

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

---

## ЗАВАЛИШИНСКИЕ ЧТЕНИЯ'17

Молодежная секция

Сборник докладов  
17–21 апреля 2017 г.



УДК 001.08  
ББК я73  
3-13

3-13 Завалишинские чтения: молодежная секция: сб. докл. СПб.: ГУАП, 2017. 277 с.: ил.  
ISBN 978-5-8088-1225-3

Помещенные в сборник доклады отражают весь спектр направлений научных работ, проводимых Институтом инновационных технологий в электромеханике и робототехнике: от проектирования отдельных элементов и устройств, технологий их создания, решения вопросов диагностики и разработки прикладного программного обеспечения до построения сложных систем и комплексов, различных по своему функциональному назначению.

#### Оргкомитет конференции

- Ю. А. Антохина* – доктор экономических наук, доцент, ректор ГУАП  
*А. А. Оводенко* – доктор технических наук, профессор, президент ГУАП  
*В. Ф. Шишлаков* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления в технических системах  
*А. А. Ефимов* – доктор технических наук, профессор кафедры управления в технических системах  
*А. Л. Ронжин* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электромеханики и робототехники

УДК 001.08  
ББК я73

ISBN 978-5-8088-1225-3

© Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2017

УДК 544.7

**А. А. Баранова**

студентка кафедры инноватики и базовой магистерской подготовки

**Ю. С. Николаев**

кандидат химических наук, доцент – научный руководитель

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ КОАГУЛЯНТОВ И ФЛОКУЛЯНТОВ В ОЧИСТКЕ ВОДЫ

Одной из главных проблем развития и существования человечества в XXI веке является обеспечение качественной питьевой водой. Как известно, 97,5% воды на Земле – это соленые воды Мирового океана и только около 2,5% – пресная вода.

Загрязнение природных вод – основных источников водоснабжения населения – приобрело за последние годы угрожающие размеры.

Выбросы промышленных предприятий, энергетических систем и транспорта в атмосферу, водоемы и недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов, особенно в крупных промышленных центрах, уровень загрязнения существенно превышает допустимые санитарные нормы.

Методы очистки сточных вод, в основе которых лежат процессы, описываемые законами физической химии, называются физико-химическими.

Физико-химические методы используют для удаления из сточных вод тонкодисперсных взвешенных и коллоидных частиц (коагуляция, флокуляция, флотация), растворимых газов (десорбция), минеральных диссоциированных в воде примесей (ионный обмен, обратный осмос, выпаривание, кристаллизация), органических растворенных веществ (адсорбция, ректификация, экстракция, ультрафильтрация, первапорация, эвапорация).

Применение физико-химических методов позволяет достичь глубокой и стабильной степени очистки, восстановить различные вещества, удалить из сточных вод токсичные, биохимически неокисляемые органические загрязнения. Они применяются как самостоятельно, так и в сочетании с механическими, химическими и биологическими методами и играют большую роль при очистке производственных сточных вод, а также в водоподготовке.

Коагуляция – процесс слипания частиц в дисперсных системах, ведущий к уменьшению числа частиц дисперсной фазы, снижению их свободной поверхности и к увеличению массы каждой частицы.

Процесс очистки сточных вод коагуляцией и флокуляцией состоит из следующих стадий: дозирования и смешения реагентов со сточной водой; хлопьеобразования и осаждения хлопьев (рис. 1).

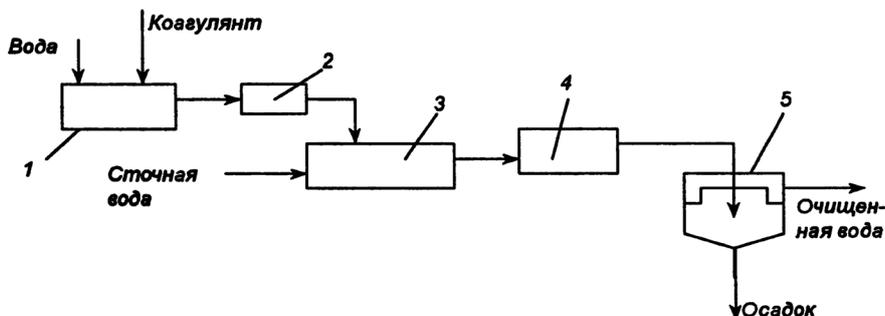


Рис. 1. Схема установки для очистки сточных вод коагуляцией:  
1 – емкость для приготовления растворов; 2 – дозатор; 3 – смеситель;  
4 – камера хлопьеобразования; 5 – отстойник

Рассмотрим каждый метод отдельно.

Для предварительной очистки воды от грубодисперсных коллоидных примесей применяют коагуляцию.

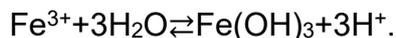
Метод коагуляции играет важную роль в процессе водоочистки и предназначен для удаления взвешенных коллоидных частиц, способных придавать воде мутность и неприятный вкус. Для коагуляции используют специальные химические реагенты-коагулянты, которые в определенных дозах добавляют в неочищенную воду. В качестве коагулянтов принято использовать сульфат алюминия, хлорид трехвалентного железа, сульфат двухвалентного железа и другие. Выбор коагулянта и его доза устанавливаются экспериментально для каждого источника воды. Однако в процессах очистки сточных вод коагуляция происходит под влиянием добавляемых к ним специальных веществ-коагулянтов. Завершается этот процесс отделения агрегатов слипшихся частиц от жидкой фазы, как правило, осаждением [1].

Основным процессом коагуляционной очистки загрязненных вод является гетерокоагуляция – слипание разнородных частиц.

Коллоидные свойства могут проявлять системы, состоящие не только из неорганических, но и из органических веществ. Органические вещества – это специально выведенные полимеры или другие подобные элементы, которые способствуют очистке жидкости методом коагуляции. Неорганические же, как можно понять из названия, относятся к синтетике и минеральным элементам. Если же говорить о составах, что чаще всего применяются в быту и промышленности, то они друг от друга мало чем отличаются.

Наиболее распространенные неорганические коагулянты – это соли трехвалентного железа и алюминия. Подобные коагулянты относительно безвредны, имеют высокую растворимость, и их стоимость относительно невысока.

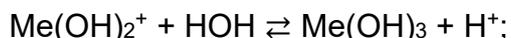
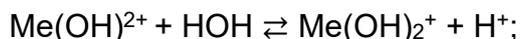
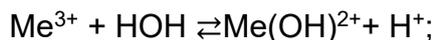
При введении в осветляемую воду коагулянтов происходит их гидролиз:



Образующиеся гидроксиды алюминия и железа представляют собой коллоидные вещества, которые сорбируют развитой хлопьевидной поверхностью взвешенные мелкодисперсные и коллоидные загрязнения, а также бактерии, гуминовые вещества и некоторые растворенные соединения, например ионы тяжелых металлов.

Коагулянты в воде образуют хлопья гидратов оксидов металлов, которые быстро оседают под действием силы тяжести. Хлопья обладают способностью улавливать коллоидные и взвешенные частицы и агрегировать их. Так как коллоидные частицы имеют слабый отрицательный заряд, а хлопья коагулянтов слабый положительный заряд, то между ними возникает взаимное притяжение (рис. 2).

Процесс гидролиза коагулянтов и образования хлопьев происходит по следующим стадиям:



В качестве коагулянтов используются следующие соли алюминия:

– сульфат алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ;

- алюминат натрия  $\text{NaAlO}_2$ ;
- оксихлорид алюминия  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$ ;
- квасцы алюмокалиевые  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$  и аммиачные.

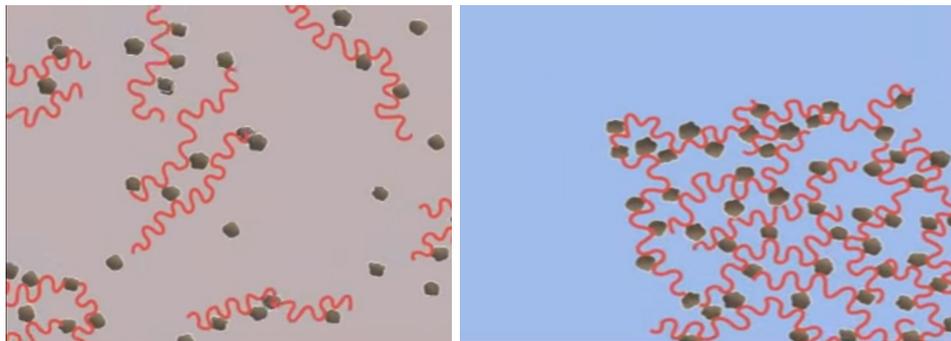
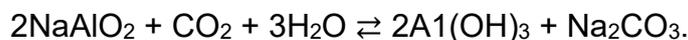


Рис. 2. Взаимное притяжение коллоидных частиц с хлопьями коагулянта

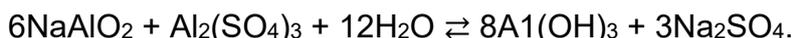
Из этих соединений наиболее распространен сульфат алюминия, который эффективен в интервале значений  $\text{pH} = 5\text{--}7,5$ . Он хорошо растворим в воде и имеет относительно низкую стоимость. Его применяют в сухом виде или в виде 50%-го раствора. При коагулировании сульфат алюминия взаимодействует с гидрокарбонатами, имеющимися в воде:



Алюминат натрия применяют в сухом виде или в виде 45%-го раствора. Он является щелочным реагентом, при  $\text{pH}=9,3\text{--}9,8$  образует быстроосаждающиеся хлопья. Для нейтрализации избыточной щелочности можно использовать кислоты или дымовые газы, содержащие  $\text{CO}_2$ :



В большинстве случаев используют смесь  $\text{NaAlO}_2 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в соотношении (10: 1) – (20: 1):

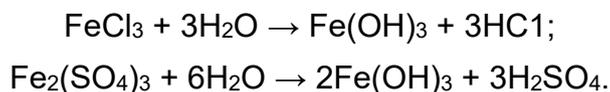


Совместное употребление этих солей дает возможность повысить эффект осветления, увеличить плотность и скорость осаждения хлопьев, расширить оптимальную область  $\text{pH}$  среды.

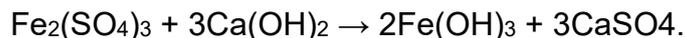
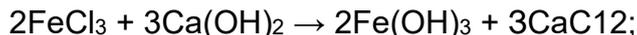
Оксихлорид алюминия обладает меньшей кислотностью и поэтому пригоден для очистки слабощелочных вод; ввиду высокого содержания в нем водорастворимого алюминия ускоряется хлопьеобразование и осаждение коагулированной взвеси, например по реакции:



Из солей железа в качестве коагулянтов используют сульфат железа  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , а также хлорное железо  $\text{FeCl}_3$ . Наибольшее осветление происходит при использовании солей трехвалентного железа. Хлорное железо применяют в сухом виде или в виде 10–15%-х растворов. Сульфаты используют в виде порошков. Доза коагулянта зависит от  $\text{pH}$  сточных вод. Для  $\text{Fe}^{3+}$   $\text{pH} = 6\text{--}9$ , а для  $\text{Fe}^{2+}$   $\text{pH} = 9,5$  и выше. Для подщелачивания (кислотности) сточных вод используют  $\text{NaOH}$  и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Образование хлопьев протекает по реакциям:



При подщелачивании сточных вод протекают следующие реакции:



Соли железа как коагулянты имеют ряд преимуществ перед солями алюминия:

1. Они лучше действуют при низких температурах воды.
2. Для них характерна более широкая область оптимальных значений pH среды.
3. Им свойственны большая прочность и гидравлическая крупность хлопьев.
4. Их можно использовать для вод с более широким диапазоном солевого состава.
5. Они способны устранять вредные запахи и привкусы, обусловленные присутствием сероводорода.

Однако имеются и недостатки:

1. При реакции катионов железа с некоторыми органическими соединениями образуются сильно окрашивающие растворимые комплексы.
2. Соли железа обладают сильными кислотными свойствами, усиливающими коррозию аппаратуры; они имеют менее развитую поверхность хлопьев.

При использовании смесей  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{FeCl}_3$  в соотношениях 1:1 до 1:2 достигается лучший результат коагулирования, чем при отдельном использовании реагентов. Происходит ускорение осаждения хлопьев [2].

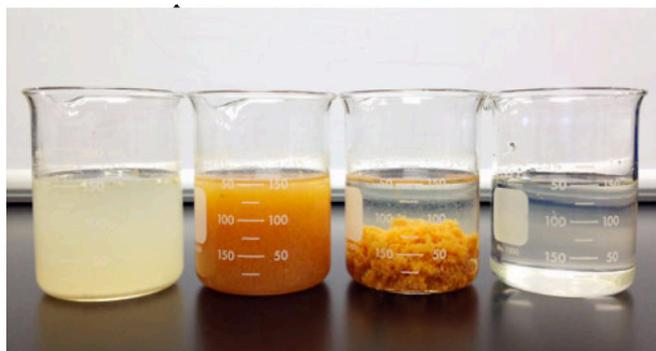
Прочность хлопьев зависит от гранулометрического состава и пластичности образующихся частиц.

На протекание процесса коагуляции (на скорость образования и размеры хлопьев, на полноту выделения коллоидных примесей в осадок) влияют следующие основные факторы:

- качество исходной воды;
- величина дозы коагулянта;
- величина pH среды;
- условия перемешивания воды с коагулянтом;
- температура обрабатываемой воды;
- применение вспомогательных реагентов, их дозы;
- порядок ввода реагентов в обрабатываемую воду;
- содержание в воде естественных взвесей.

Доза коагулянта возрастает с увеличением мутности исходной воды сверх определенного ее значения (порядка 100–200 мг/л и более). Доза коагулянтов при обработке природных вод зависит от цветности или мутности исходной воды и составляет 25–80 мг/л. При очистке сточных вод вид реагента и его дозу надлежит принимать на основании пробного коагулирования, по данным научно-исследовательских организаций или по СНиП 2.04.03-85 «Канализация» для различных отраслей промышленности в зависимости от вида и концентрации загрязняющих веществ. В этом случае доза для солей алюминия и железа составляет 30–700 г/м<sup>3</sup>, извести – 1000–2500 г/м<sup>3</sup>.

Каждая молекула коагулянта способна притянуть к себе несколько молекул других веществ. Именно поэтому важно точно дозировать его количество. Главное, чтобы не использовали слишком мало коагулянта, так как тогда реакция будет протекать плохо. Осадок выпадет медленно и не в тех количествах, в которых должен. А это уже приведет к тому, что жидкость не очистится от вредных примесей должным образом. После притягивания молекулы коагулянта вступают в реакцию и превращаются в соединение. После реакции они становятся похожи на белые хлопья. Эти хлопья выпадают в осадок на дно емкости с жидкостью. Затем требуется только убрать осадок посредством любого типа фильтрации (рис. 3).



