента и электростанции

Малая энергетика постепенно становится одной из наиболее оправданных сфер применения топливных элементов. Концепция микрогрид с ВИЭ и ВТЭ позволяет в полной мере осуществить цикл выработки, использования и хранения электроэнергии. Такая технология применяется для автономного энергоснабжения, например частного дома (технология Smart Home) и других зданий [1]. Как показывает мировой опыт, наиболее перспективным для автономных систем является накопление энергии путём преобразования её в водород.

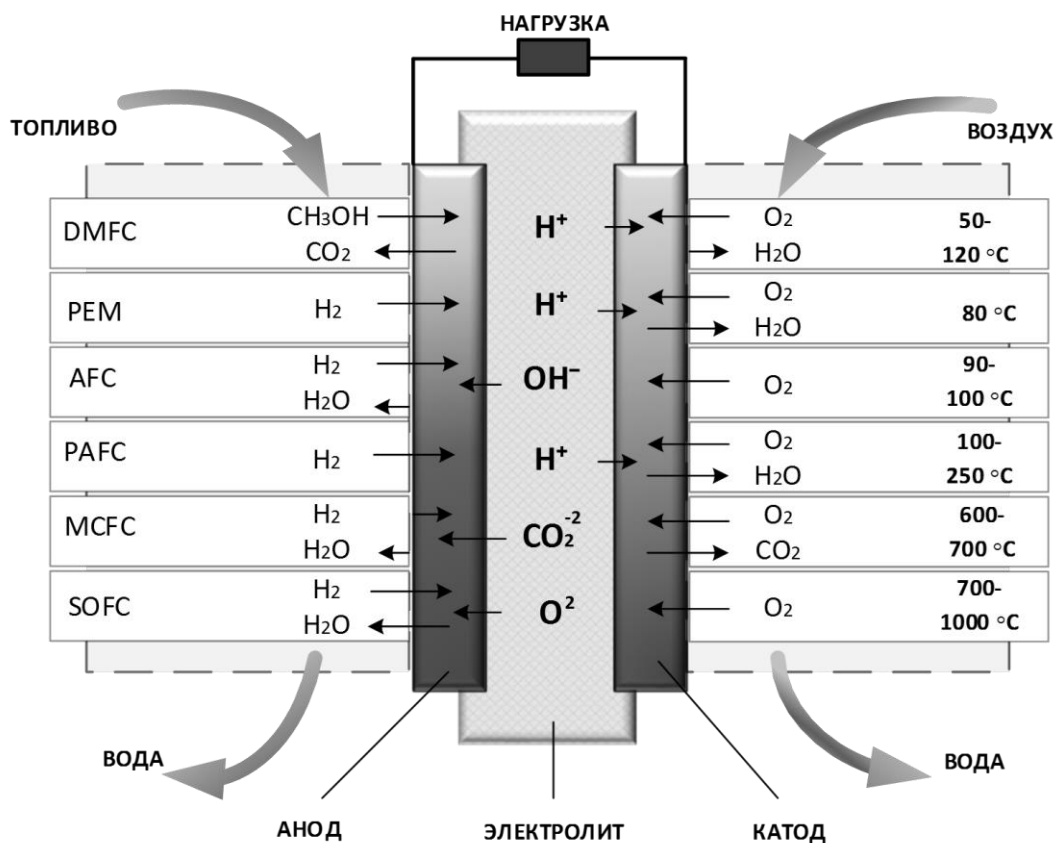


Рис. 2. Реакции в различных типах топливных элементов

Существует несколько способов получения водорода. В промышленных масштабах его получают путём паровой конверсии метана, что составляет 62 % производства водорода в качестве целевого продукта для химической промышленности и нефтепереработки, остальные 38 % водорода получают как побочный продукт других технологических процессов. В ближайшее время природный газ продолжит занимать лидирующие позиции в производстве водорода, однако на его себестоимость влияют высокие расходы на топливо, составляя от 45 до 75 % производственных затрат. Еще одна проблема данной технологии заключается в негативном воздействии на окружающую среду. Нефть также слишком ценное и высокоэффективное топливо, чтобы

производить из неё водород. В долгосрочной перспективе стратегия производства водорода должна ориентироваться на другие источники.

Электролиз является одной из перспективных технологий (в частности, из-за своей экологической чистоты) при условии, что производство необходимой для электролиза энергии также экологически чистое, иначе весь смысл использования топливных элементов сводится к нулю. Также его достаточно легко организовать в условиях маломасштабного производства, приблизив к потребителю. На данный момент получение водорода путём электролиза составляет всего 4-5 % от мирового производства водорода. В разрезе микрогрид системы метод электролиза наиболее рентабелен, так как мы имеем сравнительно дешёвую и чистую электроэнергию от возобновляемых источников, а также избегаем затрат на транспортировку водорода. Стоимость водорода, полученного при использовании электроэнергии по средней цене и при использовании «дешёвой» электроэнергии, отличается почти в 2–3 раза. Учитывая стремление к переходу на возобновляемую энергетику и низкоуглеродному развитию, электролиз можно рассматривать в перспективе как один из основных способов децентрализованного получения водорода.

Реальный КПД электролиза воды значительно ниже 100 %, в частности из-за потерь на трансформацию переменного тока в постоянный, потребление электроэнергии самой установкой. На получение 1 м³ водорода в лучших электролизерах в реальных производственных условиях тратится примерно 5–6 кВт·ч электроэнергии. Разработкой высокотемпературных твердооксидных электролизеров занимаются несколько компаний и исследовательских центров: Siemens-Westinghouse (США-Германия), Институт высокотемпературной электрохимии уральского отделения РАН (г. Екатеринбург), ФГУ РИЦ «Курчатовский институт», Национальный исследовательский университет «МЭИ». Напряжение разложения воды в них при рабочей температуре 800–1000 °С составляет меньше 1 В, и процесс электролиза с достаточной эффективностью может протекать уже при 1,2–1,3 В. Для поддержания рабочей температуры необходимо подводить в рабочую зону электролизера и к испарителю энергию в виде теплоты, в связи с этим целесообразно использовать концентрированную солнечную энергию или другие источники высокопотенциальной тепловой энергии. Этот тип электролизеров не требует благородных металлов для катализаторов, не привередлив к чистоте воды. Однако из-за конструктивных проблем для высоких рабочих температур разработка таких электролизеров продвигается не так быстро, как других типов. На данный момент реализованы опытно-демонстрационные модели с производительностью

до 200 л/ч. Развитие твердооксидных ВТЭ может значительно ускорить этот процесс [5].

На данный момент производство водорода с помощью возобновляемой энергии остается самой дорогой технологией. Согласно анализу Международного Энергетического Агентства, к 2030 г. стоимость такого производства снизится на 30 % в результате уменьшения стоимости оборудования нетрадиционной энергетики и увеличения производства водорода. Этому поспособствует также ужесточение соответствий экологическим нормам и наращивание мощностей, а именно массовое производство топливных элементов, электролизеров и другого оборудования водородной инфраструктуры.

Таким образом, учитывая неизбежность масштабного перехода на возобновляемые источники энергии, применение водорода как энергоносителя, так и накопителя энергии является оптимальным решением, который постепенно вытеснит ископаемые виды топлива. Установлено, что в рамках интеллектуальной электроэнергетической системы концепции микрогрид в режимах избытка электроэнергии целесообразно запускать систему производства водорода, что позволяет организовать долгосрочное хранилище энергии, в то время как аккумуляторные батареи занимают нишу краткосрочных накопителей. Применение ВТЭ также обеспечит устойчивую работу и повысит надежность микрогрид-систем с большой долей ВЭУ.

Литература

1. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Использование топливных элементов для энергоснабжения зданий // АВОК. 2004. Вып. 3. 10 с.
2. Ландграф И. К. Введение в водородную энергетику и топливные элементы. Водородная энергетика как приоритетное научно-техническое направление развития энергетики // Филиал «ЦНИИ СЭТ» ФГУП «Крыловский государственный научный центр». 54 с.
3. Полякова Т. В. Состояние и перспективы водородной энергетики в России и мире // Центр глобальных проблем ИМИ. 2015. 37 с.
4. Стычинский З. А. Возобновляемые источники энергии: теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика. Magdeburg: Издательство Магдебургского университета имени Отто-фон-Герике. 2010 209 с.
5. Труды III Международного симпозиума по водородной энергетике. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 300 с.
6. Buchholz В. М., Styczynski Z. Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2014. P. 396.

7. Zhiwen M. Fuel Cell Backup Power System for Grid Service and Micro-Grid in Telecommunication Applications // The National Renewable Energy Laboratory (NREL). 2018. P. 1–9.

8. Ruf Y., Lange S. Fuel Cells and Hydrogen for Green Energy in European Cities and Regions. A Study for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking // Munich: Roland Berger GmbH, 2018. P. 78.

УДК 621.313

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

¹Тухбатуллина Диана Ильшатовна, ²Рашитова Рузанна Айдаровна,

³Рылов Юрий Анатольевич, ⁴Бабакулыев Фархад Юнусович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹dtukhbatullina@inbox.ru, ²r.rashitova97@mail.ru, ³auhadeevkgma@rambler.ru,

⁴farhat_zemla@mail.ru

Исследуются способы определения накопителя электрической энергии для электромеханических систем ветроэнергетических установок. Теоретически определяется целесообразность использования химических накопителей энергии. Изучается возможность применения электротехнического оборудования и стационарных аккумуляторных батарей инженеринговой компании Accu-Фертриб.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, электромеханические комплексы, ветроэнергетические установки, накопители электрической энергии, стационарные аккумуляторные батареи, электротехнические системы.

SUBSTANTIATION OF THE ENERGY STORAGE CHOICE FOR WIND POWER INSTALLATIONS

¹Tukhbatullina D.I., ²Rashitova R.A., ³Rylov U.A., ⁴Babakulyev F.U.

KSPEU, Kazan

¹dtukhbatullina@inbox.ru, ²r.rashitova97@mail.ru, ³auhadeevkgma@rambler.ru,

⁴farhat_zemla@mail.ru

Methods of determining the energy storage device for electromechanical systems of wind power plants are investigated. The feasibility of using chemical energy storage devices is theoretically determined. The possibility of using electrical equipment and stationary batteries of the engineering company Accu-Fertrib is being studied.

Key words: renewable energy sources, electromechanical complexes, wind power plants, electric energy storage devices, stationary storage batteries, electrical systems.

В настоящее время возрастает интерес к электромеханическим комплексам и системам, работающим на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), в частности становятся более популярными ветроэнергетические установки (ВЭУ). Однако непредсказуемость энергии ветра вынуждает производителей создавать устройства, способные накапливать и хранить полученную электроэнергию [1]. Следовательно, цель данной работы – изучение всевозможных способов выбора накопителя электроэнергии для электротехнических комплексов и систем ветроэнергетических установок.

Электротехнические комплексы и системы, предназначенные для преобразования механической энергии ветра в другие виды энергии, представляют собой ветроэнергетическую установку. В статье будут рассматриваться такие ВЭУ, в которых механическая энергия ветра преобразуется в электрическую с помощью электромеханической системы. Многообразие построения функциональных структур ВЭУ в обобщенном и упрощенном виде изображено в [2].

Для того чтобы определить оптимальный вариант накопителя электроэнергии, рассмотрим основные типы накопителей.

К ранним технологиям запасания больших объемов энергии относится один из видов механических накопителей – гидроаккумуляторы (ГА). Работа ГА имеет принцип, схожий с обычной гидроэлектростанцией, при котором потенциальная энергия воды преобразуется в механическую и электрическую, только система гидроаккумуляторов дополняется насосами. Использовать гидроаккумуляторы целесообразнее при регулировании работы не одной электростанции, а более крупной энергосистемы, работающей на основе возобновляемых источников энергии [3]. При строительстве ГА затопляется определенная территория, что является недостатком их применения, так как это ведет к изменениям состава водной среды обитания, необходимости вывода из оборота земель различного назначения, а также отселению некоторых населенных пунктов.

Накопители электрической энергии, работающие на основе сжатого воздуха (НЭСВ), являются следующим исследуемым типом механических накопителей. Принцип их действия следующий: избыточная электрическая энергия, вырабатываемая возобновляемыми источниками, используется для питания мощных компрессоров, закачивающих воздух под давлением в резервуар, представляющий собой природные подземные полости [1]. Для того чтобы извлечь энергию из такого резервуара, нужно подвести тепло извне путем сжигания природного газа. К преимуществам таких

станций относятся возможность глубоких разрядов, высокие ресурсные характеристики, снижение капитальных затрат за счет использования компрессоров и газовых турбин, а также величина энергетических потоков, достигающих сотни МВт, что отвечает крупным ветропаркам и целым регионам. Минусами являются сжигание природного газа для подачи тепла извне, что немного противоречит идее чистой энергетики [6], необходимость поиска подходящих подземных полостей, которые могут быть построены не всегда и не везде, а также система плохо увеличивает свою производительность при добавлении ресурсов.

Электрическим типом накопителей, который может с большой скоростью накапливать и отдавать энергию, как правило, от нескольких тысяч до миллиардов полных циклов в секунду, и способен так работать в широком диапазоне температур многие годы, является конденсатор. Основными минусами конденсаторов являются малая удельная плотность запасаемой энергии и отсюда небольшая ёмкость (относительно других видов накопителей) и малое время хранения, которое обычно насчитывает несколько минут и секунд и редко превышает часы [5]. Таким образом, использование конденсаторов ограничивается различными электронными схемами и кратковременным накоплением.

Наиболее часто используемым типом накопителей как в системах с ВИЭ, так и многих других оборудованных является свинцово-кислотный аккумулятор (СКА). В настоящий момент существует много разновидностей СКА, различающиеся химическими добавками к материалу положительных и отрицательных пластин, состоянием электролита и областями применения. Минусами свинцово-кислотных аккумуляторов являются небольшая глубина разряда, относительно низкий ресурс, чувствительность к температуре окружающей среды и низкие удельные характеристики. К достоинству СКА относят отработанную технологию их массового производства [4], что делает данный вид накопителей относительно дешевым.

Большое применение в портативных источниках питания, электротранспорте, космической и авиационной технике находят литий-ионные аккумуляторы (ЛИА), которые стремительно развиваются в последнее время. Основным отличием принципа работы литий-ионных аккумуляторных батарей (АБ) от традиционных аккумуляторов является отсутствие процесса превращения одного вещества в другое во время заряда и разряда. Вместо этого происходит ввод или вывод лития в кристаллическую решетку катода и анода. Такие преимущества, как значительно меньший вес по сравнению со свинцово-кислотными аккумуляторами, малое время заряда, незначительное изменение

напряжения с увеличением глубины разряда, возможность работы в режиме длительного недозаряда также вызывают все больший интерес к литий-ионным аккумуляторам. Недостатком литий-ионных АБ является необходимость применения специальных контроллеров с целью управления процессом заряда или разряда, состояния аккумулятора и его элементов [8]. Поэтому их стоимость выше, чем у обычных аккумуляторов. Однако стоимость литий-ионных АБ продолжает уменьшаться, и на рынке все чаще появляются продукты с более привлекательными характеристиками.

Проведенные исследования позволяют вывести следующее: накопители и области их применения разнообразны, следовательно, нецелесообразно рекомендовать определенный аккумулятор для всех типов энергоустановок, работающих на основе возобновляемых источников энергии. Но обусловив некоторые требования, можно облегчить подбор накопителя для системы. При аккумулировании электроэнергии в малых энергоустановках с возобновляемыми источниками энергии наиболее часто используют электрохимические накопители. В основном применяются свинцово-кислотные аккумуляторы, однако непрерывное развитие ЛИА в направлении повышения безопасности, увеличения объемов производства и снижения стоимости за счет применения новых материалов, а также учитывая недостатки СКА, в результате приводит к некоторому вытеснению свинцово-кислотных аккумуляторов литий-ионными [7]. При выборе химических накопителей можно также столкнуться с рядом проблем, но их с легкостью поможет решить инжиниринговая компания Акку-Фертриб, которая является крупнейшим представителем мирового производителя аккумуляторов.

Литература

1. Аваков В. Б. и др. // Академия Энергетики. 2008. №4. С. 28–33.
2. Большаков К. Г. и др. // Альтернативная энергетика и экология. 2005. № 4 (24). С. 52–57.
3. Вольфович Ю. М., Сердюк Т. М. // Электрохимическая энергетика. 2001. Т. 1. №4. С. 14–28.
4. Каменев Ю. Б. Оценка перспективности свинцово-кислотных аккумуляторов // Сб. науч. трудов по свинцовым аккумуляторам. СПб.: Химиздат. 2005. С. 13–62.
5. Липай Б. Р., Соломин А. Н., Тыричев П.А. Электромеханические системы. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 351 с.

6. Попель О. С., Тарасенко А. Б. Накопители электрической энергии // Энергоэксперт. 2011. № 3. С. 28–37.

7. Рыкованов А. Системы баланса литий-ионных батарей // Силовая электроника. 2009. С. 52–55.