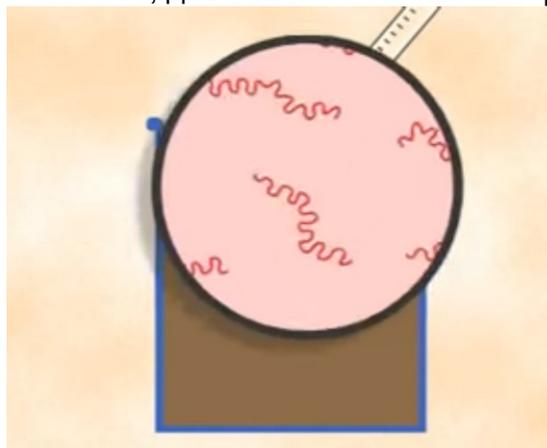
*Рис. 3. Процесс очистки воды*

Некоторые коагулянты способны на обезжелезивание питьевой воды. Другие могут понижать или повышать ее уровень pH. Эти вещества работают при температуре от 10 до 40 градусов по Цельсию. В горячей воде реакция протекает хуже, но здесь все зависит от конкретного вещества. Но в промышленных предприятиях такими способами пользоваться нерентабельно. Особенно если речь идет об очистке сточных вод.

Существует также метод-электрокоагуляция. Электрокоагуляцию целесообразно применять в труднодоступных районах, куда доставка коагулянтов затруднена. Электрокоагуляцию рекомендуется применять при обработке воды, содержащей не менее 20% хлористых солей (от общего солесодержания) и не более 75% гидрокарбонатов и сульфатов, вызывающих пассивацию электродов [3].

Применение коагулянтов связано с трудностью регулирования технологического режима работы очистных сооружений в условиях постоянно меняющегося качества воды. Для стабилизации и интенсификации процессов очистки воды с помощью коагулянтов к последним добавляют специальные вещества – флокулянты.

Флокуляция – это процесс агрегации взвешенных частиц при добавлении в сточную воду высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами. Она принадлежит к классу линейных полимеров, для которых характерна цепочная форма макромолекул (рис. 4). Молекулярная масса флокулянтов находится в пределах от десятков тысяч до нескольких миллионов, длина цепочки, состоящей из ряда повторяющихся звеньев, достигает сотни нанометров.



*Рис. 4. Добавление в сточную воду флокулянта.  
Линейная структура флокулянта*

Флокуляцию проводят для интенсификации процесса образования хлопьев гидроксидов алюминия и железа с целью повышения скорости их осаждения. Использование флокулянтов позволяет снизить дозы коагулянтов, уменьшить продолжительность процесса коагулирования и повысить скорость осаждения обра-

зующихся хлопьев. В качестве флокулянтов используют высокомолекулярные органические и минеральные соединения, хорошо растворимые в воде.

Для очистки сточных вод используют природные и синтетические флокулянты.

К природным флокулянтам относятся крахмал, декстрин, эфиры, целлюлоза, водорослевая крупа, белковые гидролизные дрожжи и др. Наиболее распространенными неорганическими флокулянтами являются активированный силикат натрия (активная кремниевая кислота) и активный диоксид кремния-SiO<sub>2</sub>.

При выборе состава и дозы флокулянта учитывают свойства его макромолекул и природу диспергированных частиц. Оптимальная доза полиакриламида (ПАА) для очистки промышленных сточных вод колеблется в пределах 0,4–1 г/м<sup>3</sup>.

Механизм действия флокулянтов основан на следующих явлениях:

- адсорбции молекул флокулянта на поверхности коллоидных частиц;
- ретикуляции (образовании сетчатой структуры) молекул флокулянта;
- слипанию коллоидных частиц за счет сил Ван-дер-Ваальса [4].

Флокулянты обычно применяют в дополнение к основному коагулянту, реже самостоятельно. Доза анионных флокулянтов в дополнение к коагулянтам при очистке промышленных сточных вод – 0,5–3 г/м<sup>3</sup>, доза катионных флокулянтов при тех же условиях и выше составляет 2,5–20 г/м<sup>3</sup>. Средние дозы флокулянтов – 0,5–1 г/м<sup>3</sup>. Скорость и эффективность процесса флокуляции зависят от состава сточных вод, их температуры, интенсивности перемешивания и последовательности введения коагулянтов и флокулянтов.

Очистка сточной воды от различных загрязнений является сложным многоуровневым процессом, требующим широкого спектра знаний во многих областях науки и техники, начиная от химических особенностей строения молекулы воды и заканчивая сложными технологическими расчетами, основанными на конкретных физических явлениях и закономерностях.

Для решения проблемы обеспечения человечества чистой водой требуются новые научные подходы и разработки новых реагентов и технологий водоподготовки, привлечение больших инвестиций.

Актуальной проблемой получения качественной питьевой воды является применение новых экологически безопасных реагентов для очистки воды и разработка эффективных и экономичных технологий водоподготовки.

Одним из современных коагулянтов является титановый коагулянт. Титановый коагулянт является инновационным высокоэффективным химическим реагентом для подготовки воды питьевого качества, очистки промышленных и бытовых сточных вод, а также для других целей очистки воды от специфических загрязнений.

Титановый коагулянт – полимерная неорганическая композиция на основе хлорсодержащих соединений титана и алюминия, используется в качестве реагента комплексного действия для обработки природных, промышленных и коллоидных сточных вод, обладает коагулирующими и дезинфицирующими свойствами и имеет широкий диапазон применения [5].

Исследования по очистке природной воды различных водоемов с применением титанового коагулянта показали технологические, экономические и экологические преимущества нового реагента по сравнению с известными коагулянтами (алюминийсодержащие коагулянты, коагулянты из природных минералов).

Вода после обработки титановым коагулянтом соответствует санитарным правилам и требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», № ГН 2.1.5.1315-03 «ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

**Библиографический список**

1. Карманов А. П., Полина И. Н. Технология очистки сточных вод: учеб. пособие. Сыктывкар: СЛИ, 2015. 206 с.
2. Сиволобова Н. О., С. В. Желтобрюхова. Очистка сточных вод методом коагуляции: метод. указ. к лаб. работе по курсу «Методы очистки газов и сточных вод». Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2015. 24 с.
3. Семенова И. В. Промышленная экология: учеб. пособие. М.: Академия, 2009. 528 с.
4. Воюцкий С. С. Курс коллоидной химии: 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1976. 512 с.
5. Стремиллова Н. Н. Новый высокоэффективный коагулянт на основе соединений титана для очистки природных и сточных вод. Тезисы докл. на III Междун. конгрессе «Экватек-98». М., 26–30 мая 1998. С. 311.

**УДК 004.3 (4)****В. Е. Белай**

магистрант кафедры электромеханики и робототехники

**С. В. Солёный**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

**ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ**

Все большее количество отечественных промышленных компаний заинтересовано в автоматизации основных технологических процессов: сварки, покраски, сборки и др. Финансово-аналитическая оценка перспектив рынка промышленной робототехники говорит о необходимости разработки и создания как роботов-манипуляторов, так и алгоритмов их функционирования [1].

В работе рассмотрен способ управления роботом-манипулятором марки «Робин РСС-1 «СФЕРА»» на примере переноса груза. «Робин РСС-1 «СФЕРА»» является учебным электромеханическим роботом с тремя степенями свободы [2]. Робот оснащается биполярными шаговыми двигателями с редукторами, что позволяет достичь достаточно высокой плавности хода и момента.

Управление «Робин РСС-1 «СФЕРА»» осуществляется с помощью программного обеспечения, которое поставляется в комплекте с ним. В случае поставки робота в составе гибкого производственного модуля программа управления интегрируется в общий программный пакет, имеющий модульную структуру, в качестве одного из модулей.

Для удобства построения алгоритма движения робота его лучше представлять в виде кинематической схемы (рис. 1), которая показывает типовую конструкцию робота с угловой системой координат. Также данный тип робота можно моделировать как шарнирный, или антропоморфный, так как он повторяет кинематику человеческого тела, в частности руки [3].

Физически робот состоит из поворотного стола 1, двух качающихся звеньев 2, 3 и захватного устройства 4 с самоцентрирующимися губками, которые имеют привод поворота и качания (рис. 2).

Программное обеспечение робота «Робот2016v1.3» может работать в двух режимах: имитатора и станка. В режиме «Имитатор» можно создавать управляющие программы и проводить их отладку виртуально, то есть без перемещения

робота, а в режиме «Станок» можно протестировать разработанный алгоритм непосредственно на роботе. Также существует два формата окна управления роботом: сокращенный и расширенный. Функциональность этих форматов отличается возможностью настройки различных параметров системы, а также визуализации робота с заданием координат его передвижения по осям X, Y, Z (рис. 3).

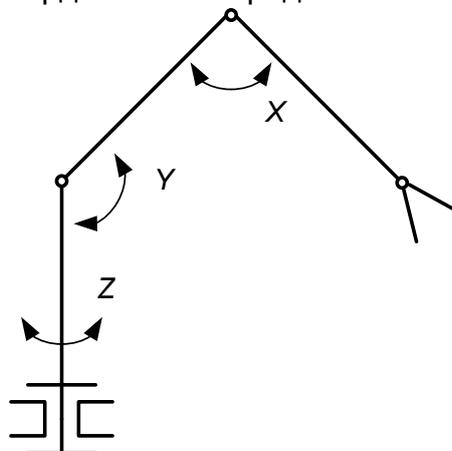


Рис. 1. Кинематическая схема робота «Робин РСС-1 «СФЕРА»»

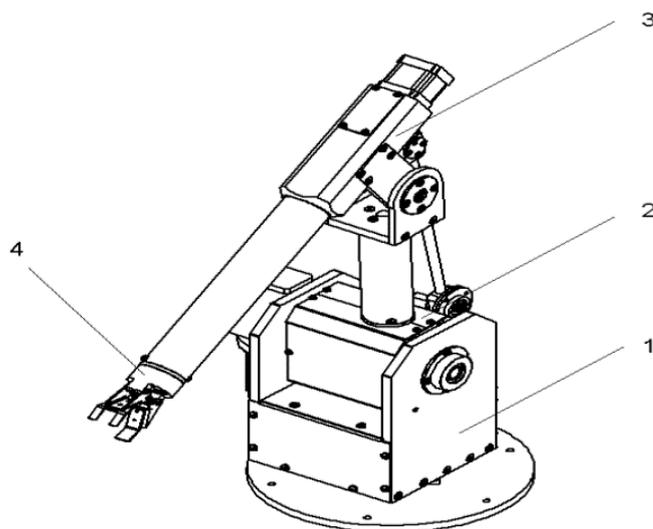


Рис. 2. Основные узлы робота-манипулятора

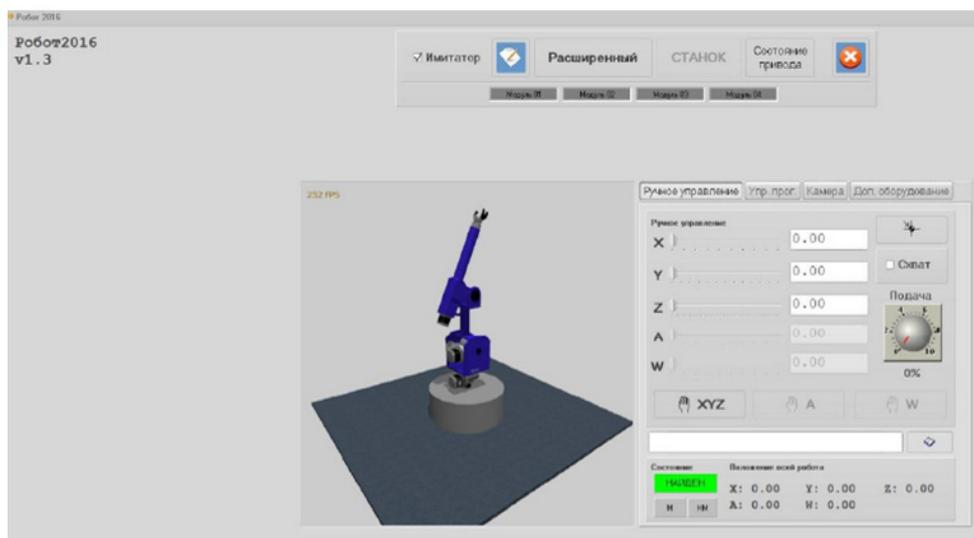


Рис. 3. Стартовое окно программы

Файлом управляющей программы является текстовый файл, каждая строка которого является командой. Ниже представлен программный код для переноса груза:

RHOMEX

RHOMEY

RHOMEZ

G01 X85.Y30.Z81.F100

G01 X85.Y55.Z81.F100

G01 X83.Y60.Z81.F100

G01 X82.Y63.Z81.F050

G01 X81.Y65.Z81.F050

LOCKERON

G01 X82.Y63.Z81.F050

G01 X83.Y60.Z81.F050

G01 X85.Y55.Z81.F050

G01 X85.Y30.Z81.F050

G01 X85.Y0.Z81.F050

G01 X0.Y0.Z81.F050

G01 X85.Y55.Z124.F100

G01 X83.Y60.Z124.F100

G01 X78.Y62.Z124.F100

G01 X78.Y64.Z124.F100

G01 X76.Y64.Z125.F100

G01 X76.Y65.Z124.F100

G01 X77.Y66.Z124.F100

G01 X77.Y67.Z124.F100

LOCKEROFF

G01 X77.Y67.Z114.F010

RHOMEX

RHOMEY

RHOMEZ

G01 X77.Y30.Z114.F100

G01 X77.Y67.Z114.F100

G01 X77.Y67.Z124.F100

G01 X78.Y67.Z124.F100

LOCKERON

G01 X76.Y65.Z124.F010

G01 X76.Y65.Z81.F010

G01 X83.Y60.Z81.F010  
G01 X85.Y62.Z81.F010  
G01 X82.Y63.Z81.F010  
G01 X81.Y65.Z81.F010  
LOCKEROFF  
G01 X85.Y30.Z110.F100  
RHOMEX  
RHOMEY  
RHOMEZ  
END

Особенностью представленного программного кода является применение команды RHOME, которая возвращает робота в начальное положение по заданной координате X, Y или Z. Также имеется возможность задавать значение скорости перемещения робота в пространстве (F) в диапазоне от 1 до 100%. Команда LOCKERON/LOCKEROFF позволяет активировать или отключить исполнительное захватное устройство.

Последующая работа будет направлена на совершенствование алгоритма с точки зрения более точного позиционирования робота в пространстве и реализацию сортировочных возможностей робота.