8. Хрусталёв Д. А. Аккумуляторы. М.: Изумруд, 2003. 186 с.

УДК 621.311

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ НА БАТАРЕЕ КОНДЕНСАТОРОВ ЗВЕНА ПОСТОЯННОГО ТОКА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Фешин Александр Олегович

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,

г. Санкт-Петербург

a.feshin@yandex.ru

Проведено моделирование режимов работы ветроэнергетической установки, в состав которой входит генератор с возбуждением от постоянных магнитов. Ветроэнергетическая установка через сопротивление связи питает автономную нагрузку. Проведен анализ возникновения перенапряжений на батарее конденсаторов звена постоянного тока при трехфазном коротком замыкании на шинах нагрузки. Выявлены соотношения между активной и реактивной составляющими сопротивления связи, при которых отсутствуют перенапряжения. Полученные результаты показывают, что в подавляющем большинстве случаев требуется защита батареи конденсаторов от перенапряжений.

Ключевые слова: ветроэлектрическая станция, ветроэнергетическая установка, звено постоянного тока, батарея конденсаторов, автономный инвертор напряжения, генератор с возбуждением от постоянных магнитов, перенапряжение.

OVERVOLTAGES ON THE CAPACITOR BANK OF THE DC LINK OF THE WIND-DRIVEN POWER PLANT

Aleksandr Olegovich Feshin

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg

a.feshin@yandex.ru

The simulation of operating modes of a wind-driven power plant, which includes a generator with excitation from permanent magnets, is carried out. The wind-driven power plant feeds the autonomous load through the coupling resistance. The analysis of the occurrence of overvoltages on the capacitor bank of the DC link with a three-phase short

circuit on the load buses is carried out. The relations between the active and reactive components of the coupling resistance, in which there are no overvoltages, are revealed. The results show that in the vast majority of cases, protection of the capacitor bank against overvoltage is required.

Keywords: wind power plant, wind-driven power plant, DC link, capacitor bank, autonomous voltage inverter, generator with excitation from permanent magnets, overvoltage.

Современная ветроэнергетическая установка (ВЭУ), в состав которой входит генератор с возбуждением от постоянных магнитов, имеет звено постоянного тока (ЗПТ), состоящее из дросселя и батареи конденсаторов. Известно [1], что при авариях во внешней электрической системе происходит рост напряжения на батарее конденсаторов ЗПТ, что может привести к повреждению силовых преобразователей.

Основное мероприятие для ограничения перенапряжений на батарее конденсаторов ЗПТ заключается в ее шунтировании на резистор. Помимо этого существуют другие способы ограничения, которые основаны на применении усовершенствованных регуляторов и специализированного оборудования [2].

В исследовании на примере работы конкретной ВЭУ проведен анализ зависимости уровня перенапряжений на батарее конденсаторов ЗПТ от параметров внешней электрической сети. Под перенапряжением понимается превышение напряжением на батарее конденсаторов ЗПТ номинального напряжения.

Основной метод исследования, который использовался в работе, – имитационное моделирование процессов в фазной системе координат. Моделирование проводилось в вычислительном комплексе «РИТМ», предназначенном для имитационного моделирования процессов в электроэнергетических системах [3, 4].

В качестве генератора ВЭУ используется шестифазная синхронная машина с возбуждением от постоянных магнитов, что предполагает применение преобразователя частоты, включающего выпрямитель, ЗПТ и инвертор.

Выпрямительную часть ВЭУ в каждой трехфазной системе машины образуют трехфазная батарея коммутирующих конденсаторов и два трехфазных тиристорных преобразователя, выполненных по схеме Ларионова. Полученная схема обеспечивает искусственную коммутацию вентилей выпрямителя и позволяет снять с генератора максимальную активную мощность [5]. Инверторную часть ВЭУ образуют трехфазный

автономный инвертор напряжения (АИН), выполненный по двух-уровневой схеме Ларионова, и выходной фильтр АИН.

Исследование зависимости уровня перенапряжений на батарее конденсаторов ЗПТ от параметров внешней электрической сети проводится в схеме, представляющей работу ВЭУ через активно-индуктивное сопротивление на автономную статическую нагрузку. Изменение параметров электрической сети и нагрузки осуществляется следующим образом: при заданном значении активного сопротивления сети определяются параметры нагрузки и индуктивность сети, которые обеспечивают коэффициент мощности на выходе ВЭУ 0,8 в доаварийном режиме и отсутствие перенапряжений на батарее конденсаторов ЗПТ в переходном процессе. В доаварийном режиме напряжение на выходе ВЭУ составляет 690 В, активная мощность – 2,5 МВт. Аварийному режиму соответствует трехфазное короткое замыкание на шинах нагрузки. Анализ перенапряжений проводился на интервале времени 0,05 с с момента возникновения короткого замыкания.

Зависимость величин индуктивного сопротивления сети на частоте 50 Гц от величин активного сопротивления сети, при которых отсутствуют перенапряжения на батарее конденсаторов ЗПТ, представлена на рис. 1. Выбор параметров из области, расположенной выше кривой, приводит к перенапряжениям; из области ниже – не приводит. Представленная зависимость показывает, что даже при отсутствии индуктивного сопротивления сети требуется активное сопротивление 6,5 мОм. Этот результат объясняется тем, что на выходе АИН ВЭУ установлен фильтр, индуктивное сопротивление которого 31,4 мОм.

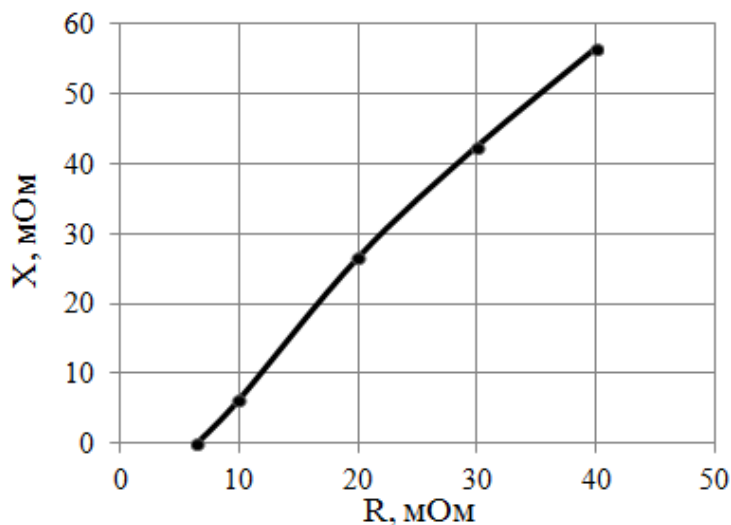


Рис. 1. Определение сопротивлений сети

Осциллограмма напряжения на батарее конденсаторов ЗПТ при активном и индуктивном сопротивлениях сети 20 и 26,7 мОм, соответственно, представлена на рис. 2. Трехфазное короткое замыкание происходит в момент времени 0,15 с. Осциллограмма демонстрирует колебательный характер изменения напряжения, который обусловлен наличием значительных емкостей и индуктивностей в цепи ЗПТ и внешней электрической сети. Увеличение индуктивности сети (или уменьшение активного сопротивления сети) приводит к росту амплитуды колебаний и возникновению перенапряжений на батарее конденсаторов ЗПТ.

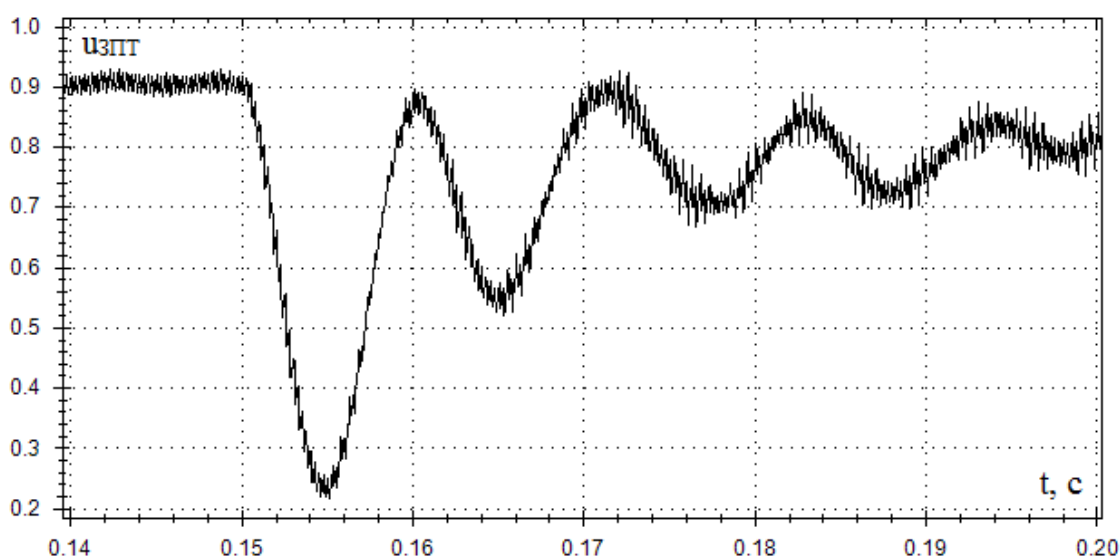


Рис. 2. Осциллограмма напряжения на батарее конденсаторов ЗПТ

На основе проведенного исследования можно заключить следующее. Во-первых, перенапряжения будут отсутствовать, если ВЭУ соединена с точкой повреждения связью, активное сопротивление которой в общем случае превышает индуктивное. Такое соотношение параметров возможно и доступно только при исполнении всей электрической сети в виде кабельных линий. Во-вторых, возникновение трехфазного короткого замыкания на выходе ВЭУ сопровождается переходным процессом в электрической подсистеме ВЭУ, который не демпфируется активным сопротивлением сети. В-третьих, возможно, что в других режимах работы ВЭУ и при других повреждениях уровень перенапряжений на батарее конденсаторов ЗПТ будет выше. С учетом вышесказанного можно сделать вывод, что параметры внешней электрической сети оказывают малое демпфирующее влияние на уровень перенапряжений, поэтому необходимо внедрение защиты батареи конденсаторов ЗПТ от перенапряжений.

Литература

1. Akie Uehara, Alok Pratap, Tomonori Goya [et al.] A Coordinated Control Method to Smooth Wind Power Fluctuations of a PMSG-Based WECS // IEEE Transactions on Energy Conversion. 2011. Vol. 26. № 2. P. 550–558.
2. Tapash K. Das, Jingxin Zhang. Mitigating the impact of voltage sags and swells on type IV wind generator systems // 2017 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC). 2017.
3. Евдокунин Г. А., Попков Е. Н. Принципы имитационного моделирования процессов в электроэнергетических системах // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2013. № 5(181). С. 46–49.
4. Меньшиков Н. Н., Попков Е. Н., Фешин А. О. Windows-версия вычислительного комплекса «РИТМ» // Неделя науки СПбПУ: матер. науч. конф. с междунар. участием. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. Ч. 2. С. 59–62.
5. Adalev A.S., Feshin A.O., Kuchinskiy V.G. [et al.] The Rectifier of the Generator with Excitation from Permanent Magnets of the Wind-Driven Power Plant // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). 2019. P. 1016–1020.

УДК 62-19

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Фролов Игорь Владимирович

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

igor.frolow-00@mail.ru

В статье изложено краткое описание применения асинхронного генератора в ветроэлектрических установках. Приведена схема асинхронного генератора с короткозамкнутый ротором, используемый в ветроэлектрических установках. Проведен краткий сравнительный анализ недостатков и преимуществ использования асинхронного генератора в ветропарках.

Ключевые слова: асинхронный генератор, ветроэлектрические установки, ветроэнергетика, альтернативная энергетика.

USE OF ASYNCHRONOUS GENERATORS IN WIND POWER INSTALLATIONS

Frolov Igor Vladimirovich

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

igor.frolov-00@mail.ru

The article provides a brief description of the use of an asynchronous generator in wind power installations. A squirrel-cage asynchronous generator circuitry is used for wind power installations. A brief comparative analysis of the disadvantages and advantages of using an asynchronous generator in wind farms is carried out.

Key words: asynchronous generator, wind power plants, wind energy, alternative energy.

Запасы органического топлива на планете быстро истощаются. Некоторые эксперты заявляют, что при нынешнем объеме потребления угля его хватит на 400 лет, а нефти и газа – на 100. Также органическое топливо ухудшает экологию нашей планеты за счет выбросов углекислого газа в атмосферу. Эти факторы поставили перед человечеством сложную задачу – разработку альтернативных источников энергии. Они должны быть возобновляемыми и экологически чистыми. Сегодня доля возобновляемых источников в производимой электроэнергии в мире составляет лишь 2–3 %. Значительная часть этой энергии приходится на ветроэнергетику. Также следует отметить, что энергетический потенциал ветра очень большой. По различным оценкам он может составлять 170 трлн кВт·ч в год. Эти данные показывают, что ветроэнергетика позволяет удовлетворить потребности в электроэнергии во всем мире. В данной статье показан вариант применения асинхронного генератора в ветроэнергетических установках и его преимущества в сравнении с синхронными генераторами.

В настоящее время ветрогенераторы можно разделить на две группы. К первой группе относятся ветроэлектрические установки малой мощности. Они обеспечивают автономное электроснабжения изолированных объектов и объектов, удалённых от электрических сетей. Ко второй группе следует относить крупные ветропарки на базе ветроэлектрических установок мегаваттного класса, работающие в составе объединённых энергосистем. Сегодня значительную часть рынка занимают именно ветропарки, это связано с рядом их преимуществ над отдельными ветроэлектрическими установками малой мощности [1].

Следует отметить, что ветропарки в зависимости от установленной мощности могут занимать очень разные площади, от нескольких сотен метров до километров. Эта особенность отличает их от привычных электрических станций. Ветроэлектрические установки в таких парках устанавливаются на разном уровне по вертикали. С учетом того, что мощности ветроэлектрических установок варьируются от 1 до 6 МВт, следует отметить необходимость применения промежуточной трансформации электрической энергии.

Для начала следует выделить характерные конструктивные особенности ветроэлектрических установок. Начальное преобразование энергии ветра в механическую энергию вращения вала осуществляется с помощью трёхлопастных горизонтально-осевых ветродвигателей. Они имеют большой коэффициент использования энергии ветра, а также у них есть возможность регулирования крутящего момента путем изменения углов лопастей. Также в современных ветроэлектрических установках в основном используется асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором, это связано с высокой надежностью асинхронных машин и меньшими затратами на производство единицы электрической энергии. Еще в них часто применяется механическая трансмиссия. Это связано с необходимостью повышения до определенной величины частоты вращения вала, приводящего в движение электрический генератор [2].

Ветроэлектрические установки на базе синхронных и асинхронных генераторов имеют большой недостаток, они работают при неизменяемой частоте вращения главного вала. Это приводит к недовыработке электроэнергии в переходных режимах от минимальной рабочей скорости до номинальной. Но данный недостаток исправлен в ветроэлектрических установках на базе:

1. Асинхронного генератора с переключаемым числом пар полюсов и двухскоростным мультипликатором.
2. Асинхронного генератора с фазным ротором и регулируемым скольжением.
3. Синхронного генератора с питанием обмотки ротора от статического преобразователя частоты [1].

К генераторам в ветроэнергетических установках предъявляются специальные требования, основными из которых являются:

1. Высокая стабильность и точность поддержания параметров электроэнергии. Точность поддержания параметров электроэнергии важна, так как у ветродвигателя переменная частота вращения и изменяющаяся величина нагрузки.

2. Высокий КПД.

3. Небольшая масса и относительно небольшие габариты.

В ветроэнергетических установках возможно использование различных типов генераторов: асинхронных, синхронных и других. Асинхронные генераторы в данный момент применяются на подавляющем большинстве электроустановок, хотя раньше преимущественно использовали синхронные генераторы. Это связано с тем, что только относительно недавно изобрели малогабаритные силовые конденсаторы, обеспечивающие возбуждение генератора. Ещё силовые конденсаторы позволяют компенсировать реактивную мощность нагрузки. Разработанные в последние годы устройства бесконтактного управления емкостью с использованием полупроводниковых элементов и интегральных микросхем практически снимают ограничения по использованию асинхронных генераторов в стабилизированных по напряжению и частоте системах генерирования энергии ветроэлектрических устройств [1].

Асинхронные генераторы имеют следующие преимущества в сравнении с синхронными:

1. При коротком замыкании в цепи нагрузки происходит развозбуждение асинхронного генератора. Именно благодаря этой особенности в цепь не требуется довольно сложная установка дополнительной защиты генератора.

2. Относительная легкость включения асинхронного генератора на параллельную работу в сравнении с синхронным генератором. При включении асинхронного генератора на параллельную работу синхронизация генераторов происходит благодаря выравниванию частот и напряжений. Также важно отметить, что силовые конденсаторы выступают в роли фильтров.