#### **Библиографический список**

1. Аналитическое исследование: мировой рынок робототехники. Национальная ассоциация участников рынка робототехники (НАУРР), 2016. 157 с.
2. [Электронный ресурс]. URL: [http://labstand.ru/catalog/stendy\\_i\\_trenazhery\\_po\\_robototekhnike/uchebnyy\\_elektromekhanicheskiy\\_robot\\_s\\_3\\_my\\_a\\_stepenyami\\_po\\_dvizhnosti\\_robin\\_rss\\_1\\_sfera\\_usb\\_1586](http://labstand.ru/catalog/stendy_i_trenazhery_po_robototekhnike/uchebnyy_elektromekhanicheskiy_robot_s_3_my_a_stepenyami_po_dvizhnosti_robin_rss_1_sfera_usb_1586).
3. Инструкция по эксплуатации. Учебный электромеханический робот с тремя степенями подвижности «РОБИН РСС-1 «СФЕРА»». Челябинск, 2016 г. 19 с.

#### **УДК 621.3.077.2**

***Е. А. Берестюк***

магистрант кафедры управления в технических системах

***М. В. Бураков***

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### **БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ В СОСТАВЕ СИЛОВОГО ГИРОСКОПИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (СГК250)**

Цель работы: разработка блока управления двигателем (БУД) в составе силового гироскопического комплекса (СГК) с кинетическим моментом 250 Н·м·с.

#### **Описание силового гироскопического комплекса**

Силовой гироскопический комплекс с кинетическим моментом 250 Н·м·с рассматривается состоящим из силового гироскопического (СГП) и электронного приборов (ЭП).

## Подсистемы СГК:

– силовой гироскоп (СГ) состоит из бесконтактного двигателя постоянного тока (БДПТ) (без датчика положения ротора (ДПР)) с электронным блоком управления двигателем и работает в следующих режимах: разгон по программе, вращение с установившейся скоростью по программе стабилизации, торможение по программе, выбег;

– исполнительный электропривод (ИЭП) состоит из БДПТ с резервированным электронным блоком управления приводом и двух дублированных датчиков угла (ДУ) (один из которых установлен на оси двигателя, второй – на оси подвеса гиromотора) с дублированным преобразователем угла и работает в следующих режимах: изменения скорости поворота оси ИЭП, удержание в нуле (по углу), в соответствии с кодом линии передачи информации (ЛПИ) по программе МК ИЭП, динамического торможения – при отсутствии питания на СГК;

– подсистема внешнего интерфейса (часть системы магистрального последовательного интерфейса (МПИ)): модули оконечного устройства (ОУ) с устройствами и микроконтроллером ОУ, работающие в режимах: приема-передачи кодовой информации (в соответствии с Протоколом информационного обмена и ГОСТ Р 52071–2003) и преобразования кода МПИ в код внутренней информационной системы по специальному протоколу по программе МК ОУ;

– подсистемы вторичного питания, состоящие из ВИП, устройств защиты и др., работающие в режимах поддержания вторичного напряжения питания в пределах нормы при изменении нагрузки и напряжения питания.

Подсистемы СГ, ИЭП резервированы по принципу замещения резерва («холодное» резервирование).

## Назначение и кинематическая схема СГП

СГП входит в состав СГК в качестве исполнительного органа для создания управляющих моментов, обеспечивающих заданную ориентацию космического аппарата (КА) в соответствии с принятыми законами управления. Кинематическая схема СГП представлена на рис. 1.

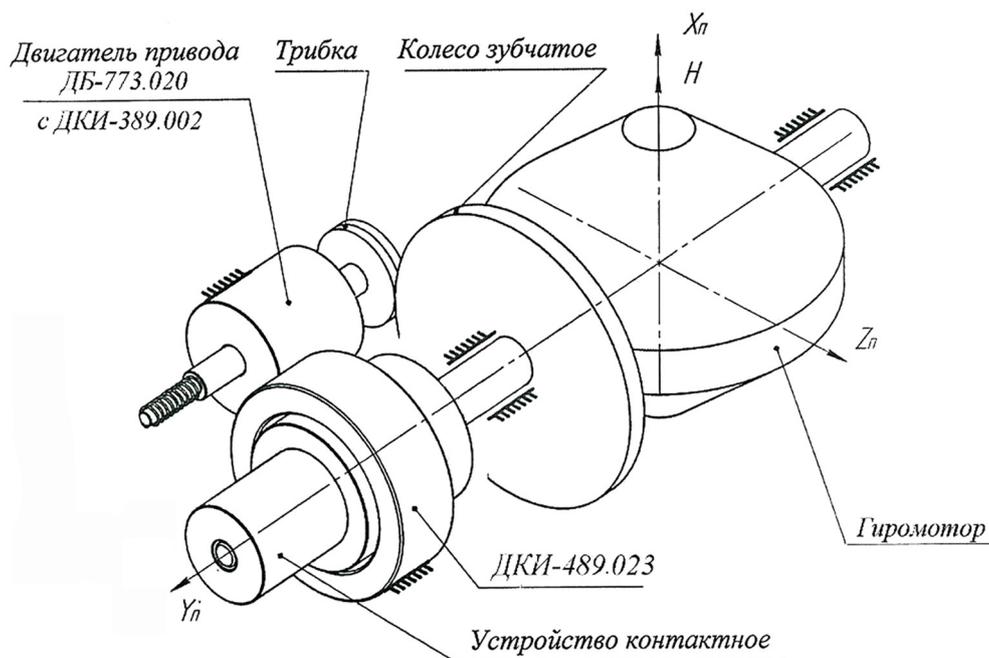
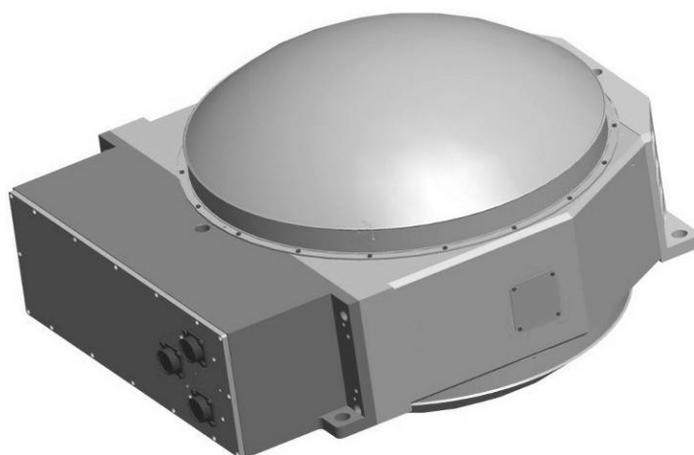


Рис. 1. Кинематическая схема СГП

В состав СГП входят:

- 1) электромеханическая часть системы ИЭП, включающая в себя:
  - исполнительный двигатель с дублированными статорными обмотками;
  - два датчика угла по оси подвеса ГМ;
  - два датчика по оси двигателя ИЭП;
  - электронные преобразователи сигналов датчиков угла в код угла и сигналов датчиков угла в код угла вала двигателя;
- редуктор;
- 2) гиromотор;
- 3) устройство контактное;
- 4) термометр (резистор);
- 5) соединители типа РСЭ;
- 6) монтажные провода типа МС.

Внешний вид СГП представлен на рис. 2.



*Рис. 2. Внешний вид СГП*

Масса СГП – не более 44,5 кг.

Габаритные размеры СГП – 554×430×384 мм.

### **Силовой гироскоп**

Силовой гироскоп (СГ) предназначен для создания управляющих моментов в составе СГК. СГ состоит из гиromотора (ГМ) и электронного блока управления двигателем. ГМ состоит из герметичного корпуса, внутри которого размещены ротор на двух радиально-упорных ШП, бесконтактный двигатель постоянного тока (БДПТ) без датчика положения ротора (ДПР). Функционально СГ имеет два канала: основной и резервный. Один из каналов во время работы находится в «холодном» резерве.

### **Блок управления двигателем**

БУД совмещает функции по управлению двигателем ГМ и функции блока согласования по осуществлению обмена с управляющей вычислительной системой (УВС) по магистральному последовательному интерфейсу (МПИ) и обеспечивает:

- частотный разгон ГМ, доразгон в режиме самокоммутации, стабилизацию номинальной частоты вращения ГМ;
- контроль тока ГМ в режиме разгона и стабилизации;
- контроль кинетического момента;
- обмен информацией с УВС по МПИ;

- обмен информацией с БУП по интерфейсу CAN (RS-485);
- выдачу в блок БУП команд на включение;
- подачу вторичного питания 27 В на блок управления приводом (БУП).

БУД включает в себя два канала управления двигателем (УД), два канала питания для каналов управления двигателем (ПУД) и два канала источников вторичного питания 27 В для питания УД и БУП (ВИП27). Общая структурная схема приведена на рис. 4. Структурная схема одного канала УД приведена на рис. 3.

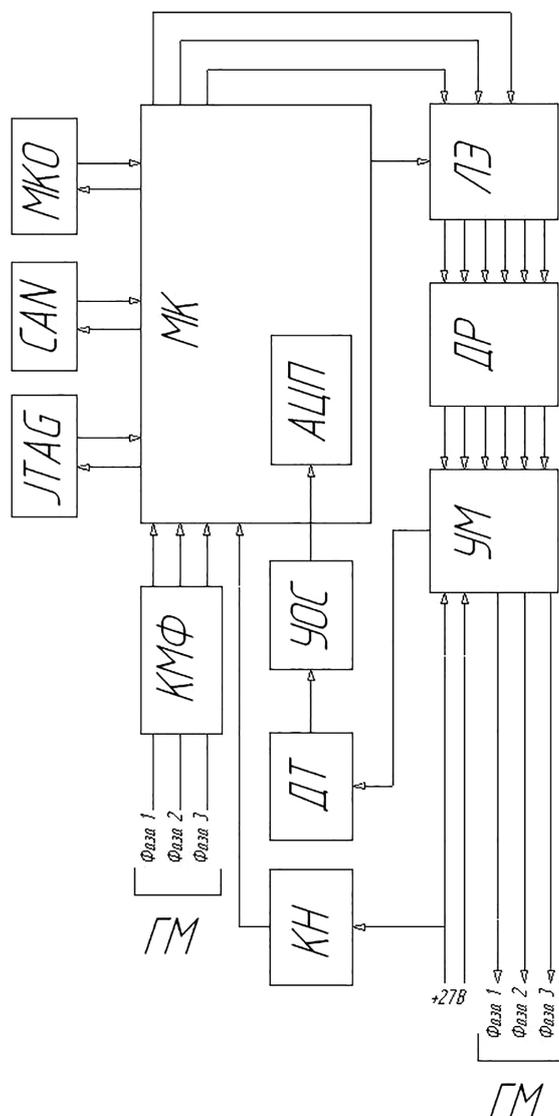


Рис. 3. Структурная схема одного канала УД

Условные обозначения к рис. 3:

МК – микроконтроллер для обмена с БУП, УВС и формирования управляющих сигналов;

КМФ – компаратор фаз для формирования сигналов управления по ЭДС вращения ГМ;

УМ – усилитель мощности для обеспечения тока и напряжения питания ГМ;

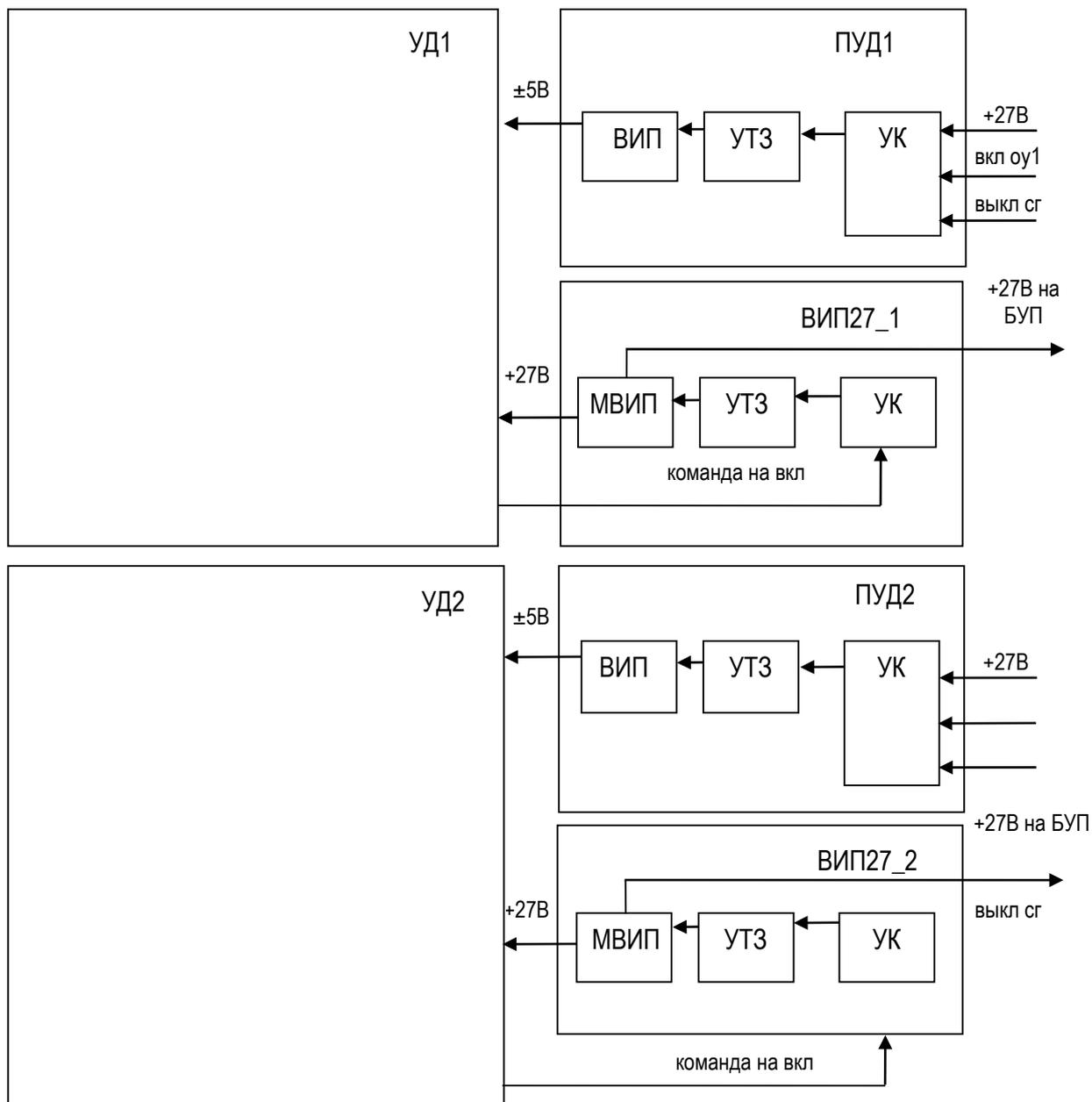
ЛЭ – логический элемент для формирования сигналов управления силовыми ключами УМ;

ДР – драйвер для согласования ЛЭ и УМ;

ДТ – датчик тока для измерения тока ГМ;

## МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

- УОС – усилитель обратной связи для обеспечения обратной связи по току ГМ;
- КН – компаратор напряжения для выдачи признака «27 В норма» в МК;
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь для преобразования напряжения, пропорционального току ГМ, в 12-разрядный код (встроен в МК);
- МПИ – магистральный последовательный интерфейс для обмена информацией МК с УВС;
- УВС – управляющая вычислительная система;
- JTAG – для тестирования, прошивки флеш-памяти МК и отладочных работ при разработке ПО;
- CAN (RS-485) – для обмена с БУП.



*Рис. 4. Общая структурная схема (два канала)*

Условные обозначения к рис. 4:

Один канал ПУД включает в себя:

- ВИП – вторичный источник питания для УД, формирующий напряжение  $\pm 5$  В;
- УТЗ – устройство токовой защиты для ограничения пусковых токов и тока короткого замыкания при неисправностях;

УК – устройство коммутации для подключения через УТЗ к шинам питания ВИП.

Один канал ВИП27 включает в себя:

МВИП – мощный вторичный источник питания для гальванической развязки питания УМ и БУП по 27 В;

УТЗ – устройство токовой защиты для ограничения пусковых токов и тока короткого замыкания при неисправностях;

УК – устройство коммутации для подключения через УТЗ к шинам питания МВИП.

### **Библиографический список**

1. Гироскопические системы: в 3 ч. / под ред. Д. С. Пельпора. М.: Высшая школа, 1986–1988. Ч. 1: Теория гироскопов и гироскопических стабилизаторов. 1986; Ч. 2: Гироскопические приборы и системы. 1988; Ч. 3: Элементы гироскопических приборов. 1988.

2. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Академия, 2006. 272 с.

3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: в 2 т. The Art of Electronics (Cambridge University Press, 1980) / пер. с англ. под ред. М. В. Гальперина; изд. 3-е, стереотипное. М.: Мир, 1986.

### **УДК 681.5**

***Е. Ю. Ватаева***

магистрант кафедры управления в технических системах

***В. Ф. Шишлаков***

доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## **ОБЗОР МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Стремительное развитие техники и совершенствование технологий производства обуславливают появление новых специфических классов динамических объектов, а также повышение требований к качеству работы систем автоматического управления (САУ). В ситуации, когда требуется на экстремальном уровне поддерживать некоторый показатель качества работы динамической системы, зависящий от свойств объекта управления и действующих на него возмущений, необходимо создавать специальные САУ, которые принято называть системами экстремального регулирования (СЭР).

Основная задача СЭР – автоматически поддерживать оптимальное значение регулирующего воздействия, обеспечивающее экстремальное значение координат, параметров объекта или какого-либо показателя эффективности процесса (минимум расхода некоторого материала или вещества, максимум мощности или коэффициента полезного действия и т. д.) при неконтролируемых и заранее не известных изменениях как свойств самого объекта управления, так и условий его функционирования.

К особенностям СЭР можно отнести следующие:

– поиск экстремума осуществляется в режиме реального времени на действующем объекте, который подвержен внешним воздействиям.

– под действием разных возмущений экстремальная характеристика может дрейфовать, при этом происходит смещение экстремума и искажение показателей качества.

– объект управления, помимо статической экстремальной характеристики, содержит динамическую часть, поведение которой описывают дифференциальные уравнения.

Достаточно полный обзор методов синтеза нелинейных САУ приведен в [1], поэтому ниже рассмотрим подходы, разработанные за последние годы.

В [2] рассматривается задача синтеза непрерывного регулятора, оптимального по времени регулирования и обеспечивающего дополнительные требования к показателям качества системы управления. Решение основано на методе желаемых передаточных функций, определяемых с помощью стандартных передаточных функций в форме Вишнеградского. Рассмотренный метод позволяет синтезировать оптимальные по времени регулирования линейные регуляторы для объектов, передаточные функции которых не имеют правых полюсов и нейтральных и правых нулей. Правда, когда указанные условия не выполняются и передаточная функция синтезируемой системы имеет нули, вопрос, будет ли найденный регулятор оптимальным, остается открытым, так как на характер переходного процесса и время регулирования будут влиять ее нули.

Системы управления подвижными объектами с повышенными требованиями к качеству управления с сильно меняющимися свойствами требуют настройки параметров систем управления (СУ) [3]. Для оптимизации параметров разработана версия модального метода, позволяющая получить однозначное решение за один вычислительный цикл, не прибегая к итеративным процедурам. Результаты моделирования маневренного высокоскоростного самолета показали, что сочетание рационального энергетического подхода и формальных математических методов позволяет обеспечить практически одинаковое качество управления во всей эксплуатационной области летательного аппарата.

Реализован метод выбора параметров обратных связей газореактивных систем стабилизации спутников с упругими стержнями, основанный на минимизации среднеквадратичного отклонения вещественной частотной характеристики проектируемой системы относительно желаемой вещественной частотной характеристики [4]. В случаях, когда осциллирующие переходные функции слабо затухают, предложенный метод позволяет значительно улучшить качество переходных процессов в проектируемой системе. Для выполнения параметрического синтеза не требуется детальной информации о конфигурации областей устойчивости в пространстве параметров обратных связей, необходимо лишь, чтобы начальные значения параметров обратных связей принадлежали области устойчивости.

В работе предлагается новый сеточный метод построения оптимального закона управления по принципу обратной связи (оптимального синтеза) в задаче оптимального управления предписанной продолжительности [5]. Одним из основных методов решения программных задач такого типа является классический принцип максимума Л. С. Понтрягина. Трудность его реализации состоит в том, что его применение предполагает решение двухточечной краевой задачи для систем обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих экстремали и коэкстремали. Отметим также, что краевые условия, определяющие коэкстремали, должны быть при этом заданы в момент времени, зависящий от траектории экстремали. Это же обстоятельство затрудняет решение данных задач с помощью классического метода динамического программирования.

Применение критерия запаса работоспособности позволяет получить решение задачи параметрического синтеза в случае отсутствия информации о стохастиче-

ских закономерностях вариаций параметров, а применение технологий распределенных (параллельных) вычислений предложить эффективные алгоритмы [6]. Предложенный алгоритм решения проблемы синтеза аналоговых технических систем с учетом отклонений параметров от расчетных значений позволяет выбрать номинальные значения параметров, обеспечивающих максимальный запас работоспособности исследуемой системы. Важный момент алгоритма заключается в том, что процессы и станции локальной сети могут быть как однотипными, так и отличающимися друг от друга по своим вычислительным характеристикам. Такая схема повышает надежность вычислений, устраняется возможность блокировки системы.

При использовании итерационных процедур на основе конструкции теории и методов оптимального управления, в частности аппарата сопряженных систем и функций Понтрягина, предлагается новый подход к оптимизации управляющих параметров динамических систем на основе построения и решения задачи о неподвижной точке определяемого оператора проектирования [7]. Рассматриваемая процедура имеет возможность улучшать управления, удовлетворяющие дифференциальному принципу максимума, и позволяет получить усиленное необходимое условие оптимальности.

В работе [8] представлены результаты разработки методов оптимизации надежности структурно-сложных технических систем с целью обеспечения оптимального выбора элементов и степени их резервирования по критериям надежности и стоимости. Возникающая задача оптимизации формулируется как задача целочисленного программирования, размерность задачи уменьшается в результате применения метода многомерного деления пополам. Разработанные методы могут быть использованы при анализе уже существующих систем для определения и обоснования оптимальных по стоимости путей повышения их надежности.

В [9] рассматривается решение задачи синтеза параметров регуляторов электромеханических систем автоматического управления при аналитической аппроксимации характеристик нелинейных элементов. В качестве математического аппарата решения применяется обращение прямого вариационного метода анализа – обобщенного метода Галеркина. Получены рекуррентные аналитические соотношения вида «вход-выход», определяющие интегралы Галеркина для нелинейных характеристик, аппроксимированных аналитически, при экспоненциальных процессах на их входах. Применение соотношений позволило полностью алгебраизировать решение задачи синтеза непрерывных систем автоматического управления с данным видом аппроксимации нелинейных характеристик.

Решение задачи синтеза параметров законов управления САУ при аппроксимации характеристик нелинейных элементов аналитическими и иррациональными функциями рассматривается в работе [10]. В качестве математического аппарата применяется обращение прямого вариационного метода анализа – обобщенного метода Галеркина – на решение поставленной задачи. Показано преимущество данных способов аппроксимации нелинейностей для САУ с гладкими нелинейностями, исключающее необходимость определения точек переключения нелинейных характеристик при работе алгоритма.

### **Библиографический список**

1. Никитин А. В., Шишлаков В. Ф. Параметрический синтез нелинейных систем автоматического управления: моногр. / под. ред. В. Ф. Шишлакова, СПбГУАП. СПб., 2003. 358 с.
2. Ким Д. П. Синтез оптимальных по быстродействию непрерывных линейных регуляторов // Детерминированные системы. Автоматика и телемеханика. № 3. М., 2009 г. С. 5–14.

3. Борисов В. Г., Начинкина Г. Н., Шевченко А. М. Модальный метод оптимизации энергетической системы управления полетом летательных аппаратов // Проблемы управления, 2008. № 6. 74–80.
4. Комарова М. С. Параметрический синтез систем стабилизации // Изв. Саратов. ун-та. Математика. Механика. Информатика, 12:2 (2012). 82–90.
5. Субботина Н. Н., Токманцев Т. Б. Оценка погрешности сеточного оптимального синтеза в нелинейных задачах оптимального управления предписанной продолжительности // Автоматика и телемеханика. М., 2009. № 9. С. 141–156.
6. Абрамов О. В., Катуева Я. В., Назаров Д. А. Оптимальный параметрический синтез по критерию запаса работоспособности // Проблемы управления. 2007. № 6. 64–69.
7. Булдаев А. С., Хишектуева. Метод неподвижных точек в задачах параметрической оптимизации систем // Автоматика и телемеханика. М., 2013. № 12. С. 5–14.
8. Мусаев А. А., Скворцов М. С. Методы параметрической оптимизации надежности структурно-сложных технических систем // Тр. СПИИРАН. 2008. Вып. 6. 44–50.
9. Чубраева Л. И., Шишлаков А. В. Синтез электромеханических систем автоматического управления при аппроксимации характеристик нелинейных элементов // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2. С. 2–7.
10. Шишлаков В. Ф., Анисимова Е. В. Аппроксимация характеристик нелинейных звеньев систем автоматического управления иррациональными функциями // Завалишинские чтения' 2014. СПбГУАП, 2014 г.

### УДК 681.518.3

**А. В. Веретехин, И. В. Гертнер, А. Н. Гурулев, Д. Е. Пась, А. С. Фадеев**  
студенты 2-го курса Института кибернетики ТПУ

**А. С. Фадеев**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

### СИСТЕМА «УМНЫЙ ДОМ»

Система «умный дом» направлена на автоматизацию процессов управления оборудованием современного жилья человека (электро- и водоснабжением, отоплением, освещением, кондиционированием и вентиляцией), а также на своевременное оповещение о нештатных ситуациях (возгорании, несанкционированном проникновении и т. д.). Стоит упомянуть, что отношение к данной системе в России несколько отличается от аналогичного в Европе. В Европе разработки систем автоматизации дома и быта воспринимаются как неотъемлемая часть жизнеобеспечения, в связи с чем производится максимальная унификация подобных систем, они являются вполне доступными для рядового пользователя. В России «умный дом» рассматривается как решение для высокобюджетных проектов, что влечет за собой индивидуальный подход к каждому пользователю и делает систему менее доступной.

Целью проекта «умный дом» является создание простой и относительно доступной системы домашнего контроля и оповещения на базе микроконтроллера Atmega 328p и платы Arduino.

В работе были выделены следующие этапы:

1. Создание системы индикации закрытия-открытия дверей и окон.

2. Осуществление контроля влажности и температуры воздуха (подача сигнала на «умный» переключатель, который управляет системами теплого пола и обогрева, если таковые имеются).

3. Применение датчика статического электричества (если в воздухе накапливается большой статический заряд – предвестник грозы, то подается сигнал на микроконтроллер, и если электроприборы в помещении не были отключены, то по достижении какого-то предельного (опасного заведомо) заряда приборы выключаются автоматически).

4. Осуществление индикации движения и включение света (в коридоре) – вечером и ночью.

5. Управление всей системой через GSM-модуль.

6. Реализация функций охраны.

7. Открытие входной двери с помощью NFC-метки.

8. Создание контролирующего онлайн-приложения и веб-сайта с помощью внешнего сервера на базе встраиваемого микрокомпьютера Raspberry Pi.

В процессе проектирования и разработки системы «умного дома» были реализованы и отлажены следующие подсистемы.

Была собрана сигнализация на двери с оповещением и возможностью включения/выключения по командам SMS-сообщений. Как основной элемент для решения данной задачи был выбран геркон ввиду его дешевизны, а также простоты работы с ним. В результате была собрана простая и надежная сигнализация, включающаяся либо нажатием кнопки, либо SMS-сообщением хозяина. При возникновении признаков проникновения осуществляется оповещение об этом хозяина посредством SMS-сообщения. Имеется также возможность отключения тревоги посредством нажатия отдельной кнопки.

Была реализована подсистема контроля протечки воды с оповещением посредством SMS-сообщений. Датчик ставится непосредственно в места, в которых возможна утечка. Влага, попадающая на датчик, уменьшает сопротивление между электродами, активирует его, и посредством GSM-модуля информация посылается пользователю.

Реализована подсистема контроля освещения. Данная система состоит из ИК-датчика, реле и лампы накаливания. Инфракрасный датчик распознает движение объектов (например, человека), после чего передает сигнал на Arduino. Пособством реле, подключенного к сети 220 В, включается лампа накаливания. Таким простым образом реализуется автоматическое включение света при обнаружении движущегося объекта. Подсистема автоматического включения света предназначена для экономии электроэнергии при освещении коридоров и проходных зон дома.

Была собрана и интегрирована с микроконтроллером пожарная сигнализация. Для реализации данного решения были выбраны фототранзистор и датчик дыма, которые при одновременном возникновении признаков пожара (дыма и пламени) подают сигнал на пьезоэлемент, который в свою очередь издает оповещающие звуковые сигналы. Данный модуль также может осуществлять информирование пользователя посредством SMS-сообщений.