3. Самовозбуждение асинхронных генераторов повышенной частоты происходит даже при наличии нагрузки на зажимах генератора.

Существуют разные типы асинхронных генераторов, а также различные варианты их подключения в цепь ветроэлектрической установки. Наиболее часто на практике в ветроэлектрических установках применяется асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором, поэтому следует рассмотреть его схему включения, а также рассмотреть её особенности.

Асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором (см. рисунок) при подключении в цепь ветроэлектрических установок нуждается в реактивной мощности для возбуждения и всегда работает с отстающим током. Поэтому для его автономной работы должны быть обеспечены

условия самовозбуждения. В качестве источника реактивной мощности используется батарея конденсаторов [3].

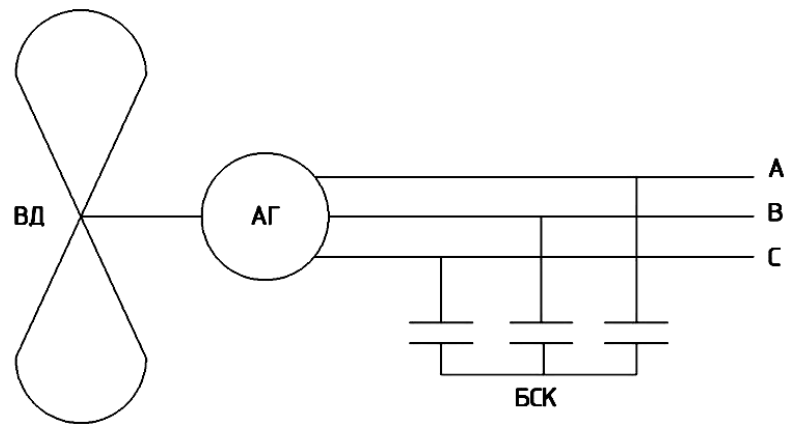


Схема асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором

На рисунке изображена схема асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором, где ВД – ветродвигатель, АГ – асинхронный генератор, БСК – батарея статических конденсаторов. Его преимущества:

- 1) простота обслуживания;
- 2) небольшая стоимость;
- 3) возможность устанавливать безредукторные установки с небольшой массой, высоким коэффициентом полезного действия и возможностью регулировать напряжения и частоты в широких пределах.

Недостатки асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором:

- 1) невозможность управления параметрами режима при порывистом ветре;
- 2) для работы в автономном режиме необходим источник реактивной мощности;
- 3) необходимость установления редукторов, так как используют тихоходные турбины с частотой вращения 20–30 об./мин, поэтому генератор присоединяют через редуктор с коэффициентом преобразования, равным 50–70.

В данной работе были рассмотрены преимущества применения асинхронного генератора в ветроэлектрических установках. Была показана схема подключения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, на ее примере были показаны характерные преимущества и недостатки применения асинхронных двигателей в ветропарках.

Литература

1. Воропаев А. Ветроэлектрические устройства. М.: СОК, 2017. 40 с.
2. Олешкевич М. М. Нетрадиционные источники энергии: учеб.-метод. пособие для студентов вузов. Минск: БНТУ, 2007. 144 с.
3. Сидельников Б. В. Современное состояние и сравнительный анализ конструктивных схем ветрогенераторов // Вестник Щецинского технического университета. 2001.

УДК 620.91

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ, ПОЛУЧАЕМАЯ ОТ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ, И СПОСОБЫ ЕЕ СОХРАНЕНИЯ

Чигин Александр Сергеевич

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

chigin000@gmail.com

Раскрытие принципов работы «классических» устройств, берегающих электрическую энергию от возобновляемых источников. Рассмотрение 3 новых способов удержания энергии.

Ключевые слова: аккумулятор, конденсатор, маховик, горячий аккумулятор, метановый накопитель, возобновляемый источник.

ELECTRIC ENERGY, OBTAINED FROM RENEWABLE SOURCES, AND WAYS OF ITS CONSERVATION

Chigin Alexander Sergeevich

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

chigin000@gmail.com

Disclosure of the principles of «classical» devices that save electrical energy from renewable sources. Consideration of 3 new ways to retain energy.

Keywords: battery, capacitor, flywheel, hot battery, methane storage, renewable source.

Наша планета обладает ограниченными запасами невозобновляемых источников энергии. Человечество уже давно озабочено проблемой

конечности ресурсов. По оценкам ученых, у людей есть 100–200 лет прежде, чем привычные для нас ресурсы, с помощью которых добывают электрическую энергию, иссякнут. Вследствие этой проблемы люди начали разрабатывать альтернативные источники энергии. Сегодня все большую популярность набирают возобновляемые источники энергии, такие как гидроэлектростанции, ветряные двигатели, солнечные батареи.

В процессе выработки электроэнергии возобновляемыми источниками возникает задача сохранить полученную энергию до момента ее потребления, так как солнечные батареи вырабатывают энергию только в светлое время суток, ветряные генераторы носят случайный характер, зависящий от силы воздушного потока и т.д.

Аккумуляторные батареи и конденсаторы являются традиционными методами хранения электрической энергии. Обратимость химической реакции внутри аккумулятора является основным принципом его действия. Пропуская электрический ток в направлении, обратном направлению тока разряда, восстанавливается работоспособность аккумулятора. Аккумуляторная батарея является группой аккумуляторов, объединенных в одну электрическую цепь. Конденсатор заряжается с помощью приложения напряжения на клеммы, это вынуждает отрицательные и положительные заряды двигаться к внешнему слою электрода противоположной полярности [2].

На данный момент к новым направлениям хранения электрической энергии относят:

- 1) маховик;
- 2) горячий аккумулятор;
- 3) метановый накопитель.

Рассмотрим каждое из этих направлений.

1. Использование «супермаховиков» имеет ряд преимуществ по сравнению с литий-ионными аккумуляторами, они стоят меньше, служат дольше и безопаснее как для сотрудников, так и окружающей среды.

Конструкция и принцип работы следующие. Ротор обратной электрической машины расположен на стальном валу маховика, мотор-генератор на постоянных магнитах, который раскручивает маховик, отдавая или запасая энергию, при подключении нагрузки, вырабатывает электрический ток.

Материалы для получения максимального выхода энергии выбираются с учётом удельной прочности материала. Это предел прочности материала, отнесённый к его плотности. Его значение

показывает, насколько прочной будет конструкция при заданной массе. Оказалось, что самые распространённые конструкционные материалы, как сталь, алюминий и другие, уступают лёгким материалам по способности накапливать энергию в маховиках.

Ниже показаны максимальные запасы энергии в маховиках, изготовленных из различных материалов. Для сравнения 1 кВт·ч равен 3,6 МДж:

- свинец – 0,45 – 0,75 кДж/кг;
- медь – 3 – 5 кДж/кг;
- сталь – 30 – 50 кДж/кг;
- титан, дюралюминий, магниевые сплавы – 45–75 кДж/кг;
- берёза, осина, ель – 150–200 кДж/кг;
- бамбук – 300–500 кДж/кг;
- стальная лента – 100 кДж/кг;
- стальной трос – 300–500 кДж/кг;
- литой кварц – 1 МДж/кг;
- графитное волокно – 1–1,5 кДж/кг;
- волокна стеклянных кварцевых нитей – до 5 МДж/кг;
- алмазное волокно – 15 МДж/кг;
- плотно упакованный азот – 60 МДж/кг.

Но все же современные маховики с намотками из углеродного волокна уступают в удельной энергоёмкости, которая составляет до 130 Вт·ч/кг, аккумуляторам [1].

2. Тугоплавкий «стакан» с крышкой напоминает способ с использованием горячих аккумуляторов. Между 2 слоями первых наружных контактов расположен диэлектрик, вокруг – теплоизолирующая оболочка. Первым внутренним электродом является сурьма, которая находится на дне емкости, электролитом является сульфид натрия, а также присутствует сверху второй внутренний электрод, состоящий из магния. Все компоненты расплавлены. Заряжаясь, слой электролита становится тоньше, а расплавленные электроды – толще. Разряжаясь, центральный жидкий слой растёт за счёт боковых. Эта система отлично справляется с большим количеством циклов зарядки и разрядки, в разы превышая все прежние батареи, а также может работать с гигантскими токами без неполадок, так как в системе ничего не выходит из строя. Ещё один немаловажный плюс – все компоненты не требуют больших материальных затрат при производстве [4].

3. Технологию метанового накопителя разработали немецкие ученые. В этой системе лишняя электрическая энергия используется для электрической диссоциации воды на водород и кислород. Полученный

водород соединяют с углекислым газом. Эта реакция образует метан, который сохраняют и используют для получения электрической энергии в любом удобном месте и времени. Эффективность данного преобразования составляет свыше 60 % [3].