Собрана подсистема дистанционного оповещения хозяина. В качестве элемента связи с пользователем был выбран GSM-модуль SIM800L в силу относительной простоты в работе с ним, а также широкой доступности для среднестатистического пользователя. Модуль способен проводить отправку SMS-сообщений, оповещая о возникновении нестандартных ситуаций, таких как: возгорание, несанкционированное проникновение, протечка воды. Связь GSM-модуля с микроконтроллером осуществляется через последовательный порт RS-232. Данный модуль является очень важной частью проекта, обеспечивая связь со всеми подсистемами.

мами. Для обеспечения повышенного энергопотребления GSM-модуля организовано отдельное питание от сети 220 В с применением стабилизированного блока питания на 5 В. В дальнейшем от этого же источника был запитан центральный микроконтроллер со всеми подсистемами.

Осуществление контроля за статическим электричеством повлекло за собой определенные трудности. На основе созданного датчика (который включал в себя полевой транзистор с р-п переходом, который необходим для решения данной задачи) и с использованием резистора был собран датчик статического электричества. Однако ввиду большого количества наведенных токов датчик передавал весьма неточные показания на микроконтроллер, что на данном этапе разработки воспрепятствовало получению достоверных сведений о наличии статического электричества в воздухе.

Тестовые запуск и эксплуатация показали состоятельность данного решения. Заявленный выше функционал работает стабильно и без перебоев. Также была установлена особенность работы системы после перезагрузки и повторного запуска системы, ей необходимо несколько (около 2) минут для начала стабильной работы. Это связано с «калибровкой» GSM-модуля, однако существенного влияния на работу системы это не оказывает.

Схема системы «умный дом» приведена на рис. 1. Центральным вычислительным звеном является микроконтроллер Atmega 328P, размещенный на плате Arduino UNO. На схеме обозначены компоненты подсистем и номера дискретных (D) и аналоговых (A) входов и выходов микроконтроллера.

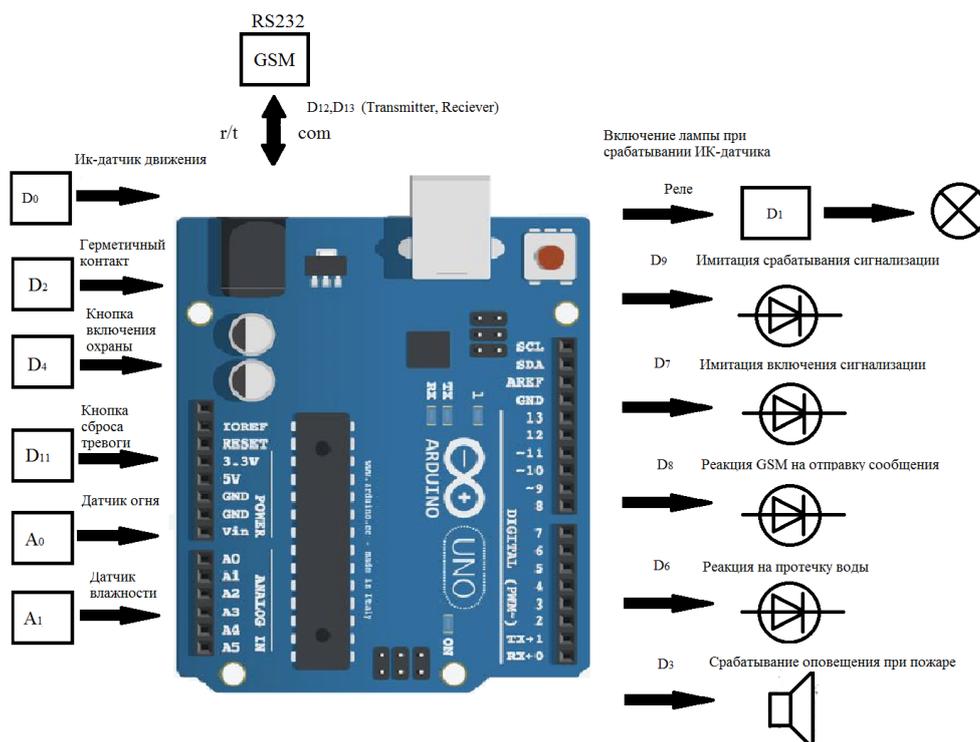


Рис. 1. Схема проекта

### Заключение

В настоящее время начата разработка элементов системы «умный дом», которые пока не включены в основную систему контроля домом.

1. Ведется работа по настройке системы контроля двери с помощью NFC-метки. Модель этой системы включает в себя: отдельный микроконтроллер Ar-

duino, сервопривод, RFID – модуль RC 522 с NFC-меткой. Принцип работы этой системы заключается в следующем: житель квартиры/дома приходит домой, прикладывает индивидуальную метку и посредством сервопривода замок открывается. Зайдя домой, житель закрывает дверь и нажимает на кнопку, которая расположена в квартире/доме, после чего замок закрывается автоматически.

2. Работа с GSM-модулем еще не завершена до конца. Так, в настоящий момент в программном коде прописана возможность отправки отчета по требованию пользователя с информацией о состоянии включения систем, однако реализация включения/выключения системы выполнена только для сигнализации дома.

3. На стадии разработки находится идея о развертывании онлайн-приложения для контроля системы с помощью сервера Raspberry Pi.

4. Был собран датчик, который позволяет обнаруживать электризацию воздуха (перед грозой), он состоит из резистора и модуля, который включает в себя транзистор (за основу модуля взят усилительный блок датчика освещенности). Вследствие того, что затруднительно искусственно создать электростатический разряд, точная калибровка данного датчика на текущем этапе работы невозможна.

В дальнейшем планируется сделать систему более компактной, оптимизированной, а также разработать 3D-макет корпуса системы и изготовить корпус средствами 3D-печати.

В заключение следует отметить, что основными преимуществами данной системы являются следующие факторы: достаточно простая реализация монтажа и управления, доступность по цене как системы в целом, так и составляющих для последующего обслуживания и расширения, доступность для среднестатистического пользователя (достигается благодаря использованию дешевого и надежного микроконтроллера Arduino).

### **Библиографический список**

1. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 256 с.

2. How to Build an Arduino Powered Smart Home: <https://www.codeproject.com/Articles/855501/How-to-build-an-Arduino-powered-smart-home> (дата обращения: 11.11.2016).

3. Arduino Starters Kit Manual. A Complete Beginners Guide to the Arduino by Mike McRoberts – Published 2009 by Earthshine Design.

4. Основа для «умной» комнаты, или как Arduino в общежитии живет: <https://geektimes.ru/post/258598/> (дата обращения: 11.11.2016).

5. Проекты с использованием контроллера Arduino. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2015. 448 с.

**УДК 504.4.054, 544.726**

***Е. А. Вострикова***

студентка кафедры инноватики и базовой магистерской подготовки

***Ю. С. Николаев***

кандидат химических наук, доцент – научный руководитель

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИОНООБМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВОДООЧИСТКЕ**

XXI век – век информации, но вопросы, касающиеся экологической сферы, остаются открытыми. Главная проблема – проблема качества воды, которая

необходима для нашего существования. Вода – универсальное сырье любой культуры и фундамент любого человеческого и духовного развития, ценнейший природный ресурс. В промышленном и сельскохозяйственном производстве вода – ключевой элемент.

Вода не бывает чистой, она содержит примеси и растворенные вещества. В ней растворены химические вещества, как органические, так и неорганические. Загрязнение вод проявляется в изменении физических и органолептических средств (нарушение прозрачности, окраски, запахов, вкуса), увеличении содержания сульфатов, хлоридов, нитратов, токсичных тяжелых металлов, сокращении растворенного в воде кислорода воздуха, появлении радиоактивных элементов, болезнетворных бактерий и других загрязнителей.

Данная тема, безусловно, актуальна и актуальной будет всегда. Она затрагивает наше повседневное существование, влияет на экологическое состояние гидросферы, поэтому, несомненно, заслуживает внимания.

В России более 100 тыс. рек, их годовой сток составляет 4700 км<sup>3</sup>. Анализ водных ресурсов показывает, что возрастает угроза истощения и вода может стать дефицитом. Сегодня недостаток в пресной воде испытывают уже около 60% населения земного шара. Сильное влияние на недостаток пресной воды оказывают стоки промышленных предприятий, сельского хозяйства, коммунальные хозяйства. Небольшой город, потребляя ежедневно 600 м<sup>3</sup> чистой воды, дает 500 м<sup>3</sup> стоков [1].

Сточные воды – воды, загрязненные вследствие использования их в быту и производстве, а также атмосферная вода, отводимая с территорий населенных пунктов и промышленных предприятий. Освобождение сточных вод от загрязнения – сложное производство. В нем имеется сырье (сточные воды) и готовая продукция (очищенная вода). Очистка сточных вод – вынужденное и дорогостоящее мероприятие, представляющее собой сложную задачу, связанную с большим разнообразием загрязняющих веществ и появлением в их составе новых соединений. Сточные воды разнообразны по своему составу, который зависит от вида загрязнений, поступающих в воду.

Основными источниками загрязнения и засорения водоемов являются неочищенные сточные воды промышленных и коммунальных предприятий, крупных животноводческих комплексов, отходы производства при разработке рудных ископаемых. Количественный и качественный состав их разнообразен и зависит от отрасли промышленности, ее технологических процессов; их делят на две основные группы: содержащие неорганические примеси, в том числе и токсические, и содержащие яды. К первой группе относятся сточные воды содовых, сульфатных, азотно-туковых заводов, обогатительных фабрик свинцовых, цинковых, никелевых руд и т. д., в которых содержатся кислоты, щелочи, ионы тяжелых металлов и др. Сточные воды второй группы сбрасывают нефтеперерабатывающие, нефтехимические заводы, предприятия органического синтеза, коксохимические и др. В стоках содержатся разные нефтепродукты, аммиак, альдегиды, смолы, фенолы. Нефть и нефтепродукты на современном этапе являются основными загрязнителями внутренних водоемов, вод и морей, Мирового океана. Атомные электростанции радиоактивными отходами загрязняют реки. Сточные воды, имеющие повышенную радиоактивность (100 кюри на 1 л и более), подлежат захоронению в подземные бессточные бассейны и специальные резервуары [2].

Все методы очистки стоков можно разделить на деструктивные и рекуперационные. Результатом деструктивных методов очистки будет разложение сложных загрязняющих соединений на простые, они выведутся из воды в виде газов, либо выпадут в осадок, либо останутся растворенными в воде, но обезврежен-

ными. Результатом рекуперационных методов очистки будет извлечение из сточных вод всех ценных веществ для дальнейшей переработки. Одним из видов такой очистки сточных вод является ионный обмен.

Ионообменная очистка применяется для извлечения из сточных вод металлов (цинка, меди, хрома, никеля, свинца, кадмия и т. д.), а также соединений мышьяка, фосфора, цианистых соединений. Этот метод очистки позволяет рекуперировать ценные вещества при высокой степени очистки воды.

Ионный обмен представляет собой процесс взаимодействия раствора с твердой фазой, обладающей свойствами обменивать ионы, содержащиеся в ней, и другие ионы, присутствующие в растворе (сточной воде). Вещества, составляющие твердую фазу, носят название ионитов. Они практически не растворимы в воде. Ионный обмен происходит в эквивалентных отношениях и в большинстве случаев является обратимым.

Реакция ионного обмена протекает вследствие разности химических потенциалов обменивающихся ионов (А и Б). В общем виде эти реакции можно представить следующим образом:



Реакция идет до установления ионообменного равновесия. Скорость установления равновесия зависит от внешних и внутренних факторов: гидродинамического режима жидкости, концентрации обменивающихся ионов, структуры зерен ионита, его проницаемости для ионов [3]. Ионит имеет форму заряженного каркаса с ионами противоположного знака. При контакте ионов каркаса с ионами другого знака происходит замена ионов. Каркас может иметь различную основу: органическую, неорганическую, минерально-органическую. Она является сочетанием органики и синтетических ионитов. Если каркас гелевый, то в него входят макропористые или гелевые иониты.

Степень набухания ионитов зависит от строения смолы, природы протиононов, состава раствора. Ионообменные смолы делятся на анионообменные и катионообменные. Катионообменные смолы содержат функциональные группы, способные к обмену положительных ионов, анионообменные – к обмену отрицательных [3].

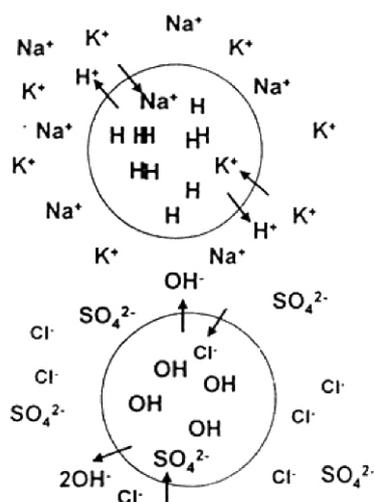


Рис. 1. Принцип ионного обмена

Набухание ионитов влияет на скорость и полноту обмена ионов, а также на селективность ионита. Оно прекращается после того, как разность осмотических давлений до и после обмена уравнивается силами растяжения и сжатия ионита.

Селективность ионного обмена зависит от величины давления набухания в порах смолы и от размера пор ионита. При малом размере пор большие ионы не могут достичь внутренних активных групп. В целях повышения селективности ионитов к определенным металлам в состав смолы вводят вещества, способные образовывать с ионами этих металлов внутрикомплексные соединения (хелаты).

Характерной особенностью ионитов является их обратимость, то есть возможность проведения реакции в обратном направлении, что и лежит в основе их регенерации. Иониты выпускают в виде порошка, зерен, волокнистого материала, листов и плиток.

Ионообменную очистку сточных вод обычно осуществляют путем их последовательного фильтрования через катиониты и аниониты (иногда применяют иониты в солевой форме).

Ионообменный метод применим для очистки сточных вод с общим солевым содержанием до 3 г/л. Увеличение солевого содержания воды снижает экономичность способа из-за снижения продолжительности межрегенерационного цикла работы ионитов и повышения расхода химикатов на их регенерацию. Суммарная концентрация тяжелых металлов колеблется в кислотно-щелочных стоках от 0,5 до 1,5 г/л [4].

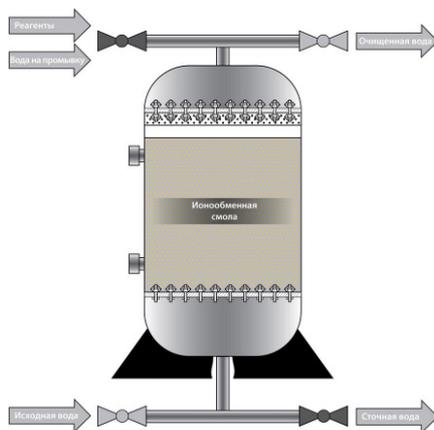


Рис. 2. Ионообменная установка

Существуют природные иониты, такие как цеолиты и сульфогли. Но широкое распространение получили искусственные ионообменные смолы, значительно превосходящие свои природные аналоги по ионообменной способности. Ионообменные методы, хоть и являются одними из самых старых, по-прежнему успешно эксплуатируются, так как только они в состоянии дать самый высокий процент умягчения воды, и при этом скорость очищения тоже будет самой высокой.

В процессе разработки находится новая ионообменная технология, основанная на использовании нескольких полупроницаемых мембран (комбинированная мембранно-ионообменная установка). Глубокая доочистка смешанным слоем ионита позволяет удалять даже ионы слабых электролитов до уровня нескольких микрограмм на литр, а сильные электролиты – до уровня сотых долей микрограмм на литр [4].

Количество параллельно работающих фильтров, как правило, составляет не менее трех, причем один всегда находится в «холодном» резерве или в ремонте. Возможные нарушения режима работы отдельных фильтров всегда могут быть скомпенсированы за счет последующих ступеней очистки, имеющих большой резерв по производительности и эффективности. Но при одновременном использовании нескольких мембран стоимость и сложность установки возрастают до высокого уровня.

Современной ионообменной технологией является катионная смола в виде гелевых шариков, каждый такой шарик насыщен натрием, поэтому на выходе вода мягкая и обогащенная натрием.

Ионный обмен выполняет свои функции качественно только при точном выполнении правил эксплуатации, при использовании достаточно дорогих, полностью автоматизированных установок. Их относительно крупные размеры накладывают естественные ограничения при выборе места размещения систем. Высокая сложность снижает общую надежность.

В заключение необходимо отметить, что в России широко осуществляются мероприятия по охране окружающей среды, в частности по очистке производственных сточных вод.

Одним из основных направлений работы по охране водных ресурсов является внедрение новых технологических процессов производства, переход на замкнутые (бессточные) циклы водоснабжения, где очищенные сточные воды не сбрасываются, а многократно используются в технологических процессах. Замкнутые циклы промышленного водоснабжения дадут возможность полностью ликвидировать сбрасываемые сточные воды в поверхностные водоемы, а свежую воду использовать для пополнения безвозвратных потерь. Какие бы методы ни применялись, их основная задача позволить по максимуму использовать очищенную сточную воду в любых технологических процессах и по минимуму сбрасывать ее в окружающую среду.

### **Библиографический список**

1. Рябчиков Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: ДеЛи принт, 2004. 328 с.
2. Козлов А. И. Процессы и аппараты защиты гидросферы: учеб. пособие. М.: изд-во Чуваш. ун-та, 2009. 86 с.
3. Гришки А. А. и др. Экологические проблемы ионообменных технологий на ТЭС. М.: изд-во МЭИ. 2000. 146 с.
4. Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник. М.: изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 702 с.

### **УДК 62-531.4**

***В. И. Гончарова, М. И. Бакустина***

студентки кафедры управления в технических системах

***С. В. Соленьий***

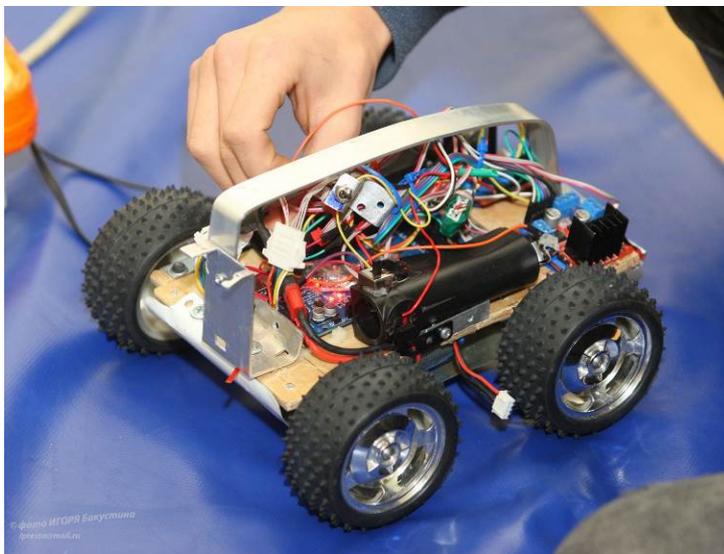
кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## **АВТОНОМНЫЙ РОБОТ-ВЕЗДЕХОД**

### **Актуальность применения роботов-вездеходов**

Автономный робот-вездеход разработан для того, чтобы помочь спасателям в поиске людей в труднодоступных местах. Конструкция робота-вездехода состоит из следующих составляющих: четырехколесная платформа, на которой закреплены четыре сервопривода, камера слежения, пироэлектрический инфракрасный (PIR) датчик движения. Питание робота осуществляется за счет аккумуляторов. Камера в онлайн-режиме передает изображение, и оператор может следить за тем, что происходит вокруг робота, и, таким образом, обнаруживать людей в труднодоступных местах. Робот может передвигаться автономно, а может управляться с помощью приложения на мобильном телефоне.

Платформа для создания робота программируется на платформе Arduino [1]. Платформа выполнена из фанеры 10 и оснащена 4 колесами, к каждому из которых подключен отдельный мотор. Платформа может использоваться как основа автомобиля или любого другого едущего робота. Размер платформы 21 на 13 см. На платформе также расположены электронные компоненты робота.



*Рис. 1. Внешний облик робота*

Цифровая камера онлайн-слежения для Arduino – это максимально упрощенный вариант фотовидеокамеры для совместной работы с любыми микроконтроллерами, в том числе и с контроллерами серии Arduino.

Рулевая машина класса микроTowerPro SG-90 предназначена для современных роботов и различных систем мехатроники. Подобные машины также известны под названием НХТ900 фирмы Hextronik. Они имеют простой надежный аналоговый сервопривод с нейлоновым редуктором, малый вес и высокий крутящий момент, а также полный вес с проводом длиной 25 см и качалкой 11 грамм.

Сенсоры PIR (пассивные инфракрасные датчики) позволяют улавливать движение и очень часто используются в системах сигнализации. Эти датчики малые по габаритам, недорогие, потребляют мало энергии, легки в эксплуатации, практически не подвержены износу. Кроме PIR, подобные датчики называют пирозлектрическими и инфракрасными датчиками движения.

PIR-датчики движения по сути состоят из пирозлектрического чувствительного элемента (цилиндрическая деталь с прямоугольным кристаллом в центре), который улавливает уровень инфракрасного излучения. Все вокруг излучает небольшой уровень радиации. Чем больше температура, тем выше уровень излучения. Датчик фактически разделен на две части. Это обусловлено тем, что нам важен не уровень излучения, а непосредственно наличие движение в пределах его зоны чувствительности. Две части датчика установлены таким образом, что, если одна половина улавливает больший уровень излучения, чем другая, выходной сигнал будет генерировать значение High или Low [2].

### **Принцип работы пирозлектрических датчиков движения**

PIR-датчики не такие простые, как может показаться на первый взгляд. Основная причина – большое количество переменных, которые влияют на его входной и выходной сигналы. Чтобы объяснить основы работы PIR-датчиков, мы используем рисунок, приведенный ниже.

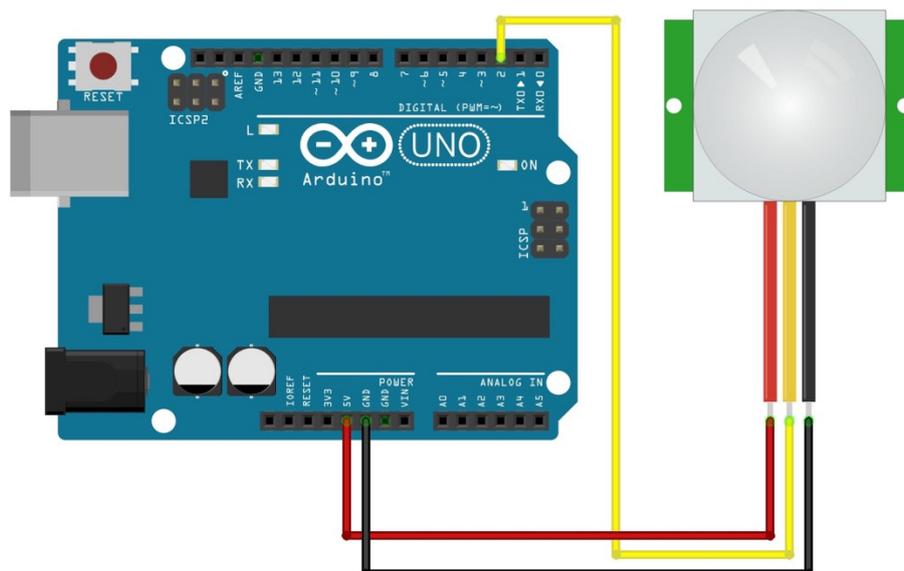


Рис. 2. Схема подключения пирозлектрического датчика движения

Пирозлектрический датчик движения состоит из двух основных частей. Каждая из частей включает в себя специальный материал, чувствительный к инфракрасному излучению. В данном случае линзы особо не влияют на работу датчика, так что мы видим два участка чувствительности всего модуля. Когда датчик находится в состоянии покоя, оба сенсора определяют одинаковое количество излучения. Например, это может быть излучение помещения или окружающей среды на улице. Когда тепловый объект (человек или животное) проходит мимо, он пересекает зону чувствительности первого сенсора, в результате чего на модуле PIR-датчика генерируются два различных значения излучения. Когда человек покидает зону чувствительности первого сенсора, значения выравниваются. Именно изменения в показаниях двух датчиков регистрируются и генерируют импульсы High или Low на выходе [3].

Конструкция робота легко собирается и разбирается, в ней использованы недорогие компоненты, что выгодно с экономической точки зрения. Робота легко отремонтировать в случае повреждения, так как все «железные части» конструкции в открытом доступе.

Управление роботом происходит через контроллер Arduino. Через датчик радиосвязи, подключенный к Arduino, может производиться связь с оператором при необходимости перевода робота в режим ручного управления.

В дальнейшем планируется усовершенствование конструкции робота для улучшения качества поисковых работ: подключение датчика тепла, который будет определять местонахождение человека; разработка специального алгоритма, который будет делать пометку на карте и отправлять данные на сервер.

### Библиографический список

1. Официальный сайт разработчика плат Arduino Uno [Электронный ресурс]. URL: <http://arduino.ua/ru/hardware/Uno> (дата обращения: 10.02.2016).
2. Хоровиц П., Хилл У. X80. Искусство схемотехники: 2-е изд. М.: изд-во БИНОМ, 2014. 704 с.
3. Ключев В. И. Теория электропривода: учеб. для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2001. 704 с.

УДК 621.865.8

**Н. Л. Гречкин**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**Ю. С. Николаев**

кандидат химических наук, доцент – научный руководитель

### АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК В «МЯГКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ»

Понятие «мягкая робототехника» появилось сравнительно недавно и привлекло к себе огромное внимание ученых со всего мира. Так, в Гарварде многочисленные группы работают над роботизированными руками и экзоскелетами. В лаборатории мягкой робототехники Вустерского политехнического института ученые создают змею. А в Сан-Франциско начинающая компания Otherlab создает надувных роботов, которые умеют здороваться за руку.

Мягкие роботы решают две главные проблемы современной робототехники: перспектива развития динамичности и скорости их движений намного больше, чем у металлических роботов. А также мягкие роботы уменьшают риск травм себе и окружающим людям.

В основу разработки мягких роботов положены знания об электроактивных полимерах – полимерах, изменяющих форму при подаче к ним электрического напряжения. Электроактивные полимеры часто называют искусственными мышцами за счет схожести с живыми мускулами по развиваемым усилиям. Принцип работы электроактивных полимеров представлен на рис. 1.

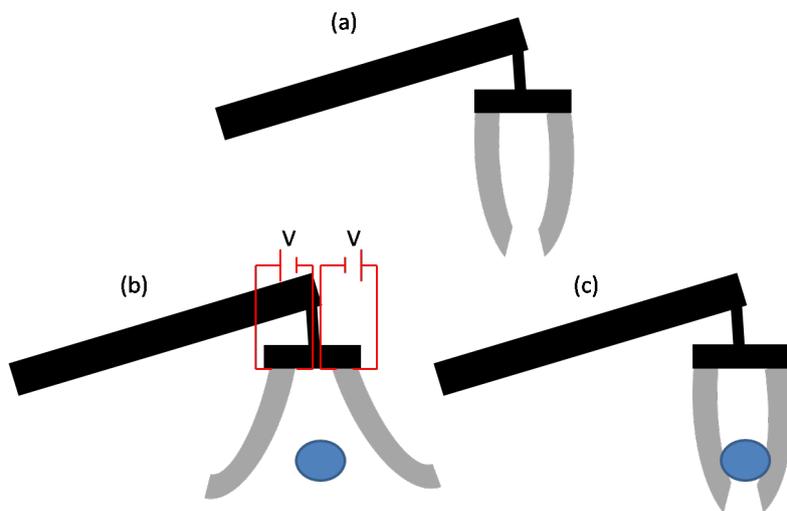


Рис. 1. Принцип работы электроактивных полимеров

При подаче электрического напряжения электроактивные полимерные пластины расходятся. Как только напряжение будет снято, пластины вернуться в исходное положение и будут удерживать объект [1].

Электроактивные полимеры (ЭАП) обычно подразделяют на два основных класса: ионные ЭАП и электронные ЭАП. Ионные ЭАП активируются электропереносом ионов или молекул растворителя, тогда как электронные ЭАП активируются электростатическими силами. Ионные ЭАП включают полимерные гели, металлполимерные композиты, проводящие полимеры, углеродные нанотрубки. Электронные ЭАП включают пьезоэлектрические, электрострикционные полимеры, диэлектрические эластомеры, жидкокристаллические эластомеры и аэрогели

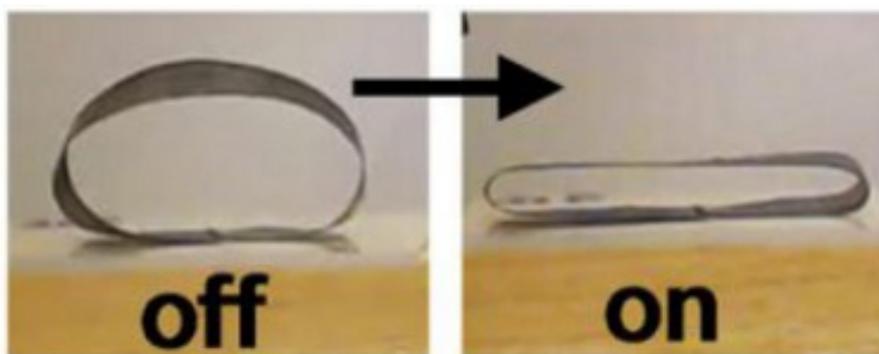
на основе углеродных нанотрубок. Упрощенно говоря, для активации электронных ЭАП нужны высокое напряжение и малый ток, а для ионных ЭАП требуются низкое напряжение и относительно большой ток. К настоящему времени создан рынок устройств, использующих как электронные, так и ионные ЭАП. Эти устройства имеют малый размер и вес и являются разного рода сенсорами и актюаторами [2].