Не секрет, что «классические» способы хранения электроэнергии в конденсаторах и аккумуляторных батареях предполагают создание особой достаточно дорогой инфраструктуры. В отличие от таких способов для хранения энергии в форме метана в Германии, как и во многих других странах, уже существует вся необходимая инфраструктура – это распределенная система газовых хранилищ большой емкости. Поэтому авторы данной технологии считают, что у нее могут быть неплохие перспективы, ибо такое преобразование с приличным КПД – «это определенно лучше, чем полная потеря электроэнергии, которую нельзя использовать здесь и сейчас». А реальных альтернатив «газовому преобразованию», как способу хранения энергии, до настоящего времени предложено не так уж много.

Рассмотрев старые и новые способы сохранения электрической энергии, получаемой от возобновляемых источников, можно сделать вывод, что электроэнергетика не стоит на месте и развивается. Появляются все более модернизированные устройства с улучшенными характеристиками или совершенно новые конструкторские идеи, которые зададут темп развития энергетики. Переход к более современным устройствам уже осуществляется, но этот процесс займет некоторое время. На данный момент самым распространенным технологическим решением по сохранению электрической энергии, получаемой от возобновляемых источников, являются способы аккумуляторных батарей и конденсаторов.

Литература

1. Возобновляемая энергетика // Сб. науч. трудов; отв. редактор Алексеев В. В. М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 1999. 188 с.
2. Есипов В. С. Мировая энергетическая революция: Как возобновляемые источники энергии изменят наш мир. М.: Альпина Паблишер, 2015. 208 с.
3. Гулиа Н. В. Инерционные аккумуляторы энергии. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1973. С. 112–118.
4. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника / 2-е изд. М.: Высшая школа, 1991.

УДК 620.9

ЭВОЛЮЦИЯ СОЗДАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

¹Шайдуллина Айгуль Рубисовна, ²Наследсков Владислав Алексеевич,
³Басыров Руслан Рамилевич

Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО КФУ,
г. Набережные Челны

¹moon_flower14@inbox.ru, ²nasledskov@bk.ru, ³basr@mail.ru

Рассматриваются тенденции развития солнечной энергетики. Отражена эволюция создания солнечной батареи. Проведены анализ и принцип работы различных конструкций солнечных панелей с указанием их преимуществ и недостатков.

Солнечная энергетика может стать реальной альтернативой традиционным источникам энергии. С развитием технических возможностей, повышением цен на энергоресурсы появляется все больше желающих обеспечить бесперебойность, комфорт, автономность собственного жилища, уменьшить свои эксплуатационные затраты.

Ключевые слова: солнечная батарея, прототипы, монокристаллические, поликристаллические, тонкопленочные, селен, автономия.

SOLAR PANELS EVOLUTION

¹Shaydullina Aigul Rubisovna, ²Nasledskov Vladislav Alekseevich,
³Basyrov Ruslan Ramilevich

Naberezhnye Chelny Institute of Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny

¹moon_flower14@inbox.ru, ²nasledskov@bk.ru, ³basr@mail.ru

The development trends of solar energy are considered. The evolution of the creation of the solar battery is reflected. The analysis and the principle of operation of various designs of solar panels, with an indication of their advantages and disadvantages.

Solar energy can be a real alternative to a traditional source of energy. Ensuring smooth operation, comfort, autonomy of your own home, reducing your operating costs.

Keywords: solar panels, prototypes, monocrystalline, polycrystalline, thin-film, selenium, autonomy.

В 1842 г. Александр Беккерель открыл эффект преобразования света в электрическую энергию. Позднее Чарльз Фриттс начал использовать селен (химический элемент) для превращения света в электричество. Первые образцы солнечных батарей были созданы Джакомо Луиджи

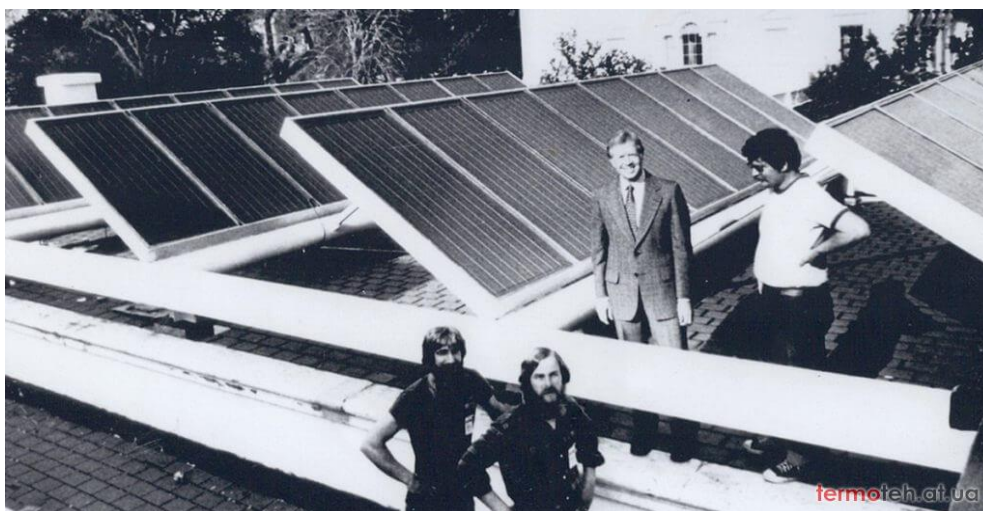
Чамичаном. 25 марта 1948 г. специалисты Bell Laboratories заявили о создании первых солнечных батарей на кремнии для получения электрического тока.

Если раньше считалось нереализуемой идеей обеспечивать жилище электричеством самостоятельно, заплатив один раз за оборудование, исключая последующие траты на электричество, то сегодня это является реальностью. В Европе солнечными батареями пользуются уже долгое время, так как это практически неисчерпаемый источник бесплатной энергии [2].

К основным конструктивным деталям солнечных батарей относят две кремниевые пластины, покрытые бором и фосфором, где под действием солнечного света возникает электрический ток. В пластине, покрытой фосфором, появляются свободные электроны, а отсутствующие частицы образуются в тех пластинах, которые покрыты бором. Электроны начинают двигаться под действием света солнца [3]. Чтобы солнечные батареи обеспечивали дом электричеством достаточной мощности, нужна большая площадь. Поэтому нельзя обойтись только несколькими панелями, так как конечный результат здесь зависит от количества солнечных пластин.

Если рассмотреть, как выглядят космические спутники, то там можно увидеть солнечные батареи – это самый лучший вариант обеспечения аппарата энергией.

Так, из реальной практики можно отметить не маловажный факт, произошедший в 1979 г., действующий президент США дал распоряжение поставить 32 солнечные батареи на Белый Дом для получения горячей воды (см. рисунок), но вследствие смены президента в 1986 г. они были убраны.



Солнечные батареи на крыше Белого дома

Существует несколько типов кремниевых солнечных батарей:

- монокристаллические;
- поликристаллические;
- тонкопленочные.

К основным преимуществам солнечных батарей относят:

- неисчерпаемость и доступность данного источника энергии, так как солнце есть практически в любом регионе;
- экологичность, хотя сами самой батареи экологичны, но при производстве, используются токсичные вещества, которые загрязняют окружающую среду;
- солнечные панели не издадут никаких звуков в сравнении с шумными ветряными генераторами;
- долговечны, так как износ батарей происходит медленно, здесь нет подвижных частей, если только не используется система приводов, которая поворачивает солнечные элементы в сторону источника энергии. Хотя даже с такой сложной системой солнечные панели служат свыше 25 лет [4]. Только после этого срока, если батареи качественные, у них начинает падать КПД и постепенно их нужно обновлять. Возможно, следующее поколение батарей может хватит до конца жизни;
- устанавливая такой источник энергии для дома, вы автоматически обособляетесь от лишних забот, приобретаете автономию и ни от кого не зависите, но если только от Солнца;
- после того, как ваша энергетическая солнечная электростанция окупится, вы будете получать бесплатную энергию в дом. Хотя это не произойдет моментально, придется подождать;
- возможность наращивания солнечных батарей. Вопрос упирается только в доступную для человека площадь. Необходимо просто добавить новые солнечные панели и запитать их в систему. Хотя эти преимущества солнечных электростанций перекрываются существенной проблемой, а именно необходимостью оборудования больших площадей. Речь идёт о квадратных километрах;
- солнечная панель не потребляет никакого топлива. Плюсы солнечных батарей также в беспрерывной подаче электроэнергии, когда не нужно думать: «сколько сейчас стоит топливо и сколько его нужно будет».