Для использования традиционных роботов с захватным устройством требуется точная информация о местонахождении объекта, его форме, весе и скользкости, так как необходимо рассчитывать траекторию движения каждого из шарниров. Одна система может быть настроена для манипуляций с флаконами для шампуня, другая – с детскими игрушками, а третья – для работы с футболками. При этом, когда производитель обновляет сборочные линии или растет количество товаров, хранящихся на складе интернет-магазина, эти компании вынуждены заменять используемых роботов и обновлять программные алгоритмы для каждой области применения – чаще всего путем значительных денежных и временных затрат. В свою очередь, роботы с захватным устройством, изготовленные из мягких и гибких материалов, могут сами подстраиваться под форму и размер других объектов. Так, компания Empire Robotics представила роботизированную «руку», которая напоминает мягкий мяч для снятия стресса (рис. 2). Мяч наполнен частицами, похожими на песок, которые изначально могут свободно перемещаться, что позволяет роботу деформироваться и принимать форму объекта. Затем с помощью специального клапана выкачивается воздух, что делает материал внутри робота жестким и закрепляет захват [3].



*Рис. 2. Роботизированная рука от компании Empire Robotics*

Группа ученых из Университета Северной Каролины предложила новый способ использования магнитных полей для перемещения мягких роботов. Управлять роботами можно удаленно, теперь нет необходимости подключать его к источнику питания или воздушному насосу, как в случае с более традиционными мягкими роботами (рис. 3). Принцип работы следующий: в полимер встраиваются магнитные цепи, и, когда активируется магнитное поле, создается крутящий момент, который пытается выровнять цепочки по направлению поля. Таким образом, полимер может гнуться. Используя магнитные частицы, встроенные в устройство, можно заставить робота выполнять довольно сложные задачи, несмотря на их простые конструкции [4].



*Рис. 3. Демонстрация использования магнитного поля для перемещения мягкого робота*

### **Библиографический список**

1. [Электронный ресурс]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electroactive\\_polymers](https://en.wikipedia.org/wiki/Electroactive_polymers).
- Яблоков М. Ю. Полимеры для искусственных мускулов. М., 2012. 14 с.
3. Сборник статей [Электронный ресурс]. URL: <http://fastsalttimes.com/sections/technology/584.html>.
4. Chained Iron Microparticles for Directionally Controlled Actuation of Soft Robots / Marissa M. Schmauch, Sumeet R. Mishra, Benjamin A. Evans, Orlin D. Velev, Joseph B. Tracy. ACS Appl. Mater. Interfaces, 2017.

**УДК 621.311.1**

**Б. Б. Давлетов**

студент Орского гуманитарно-технологического института (филиал) ОГУ

**А. С. Левен**

студент Орского гуманитарно-технологического института (филиал) ОГУ

### **МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ КОММЕРЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

В процессе электроснабжения потребителей неизбежно возникают потери электроэнергии. Величина этих потерь оказывает существенное влияние на работу электроэнергетической системы и на стоимость электроэнергии. Принимая во внимание постоянно возрастающую стоимость энергоресурсов, снижение потерь электроэнергии является одной из первостепенных задач для энергоснабжающих организаций. Потери электроэнергии подразделяются на коммерческие и технологические. Технологические потери возникают в процессе передачи электроэнергии, и определенная ее часть рассеивается на активном сопротивлении. Также значительную долю электроэнергии потребляют станции и подстанции на собственные нужды. Полностью минимизировать технологические потери нельзя. Снижение технологических потерь достигается путем модернизации оборудования. Следует учитывать, что такие потери не являются убытками, а входят в стоимость электроэнергии.

Проблема с коммерческими потерями обстоит иначе. Коммерческие потери возникают на рынке электроэнергии, где она используется как товар. Большая часть проблем связана с отсутствием учета потребления электроэнергии. Данный вид потерь рассчитывается путем вычета технологических потерь из всех потерь

электроэнергии. Это сказывается на убытках энергоснабжающих организаций и влечет увеличение стоимости электроэнергии. Минимизация потерь электроэнергии является важной задачей для всех снабжающих организаций. Большую долю потерь занимают коммерческие потери. Совершенствование учета является приоритетным направлением в целях снижения коммерческих потерь электроэнергии. Замена старых приборов учета на более современные дает возможность повысить точность тарификации электроэнергии на 10–20% [1]. Максимальный эффект достигается при исключении человеческого фактора и большой точности, а также одновременности сбора данных. Большинство бытовых потребителей снимает и оплачивает показания своих счетчиков с задержкой до двух-трех недель относительно момента окончания расчетного периода, при этом возникает большая временная погрешность. С целью снижения погрешностей учета электроэнергии энергоснабжающие организации создают на своих объектах автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов. Системы энергоучета позволяют производить учет потребления электроэнергии на объектах жилого, коммерческого и производственного назначения. Системы могут учитывать потребление энергоресурсов на уровне дома, района, города, населенного пункта с едиными диспетчерским и финансовым центрами.

Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) обеспечивает одновременную оценку показаний приборов учета электроэнергии. АСКУЭ необходима для автоматизации торговли электроэнергией. Но стоит заметить, что также АСКУЭ выполняет технические функции контроля за режимами работы электрооборудования. Внедрение системы АСКУЭ положительно сказывается на стоимости электроэнергии и снижении ее потерь. Кроме точного учета потребления электроэнергии, АСКУЭ способствует выявлению случаев хищения и незаконного подключения потребителей к сети. Данная система способна успешно бороться с большинством факторов, способствующих возникновению коммерческих потерь в системах электроснабжения.

### **Библиографический список**

1. *Воротницкий В. Э.* Снижение потерь электроэнергии – важнейший путь энергосбережения в электрических сетях // Энергосбережение. 2014. № 3. С. 62–64.

### **УДК 338.5**

**А. А. Далматова**

магистрант кафедры программно-целевого управления в приборостроении

**В. А. Семенова**

кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

## **ПРАКТИКА ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ НА РОЗНИЧНОМ РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ РФ**

Электроэнергетика является главной составляющей динамичного развития экономики любой страны. С переходом России от плановой к рыночной экономике неизбежно возникла необходимость реформирования всех сфер деятельности экономических взаимоотношений. Реформа электроэнергетики в России началась в 2003 году с принятием Федерального закона 35-ФЗ «Об электроэнергетике» [1]. Направлена она была в первую очередь на усовершенствование и преоб-

разование существующей системы генерации электроэнергии. Принятая реформа повлекла за собой изменение методик и подходов в области ценообразования. В данной статье рассмотрены вопросы методики ценообразования для конечного потребителя.

Согласно реформе, на территории РФ существуют два рынка: розничный и оптовый, в рамках которых осуществляется купля-продажа электроэнергии. Порядок функционирования розничного рынка определен нормативным документом, утвержденным Постановлением Правительства РФ № 442 от 04.05.2012. Согласно этому Постановлению, выделяются следующие категории субъектов:

- гарантирующий поставщик (ГП);
- потребители электрической энергии;
- независимые энергосбытовые компании;
- производители электрической энергии, не имеющие статуса оптового рынка;
- территориальные сетевые организации;
- системный оператор и субъекты оперативно-диспетчерского управления.

ГП представляет собой энергосбытовую компанию, которая заключает договоры с любым лицом в границах зоны его деятельности, что является гарантией электроснабжения потребителя на розничном рынке. Территория РФ поделена на непересекающиеся зоны деятельности ГП. На сегодняшний день в России действует 141 ГП и основная их задача – покупка электроэнергии на оптовом рынке и ее реализация розничным потребителям в своей зоне [5]. Таким образом, для каждого потребителя на территории РФ существует только один ГП.

Независимые энергосбытовые компании (НЭСБ) могут самостоятельно выбирать потребителей и определять условия заключения договора с ними, включая порядок определения цен на электроэнергию. Для получения более высокого удельного потребления в расчете на одного потребителя и, соответственно, получения прибыли в результате своей деятельности НЭСБ стараются заключать договоры с крупными промышленными и добывающими предприятиями.

Территориальные сетевые организации (ТСО) осуществляют услуги по передаче электроэнергии и мощности непосредственно до потребителя. Также ТСО покупают электроэнергию на розничном рынке для компенсации потерь при передаче электроэнергии и на собственные хозяйственные нужды.

Схема взаимодействия субъектов розничного рынка электроэнергии представлена на рис. 1.

Ценообразование на розничном рынке электроэнергии различается в зависимости от тарифной группы потребителя:

- «население» и приравненные к нему группы потребителей приобретают электроэнергию по регулируемым государством ценам (тарифам);
- для «прочих» потребителей (промышленные предприятия и др.) ценообразование зависит от того, в ценовой или в неценовой зоне оптового рынка расположены энергопринимающие устройства потребителя.

Политика ценообразования для «населения» и приравненных к нему группы потребителей достаточно прозрачна и ясна. Регулируемые цены устанавливаются на основании одобренного Правительством РФ прогноза социально-экономического развития РФ на очередной год. Федеральная служба по тарифам РФ (ФСТ РФ) устанавливает минимальные и максимальные уровни регулируемых тарифов на электроэнергию для населения, при этом используется одноставочный тариф, классифицируемый в зависимости от местности и установленного оборудования [7]. Особый интерес представляет процесс ценообразования для «прочих» потребителей.

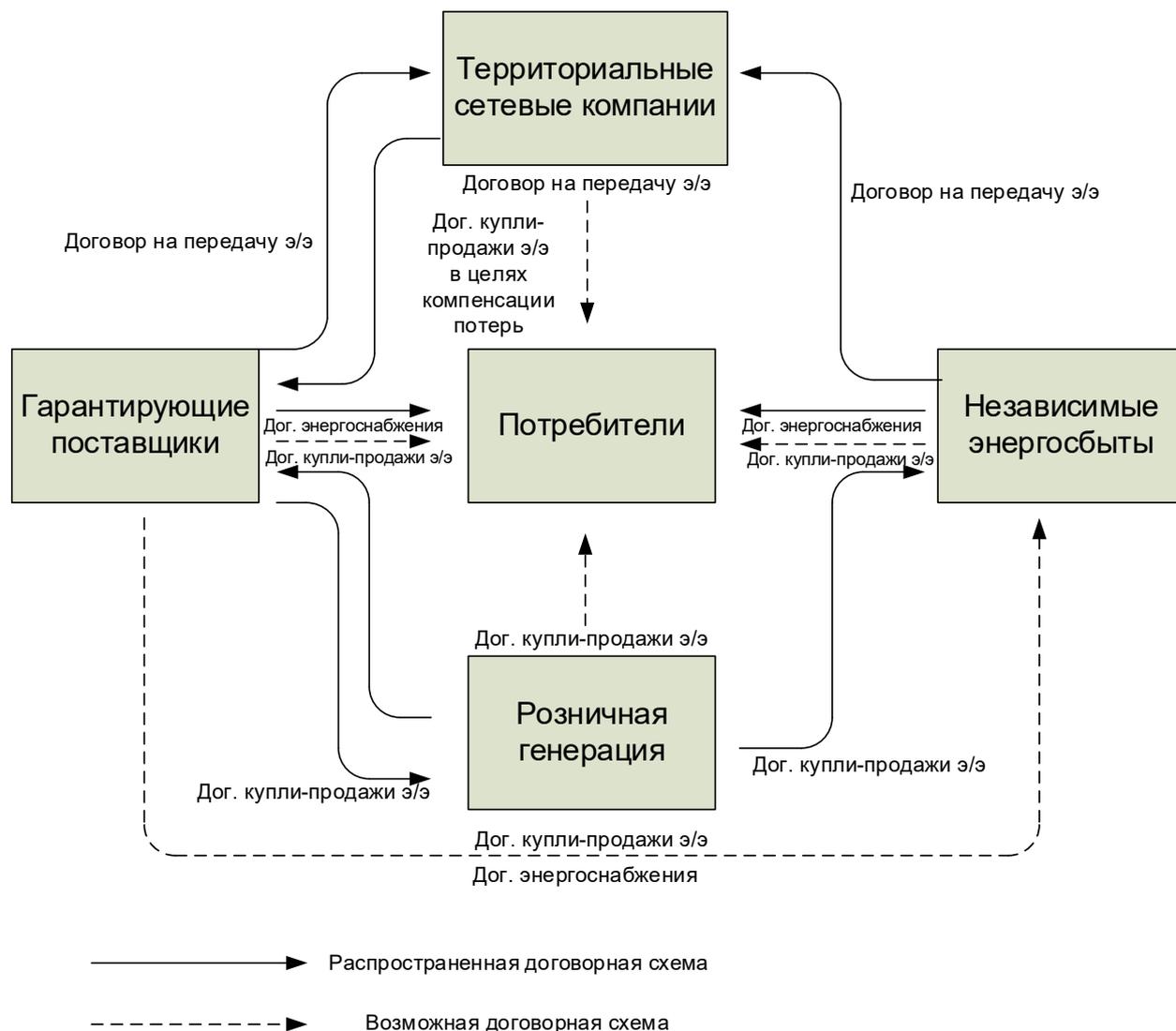


Рис. 1. Взаимодействие субъектов розничного рынка

Территория РФ поделена на две зоны: ценовую и неценовую. Электроэнергия для предприятий, находящихся в неценовой зоне оптового рынка, поставляется по регулируемым ценам. Потребителям, объединенным в ценовые зоны, электроэнергия поставляется по нерегулируемым ценам. При этом цена на электроэнергию меняется каждый месяц и зависит как от колебаний цены на оптовом рынке, так и от базовых составляющих цены, которые потребитель выбирает самостоятельно: ценовой категории, условий почасового планирования потребления и вида тарифа на услуги по передаче электроэнергии.