В Набережных Челнах по-тихоньку некоторые предприниматели переходят на солнечные панели. Например, кто-то поставил себе на крышу пекарни солнечные панели, или нефтяной компанией была установлена солнечная электростанция как источник бесперебойного

питания. Окупаемость составляет у данных предпринимателей около двух лет [5]. В случае установки солнечной электростанции можно убрать налог на недвижимость, не платить налог на землю, частично или полностью убрать налог на прибыль.

Несмотря на плюсы, есть у батарей и масса недостатков, которые необходимо оценить при выборе источника энергии. Важно понимать все минусы до покупки, чтобы потом быть готовым к тому, с чем придётся столкнуться. По ряду причин солнечные панели используют чаще как вспомогательный источник, а не как основной. Поэтому нужно подумать о целесообразности покупки и установки солнечных батарей. Взвесить все за и против.

Основные недостатки солнечных батарей:

- большие инвестиции в начале, которые не требуются при обычном подключении к центральной электросети. Также срок окупаемости вложений в электросеть с солнечными батареями весьма приблизительный, ведь всё зависит от факторов, которые не зависят от потребителя, поэтому тяжело рассчитать, через какое время солнечные батареи начнут работать в плюс;

- немаловажная особенность – низкий уровень КПД. 1 м² солнечной батареи средней производительности выдаёт около 120 Вт мощности. Данной мощности не хватит даже для того, чтобы поработать за ноутбуком. Солнечные панели имеют значительно меньший КПД в сравнении с традиционными источниками энергии – около 14–15 %. Однако этот недостаток можно считать достаточно условным, новые технологии постоянно увеличивают этот показатель, и развитие не стоит на месте;

- в странах СНГ солнечные батареи дорогие. За рубежом это направление лучше развито. Ведь те же США заинтересованы в переходе страны на экологически чистые источники энергии, их самая востребованная специальность в настоящее время – установщик солнечных панелей;

- большая зависимость от погодных условий и климата. Солнечные батареи теряют свою работоспособность во время пасмурной погоды или в тумане. Также при низких температурах, в зимнее время КПД солнечных батарей падает. Поэтому необходимо поддерживать солнечные батареи какими-то основными источниками энергии, либо использовать гибридные солнечные батареи [1]. Также солнечные панели могут по-разному работать в разных широтах. В каждой отдельно взятой местности за год выходит разное количество солнечной энергии. Поэтому

эффективность солнечной системы также зависит и от месторасположения вашего дома. Если установите солнечные батареи на крышу своего дома, и неподалеку от вас построят высотку, то вы останетесь в тени. То есть солнечные батареи потеряют смысл. Также зависит и от времени суток, ночью солнца нет, а значит, и нет выработки энергии;

– невозможно использовать как источник энергии для техники, которая потребляет большую мощность;

– система электроснабжения от Солнца требует большого количества вспомогательной техники. Нужно иметь специальное помещение для установки системы. Никель-кадмиевые аккумуляторы значительно теряют свою мощность при понижении температуры ниже 0 °С, то есть зимой они почти бесполезны. Поэтому нужно обратить внимание на дополнительное оборудование, например аккумуляторы. Они представлены на рынке огромным количеством, и у всех разная цена и характеристики;

– необходимы большие площади солнечных панелей, чтобы выдать большую мощность от солнечной энергии. Если говорить про солнечную электростанцию промышленного масштаба, то это квадратные километры. При бытовом использовании панелей, такие площади не понадобятся, но всё же нужно учитывать этот момент, если захочется расширяться и увеличить мощность.

Литература

1. Басыров Р. Р., Барыкин А. Ю., Мухаметдинов М. М. Оценка эффективности работы систем обеспечения микроклимата салона легкового автомобиля // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 2. С. 76–78.

2. Солнечная энергия [Электронный ресурс]. URL: <https://www.monographies.ru/en/book/section?id=16296> (дата обращения: 09.12.2019).

3. Принцип работы солнечной батареи и ее устройство [Электронный ресурс]. URL: <https://fb.ru/article/224207/printsip-raboty-i-solnechnoy-batarei-i-ee-ustroystvo> (дата обращения: 09.12.2019).

4. Преимущества и недостатки солнечных батарей [Электронный ресурс]. URL: <https://www.solnpanels.com/preimushhestva-i-nedostatki-solnechnyh-batarej> (дата обращения: 09.12.2019).

5. «Энергия Солнца»: «В ветер я не верю, а солнце в Татарстане шикарное» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.business-gazeta.ru/article/425785> (дата обращения: 09.12.2019).

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 3. ЭНЕРГОСИЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ

	3
Бацева Н.Л., Фоос Ю.А. Применение ZET-алгоритма для модуля «оценивание состояния» централизованной системы противоаварийной автоматики	3
Баширов М.Г., Хуснутдинова И.Г., Алтынбаев А.М. Практическое использование электромагнитно-акустического эффекта в задачах оценки технического состояния и ресурса оборудования	10
Баширов М.Г., Чурагулов Д.Г., Шлейников И.С. Экспериментальные исследования взаимосвязи параметров гармонических составляющих токов и напряжений двигателя электропривода с техническим состоянием и режимами работы агрегата для создания базы данных частотных моделей	13
Веремеев А.А., Петров В.В. Разработка обучающих алгоритмов для виртуального тренажера подстанции 110 кВ	18
Гаевая А.А., Водениктов А.Д., Минибаев А.И. Разработка устройств для деаэрации основного конденсата в конденсаторах паровых турбин ..	23
Глазырин Г.В., Кравченко В.А., Федорова В.А. Разработка и внедрение микропроцессорной системы синхронизации для учебной электростанции	28
Горохов И.В. Дополнительные потери активной мощности в силовом автотранс-форматоре при протекании квазипостоянного тока в обмотке	32
Готовкина Е.Е., Кабаков П.А. Повышение надежности эксплуатации измерительных трансформаторов за счет разработки системы тепловой самодиагностики	38
Денисова А.Р., Важалин Д.С. Интегральные критерии эффективности программы энергосбережения электротехнических систем	45
Дубинский Н.С. Основные направления совершенствования автоматизированного электропривода	50
Иванова В.Р., Гараев И.З. Обоснование применения преобразователей частоты для оптимизации работы электротехнических комплексов и систем.....	53
Карпова П.С., Миназов М.Р., Хизбуллин Р.Н. Совершенствование драйвера для инвертора на IGBT-транзисторах	57
Кинзябаев А.А., Хуснутдинова И.Г. Модернизация системы электрооборудования установки гидрообессеривания и фракционирования стабильного конденсата	61
Корякин М.Д., Королюк Ю.Ф. Разработка алгоритма определения места повреждения для устройств цифровой релейной защиты линий электропередач	64

Крышко К.А., Баширов М.Г., Хафизов А.М. Повышение энергетической эффективности и безопасности трубчатых печей путем совершенствования системы управления на основе использования генетических алгоритмов	71
Матвеев Д.А., Бальзамов А.Ю. Перенастраиваемая система управления полупроводниковым преобразователем электроэнергии на ПЛИС	75
Подберезкин А.С., Пахомов А.Н. Нечеткий регулятор электропривода тележки грузоподъемного крана	81
Роженцова Н.В., Галяутдинова А.Р., Спасов Д.П. Применение программно-технического комплекса в системе диагностики трансформаторного оборудования	86
Рябых И.А., Богданов А.Н., Каюмова А.Р., Абдрахманов А.М. Обучение автоматизации процессов в энергетике с помощью робототехники	90
Сафиуллин Б.И., Аухадеев А.Э. Разработка микроконтроллерных устройств управления электротехническими системами с использованием библиотеки HAL	97
Сидоров А.Е., Трутнева Е.В. Разработка системы логического управления аккумуляторной батареей	101
Старостина М.Н. Перспективные направления развития электрогидравлического привода в авиации	106
Степанова Е.Г., Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л. Спектральный анализ сигнала переходного процесса в начале и в конце линии	111
Тумаев В.А. Преимущества использования частотно-регулируемого электропривода	116
Таланов Р.М., Ягудина А.Р., Хизбуллин Р.Н. Анализ расчетов тяговых сетей городского электрического транспорта	120
Трегуб Д.Р. Исследование аварийных режимов работы каскадного преобразователя частоты частотно-регулируемого электропривода ...	126
Тяпин А.А., Кинев Е.С. Инверторное электропитание металлургических линейных индукционных МГД-машин	135
Файзуллина А.Р., Миназов М.Р. Настройка системы стабилизации частоты синхронного генератора	144
Хисматуллин А.С., Васильев И.С., Ишмуратов Р.Ш., Аюпов Р.И. Способы уменьшения тепловых потерь в импульсных трансформаторах....	150
Хуснутдинова И.Г., Артемьев В.С. Разработка программно-аппаратного комплекса для реализации метода оценки технического состояния электроэнергетического оборудования	154
Черепенькин И.В., Катеев С.Э., Хизбуллин Р.Н. Применение инверторов на электроподвижном составе при рекуперативном торможении	158
Чурагулов Д.Г., Баширов М.Г., Попов Н.К., Овчинникова А.Ю. Оценка технического состояния асинхронных электродвигателей по параметрам высших гармонических составляющих тока и напряжения..	163

СЕКЦИЯ 4. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ СВЕТОТЕХНИКА

	170
Баранов А.В., Абдусадыхов Д.Т., Толкачева К.П. Разработка светового прибора для конюшен	170
Барнинова И.А., Грек А.М. Фотометрические характеристики светодиодных ламп-ретрофитов	174
Баширов А.А., Сандаков В.Д. Светодиодное освещение, его влияние и автоматизация в растениеводстве	180
Белов В.В., Идрисова Е.Д., Свешников А.Г. Совершенствование искусственного облучения растений	184
Биккенин А.Р., Ширiev Р.Р. Исследование фотометрических тел электрических источников света	190
Вишнякова Ю.А., Хохлова А.А., Толкачева К.П. Световой образ сквера Суворова	193
Власова Е.А., Рашевская М.А. Использование светодиодов в автономных системах уличного освещения	196
Гаврилов В.П., Карьгин И.П., Кошин И.Н. Разработка программы расчета параметров охлаждения светодиодов большой мощности	202
Горбунов А.А., Панкратов О.В. Исследование спектральных характеристик аквариумных люминесцентных ламп	208
Едунов Р.В., Сеницына Л.В. Разработка методики экспериментальных исследований эффективности освещения светодиодами при выполнении производственных зрительных работ	214
Железникова О.Е., Кириухина С.В. Оценка психического и соматического статуса организма в условиях светодиодного освещения	219
Инюткин С.Н., Карьгин И.П., Кошин И.Н. Использование микроконтроллера в цепях питания светодиода	225
Килиба Ю.В., Романов И.В., Тимофеев А.В., Богданов М.Э. Системы охлаждения светодиодных ламп на основе тепловых труб	230
Куршев А.Е., Богатырев С.Д., Железникова О.Е. Исследование влияния излучения светодиодных фитооблучателей комбинированного спектра на рост и развитие салатно-зеленых культур	235
Махмудов И.Ш. Проектирование и разработка осветительного устройства для исследования и испытания энергосберегающих технологий	242
Нестеркина Н.П., Кузнецов Е.А. Исследование характеристик светодиодных ламп с изменяемым спектром излучения	246
Нестеркина Н.П., Кузнецов Е.А. Разработка и исследование макетного образца ультрафиолетовой светодиодной лампы	253
Новгородов В.Г., Терентьев А.А. Перспективная технология обратной связи в системе наружного освещения	258

Новосельский В.Г., Тукшаитов Р.Х. Оценка эксплуатационных характеристик светотехнических систем на основе светодиодов	263
Новосельский В.Г., Ахметов Р.Р. Оценка эффективности систем внутреннего освещения и сигнализации летательных аппаратов	269
Пульцин Е.Е., Самолина О.В. Экономический эффект от внедрения умной системы освещения для складского помещения	272
Пятникова М.В., Роженцова Н.В. Фотобиологическая безопасность энергоэффективных систем освещения со светодиодными светильниками в образовательных учреждениях	276
Рыбушкин Н.А., Степанов Е.М., Краснов Д.Г., Новосельский В.Г. Оценка эффективности светотехнических систем электрооборудования летательных аппаратов в процессе предполетной подготовки	281
Синицына Л.В., Барычев В.И. Исследование влияния освещения светодиодами нового поколения на интегральные показатели эффективности зрительной работы	285
Тукшаитов Р.Х., Васина А.Ю. Сравнительная оценка бренда ряда отечественных фирм по уровню светоотдачи номенклатуры их светодиодных светильников	289
Цветков А.С., Черепанов И.С., Новосельский В.Г. Оценка эффективности эксплуатации светотехнических систем электрооборудования летательных аппаратов при детерминированном стационарном спросе ...	295

СЕКЦИЯ 5. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

300

Афанасьев К.Г. Развитие возобновляемой энергетики в России	300
Байбиченков А.Р., Титова Г.Р. Гибридные электротехнические комплексы для электроснабжения инфраструктуры крайнего севера на примере жилого поселка	304
Байрамгалиев А.И., Нургалиев И.З., Пронькин П.Д., Фархутдинов М.М., Хасанов Р.А., Шакиров Р.И. Анализ возможности осуществления энергоснабжения с помощью ветроустановок студенческого общежития ФГБОУ ВО «КГЭУ»	310
Гудожников А.С., Янченко С.А. Методы идентификации качественного состава бытовых электро-приемников в общем электропотреблении	315
Гусева О.А., Пташкина-Гирина О.С. Повышение энергоэффективности очистных сооружений путем внедрения установок на базе возобновляемых источников энергии	321
Данилевский А.Ю., Микаева С.А., Ларшина Э.Л. Солнечные батареи	327

Золин Д.С., Рыжкова Е.Н. Определение вектора развития технических требований к методам реализации информационно-измерительной системы центра управления сетей региональной сетевой компании	332
Иванова В.Р., Иванов И.Ю., Семенов Д.Г. Разработка алгоритма эффективного управления технологическим процессом	336
Иванов И.Ю., Гильманова Г.Р. Алгоритм проектирования электротехнических комплексов	342
Кононович А.С., Полазин А.О. Газовая электростанция с нулевыми выбросами CO ₂	348
Кривова Е.О. Оценка возможности электроснабжения станка-качалки с применением возобновляемых источников электроэнергии	352
Нурмухаметов А.Ф. Распределенная генерация. Режимы работы автономных систем электроснабжения	355
Пирогова Т.О. Отрицательные стороны использования ветроэнергетических станций	358
Рашитова Р.А., Тухбатуллина Д.И., Рылов Ю.А., Бабакулыев Ф.Ю. Контроль качества электролита аккумуляторных батарей объектов ветроэнергетики	362
Рудаков А.И., Максимова В.А. Разработка прикладной программы «Устройство автоматической ориентации фотоэлектрической панели»	366
Рудаков А.И., Максимова В.А. Фотоэлектрические автономные энергосистемы	371
Рудаков А.И., Спиридонов Р.Р. Математическая модель ветроэнергетической электроустановки Магнуса	376
Рудаков А.И., Фаттахов И.И. Современное состояние и развитие двигателей внешнего сгорания в когенерационных установках	380
Семенова М.И., Веженкова И.В., Степанова М.С., Кустов Т.В., Ковалевская А.С. Определение степени токсичности полимеров <i>EVA</i> и <i>Tedlar</i> при утилизации компонентов кристаллических солнечных панелей	383
Сичевский А.С., Долгопол Т.Л. Возобновляемая энергетика как распределенная генерация трудно-доступных населенных пунктов.....	391
Таймаров М.А., Тимербаев Н.Ф., Чикляев Е.Г. Применение ветроэнергетики для электроснабжения удаленных районов	395
Ткаченко С.Н., Коваленко А.В., Корытченкова Е.Е. Тенденции развития систем микрогрид с возобновляемыми источниками энергии и водородными топливными элементами	402
Тухбатуллина Д.И., Рашитова Р.А., Рылов Ю.А., Бабакулыев Ф.Ю. Обоснование выбора накопителя энергии для ветроэнергетических установок	409

Фешин А.О. Перенапряжения на батарее конденсаторов звена постоянного тока ветроэнергетической установки	413
Фролов И.В. Использование асинхронных генераторов в ветроэнергетических установках	417
Чигин А.С. Электрическая энергия, получаемая от возобновляемых источников, и способы ее сохранения	422
Шайдуллина А.Р., Наследсков В.А., Басыров Р.Р. Эволюция создания солнечной батареи	426

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

II ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Казань, 18–19 марта 2020 года

Материалы конференции

В двух томах

Том II

Корректор *Л.Р. Гайнуллина*
Компьютерная верстка *Т.И. Лунченковой*
Дизайн обложки *Ю.Ф. Мухаметшиной*

Подписано в печать 10.09.2020
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 25,34. Уч.-изд. л. 18,67.
Тираж 40 экз. Заказ № 5194

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51