Нерегулируемая (свободная) цена включает в себя две составляющие: переменную и постоянную за период регулирования. Переменная составляющая определяется конкурентной ценой электроэнергии на оптовом рынке. Доля этой составляющей в конечной цене составляет около 50%. На процесс формирования конечной цены влияют несколько факторов. Во-первых, следует отметить, что в России основными являются ТЭЦ, и работают они на угле и газе. Следовательно, на конечную цену электроэнергии значительное влияние оказывают цены на газ и уголь – их рост или падение приводит к колебаниям цен на электроэнергию. Во-вторых, на цену электроэнергии непосредственно влияет коэффициент полезного действия самой электростанции – чем он выше, тем эффективнее сжигается топливо и тем ниже себестоимость электроэнергии. Учитывая, что подавляющее число электростанций построено в XX веке и модернизации оборудова-

ния не производилось, то и КПД таких электростанций невысок. Только ввод в эксплуатацию новых станций, созданных по современным технологиям, сможет затормозить рост цен на электроэнергию. В-третьих, немаловажным фактором является баланс спроса и предложения. Ценообразование происходит по самой высокой цене, и, чем выше спрос, тем более высокой отметки может достигнуть кривая спроса и предложения. Другими словами, снижение потребления промышленностью или рост предложения электроэнергии оказывают значительное влияние на процесс формирования цен.

Постоянная составляющая включает в себя:

- тарифы на услуги по передаче электроэнергии;
- стоимость услуг инфраструктурных организаций оптового рынка;
- сбытовую надбавку ГП.

Услуги по передаче электроэнергии устанавливаются приказами региональных регулирующих органов соответствующих субъектов РФ, вырученные средства поступают сетевым организациям и доля этой составляющей в конечной цене около 40%. Сбытовая надбавка ГП также устанавливается приказами региональных регулирующих органов, денежные средства поступают ГП и доля этой составляющей в конечной цене варьируется от 2% до 10%. Четвертая составляющая конечной цены на электроэнергию – инфраструктурные платежи – устанавливается федеральными регулирующими органами (доля около 1%). Тариф на передачу и сбытовая надбавка ГП пересматриваются два раза в год: с 1 января по 30 июня и с 1 июля по 31 декабря. Перечисленные составляющие цены имеются в открытом доступе, публикуются ГП и коммерческим оператором оптового рынка.

В каждом субъекте РФ устанавливается своя схема перечисления денежных средств в адрес сетевых компаний, и зависит она от действующей модели тарифного регулирования на услуги по передаче электроэнергии и мощности. В настоящее время существуют две основные модели тарифного регулирования: «котел сверху» и «котел снизу». Применение первой модели подразумевает, что все сбытовые компании оплачивают составляющую цены на услуги по передаче электроэнергии организации «котлодержателю» – региональной сетевой компании. Далее средства распределяются между остальными ТСО региона исходя из тарифов, установленных в рамках тарифного регулирования. В случае применения второй модели сбытовая компания оплачивает составляющую цены на услуги по передаче электроэнергии и мощности той ТСО, к сетям которой подключен конкретный потребитель. Далее нижестоящие ТСО рассчитываются с вышестоящими по утвержденным тарифам. Также на практике допускаются и смешанные модели тарифного регулирования.

На современном этапе законодательно-правовую базу для совершенствования системы ценообразования на электроэнергию составляют постановление Правительства РФ от 29.12.2011 «О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике» (с изменениями на 20.01.2017) и постановление Правительства РФ от 17.05.2016 № 433 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ по вопросам совершенствования порядка ценообразования на территориях, объединенных в неценовые зоны оптового рынка электрической энергии и мощности».

Предельные уровни нерегулируемых цен на розничных рынках рассчитываются по 6 ценовым категориям (ЦК). Согласно последнему постановлению, для потребителей неценовых зон оптового рынка электроэнергии отменена обязательная оплата отклонений фактических объемов потребления электроэнергии от договорных объемов. Вместо этого им предоставляется выбор ценовых категорий

в зависимости от выбранного тарифа на услуги по передаче электрической энергии и имеющегося учета с оплатой собственных отклонений только на добровольной основе. Также из нормативной базы исключается условие об отнесении потребителя к крупному в зависимости от присоединенной мощности [4].

Рассмотрим особенности ценообразования для каждой из ценовых категорий (табл. 1).

Таблица 1

## Особенности ценовых категорий

Ценовая категория	Характеристика
1	Предназначена для всех потребителей, кроме крупных (с мощностью более 670 кВт). Расчет производится за месяц за потребленную электроэнергию по одноставочному тарифу. Средневзвешенная регулируемая цена на электроэнергию рассчитывается ГП на основании параметров ОАО «АТМ»
2	Предназначена для всех потребителей, кроме крупных (с мощностью более 670 кВт). Расчет стоимости электроэнергии производится для каждой зоны суток: день – ночь или полупик – пик – ночь. Для учета электроэнергии необходима установка многотарифного счетчика. Средневзвешенная регулируемая цена определяется как сумма стоимости электроэнергии ОРЭМ в разрезе зон суток (ОАО «АТС») и стоимости электроэнергии розничной генерации. Предпочтительна для предприятий с ночным графиком работы
3	Предназначается для всех потребителей, кроме крупных (с мощностью более 670 кВт). Средневзвешенная регулируемая цена определяется как сумма стоимости электроэнергии и сумма стоимости «генераторной» мощности для каждого часа. Для контроля количества потребленной электроэнергии необходима установка «почасового» счетчика. Предпочтительна для предприятий с легко изменяющимся графиком работы для снижения электропотребления в пиковые часы нагрузки
4	Предназначена для всех потребителей. Средневзвешенная регулируемая цена определяется как сумма стоимости электроэнергии ОРЭМ для каждого часа и стоимости электроэнергии розничной генерации. При расчете учитывается также сумма стоимости «транспортной» мощности. Предпочтительна для предприятий с легко изменяющимся графиком работы для снижения электропотребления в пиковые часы нагрузки
5	Предназначена для всех потребителей, кроме крупных (с мощностью более 670 кВт). Расчет оплаты за электроэнергию определяется как сумма электроэнергии для каждого часа, суммы стоимости отклонений от заявленного плана для каждого часа и суммы стоимости «генераторной» мощности. Категория предполагает ежемесячное почасовое планирование
6	Предназначена для всех потребителей. Необходима установка «почасового» счетчика электроэнергии. Расчет за электроэнергию определяется как сумма стоимости электроэнергии для каждого часа, суммы стоимости отклонения от заявленного плана для каждого часа, суммы стоимости «генераторной» и «транспортной» мощностей. Категория предполагает ежемесячное почасовое планирование

## МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Рассмотрим, как действует выбранная ценовая категория при расчете за потребленную электроэнергию и какую экономию денежных средств она может принести.

Для проведения анализа считаем, что потребитель расположен в Санкт-Петербурге и потребляет в среднем 30000 кВт·ч в месяц, что относится к низкому уровню напряжения. Для расчетов выбрана 1-я ЦК. На энергетическом рынке Санкт-Петербурга действуют 2 ГП: «Петербургская сбытовая компания» и «Русэнергосбыт». Доля АО «Петербургская сбытовая компания» на рынке сбыта электроэнергии в Санкт-Петербурге составляет около 92%, а «Русэнергосбыт», соответственно, около 8% [6]. Поставка электроэнергии осуществляется на основании договора об электроснабжении, то есть сетевая организация обязуется передать электрическую энергию, а потребитель – оплатить ее. Результаты расчетов по затратам компании при оплате электроэнергии для различных ЦК и разных ГП представлены в табл. 2 [6,8].

Таблица 2

Расчет затрат на электроэнергию для разных ЦК

Показатель	Ценовая категория						
	1	2 (пик – полупик – ночь)	2 (день – ночь)	3	4	5	6
<b>ГП – АО «Петербургская сбытовая компания»</b>							
Расчетный тариф за 1кВт·ч	5,67	6,22	6,18	5,51	4,62	5,49	4,59
Затраты на оплату электроэнергии без учета НДС, руб.	<b>156383</b>	170517	170363	154602	121678	153917	120993
Стоимость розничной генерации электроэнергии без НДС, руб.	–	–	–	21287	21287	21287	21287
Стоимость транспортной мощности без НДС, руб.	–	–	–	–	48829	–	48829
Электроэнергия без НДС, руб.	156383	170517	170363	133315	51563	132630	50878
<b>Экономия, руб.</b>	<b>0</b>	<b>+14134</b>	<b>+13980</b>	<b>–1781</b>	<b>–34705</b>	<b>–2466</b>	<b>–35990</b>
<b>ГП – ООО «Русэнергосбыт»</b>							
Расчетный тариф за 1кВт·ч	5,28	6,27	6,24	5,52	4,62	5,49	4,59
Затраты на оплату электроэнергии без учета НДС, руб.	<b>150498</b>	171776	170923	154572	121648	153880	120956
Стоимость розничной генерации электроэнергии без НДС, руб.	–	–	–	20531	20531	20531	20531
Стоимость транспортной мощности без НДС, руб.	–	–	–	–	48829	–	48829
Электроэнергия без учета НДС, руб.*	150498	171776	170923	134041	52288	133349	51596
<b>Экономия, руб.</b>	<b>0</b>	<b>+21278</b>	<b>+20425</b>	<b>+4074</b>	<b>–28850</b>	<b>+3382</b>	<b>–29542</b>

При расчете затрат использовались текущие расценки ГП на электроэнергию по состоянию на 01.02.2017, представленные в табл. 3 [6, 8].

Текущие цены приобретения электроэнергии на оптовом рынке ГП

Гарантирующий поставщик	Цена э/э на ОРЭМ	Цена мощности	Сбытовая надбавка, %			Инфр. платежи
	руб/МВт·ч	руб/МВт·ч	<150 кВт	150–670 кВт	670 кВт –10 МВт	руб/МВт·ч
АО «Петербургская сбытовая компания»	1117,04	668116,04	7,175	6,654	4,527	3,467
ООО «Русэнергосбыт»	1136,41	653033,98	7,194	6,611	4,505	3,364

Как выбрать ГП, с экономической точки зрения приносящего максимальную экономию? Результаты расчетов показали, что наиболее предпочтительным с этой точки зрения является поставщик АО «Петроэлектросбыт», так как при переходе компании на любую ценовую категорию с 3 по 6 она гарантированно получает экономию денежных средств. Вполне очевиден и вывод о том, что экономически целесообразной является 6 ЦК – при покупке электроэнергии потребителем у двух рассматриваемых ГП экономия для него примерно одинакова и составляет около 23% в месяц. Однако следует помнить, что для 6 ЦК необходимо наличие службы главного энергетика для корректного составления и последующего исполнения заявленных планов потребления, и не всегда ее наличие будет экономически целесообразно для компании.

Наибольший интерес представляет сравнение затрат на оплату электроэнергии с использованием 3 и 4 ЦК. Для каждой ценовой категории ГП официально публикует ставку для почасовых объемов покупки электроэнергии и ставку за мощность, приобретенную потребителем. Стоимость розничной генерации электроэнергии для ценовых категорий одинакова, но при этом для 4-й ценовой категории дополняется транспортной мощности, ставка которой также публикуется ГП. Результаты расчетов показали, что затраты на оплату электроэнергии для 3-й ценовой категории больше, чем для 4-й ценовой категории. При этом переход с 1-й на 4-ю ценовую категорию приносит достаточно существенную экономию денежных средств по сравнению с переходом на 3-ю ценовую категорию.

Следует отметить также, что если в настоящий момент потребитель рассчитывается за потребленную электроэнергию по 1-й, 2-й или 3-й ценовым категориям, то в расчетах используется одноставочный тариф на услуги по передаче электроэнергии и для перехода на расчеты по 4-й ценовой категории необходимо сменить тариф на двухставочный. Такой переход может быть осуществлен только один раз в году, после публикации тарифов на электроэнергию.

В отношении передачи электроэнергии тариф дифференцируется по 4 уровням напряжения: ВН – высокое напряжение; СН1 – среднее напряжение 1; СН2 – среднее напряжение 2 и НН – низкое напряжение.

При выборе оптимальной ценовой категории необходимо проводить комплексный анализ следующих критериев:

- анализ климатических условий или сезонность потребления. Если потребление электроэнергии в летний и зимний периоды носит неравномерный характер, то необходимо делать расчет ценовых категорий для каждого сезона, суммировать показатели и на их основании выбирать ту ценовую категорию, которая принесет наибольшую экономическую выгоду;

- анализ суточного профиля потребления электроэнергии. При преобладании ночного графика работы целесообразнее выбрать вторую ЦК;
- для предприятий с максимальной мощностью более 670 кВт можно делать выбор только между 3–6 ЦК. При выборе 5–6 ЦК необходимо оценить возможность почасового планирования;
- анализ затрат за замену приборов учета.

### Библиографический список

1. Об электроэнергетике [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 26.03.2003 г. № 35-ФЗ (ред. от 20.01.2017 г.). Доступ из правовой и нормативно-технической документации.
2. О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике (с изменениями на 20.01.2017 г) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902323702>.
3. [Электронный ресурс]. URL: <http://encosts.ru/>.
4. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.np-sr.ru/market/retail/ceno/>.
5. Официальный сайт компании НПФ «Энергосоюз» [Электронный ресурс]. URL: <http://energybase.ru/guaranteed-supplier>.
6. Официальный сайт АО «Петербургская сбытовая компания» [Электронный ресурс]. URL: <http://pesc-market.ru/about>.
7. Официальный сайт ассоциации «НП Совет рынка» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.np-sr.ru/>.
8. Официальный сайт АО «Русэнергосбыт» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ruses.ru/energy-market/retail>.
9. Электроэнергетика России: проблемы выбора модели развития: аналит. докл. к XV междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 1–4 апр. 2014 г. нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2014.

### УДК 681.518.3

**Р. Б. Ибраев, П. В. Поваляев**

студенты 2-го курса Института кибернетики

**А. С. Фадеев**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

## СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ «УМНОЙ» БЫТОВОЙ АППАРАТУРОЙ

В статье приведено описание системы, состоящей из автоматизированной бытовой аппаратуры и пульта управления, а также вариант связи между ними.

### Введение

Практически каждый современный человек ежедневно в своем доме использует бытовую аппаратуру, такую как чайник, плита, холодильник и прочее. И с каждым днем данная аппаратура постоянно модернизируется, улучшается и становится все более удобной и универсальной при пользовании, делая жизнь человека комфортней.

Разработка «умного» пульта, который бы объединял все устройства в доме в одну систему для полноценного управления, очень актуальна, потому что предоставляет пользователю легкость в управлении бытовой техникой при нахождении дома и удаленно, а также экономит время.

### **«Умные» системы управления бытовой аппаратурой**

У чайника Redmond SkyKettle M170S с управлением через Bluetooth приложение под названием Ready For Sky доступно для загрузки из Play Market или Apple Store. После установки пользователю будет предложено завести единый аккаунт для всех устройств (Redmond выпустил целую серию продуктов с поддержкой Bluetooth, в число которых входят мультиварка, кофемашина, тв-приставка, напольные и кухонные весы, фитнес-трекер). Затем будет предложено «привязать» чайник к приложению (для этого нужно нажать одну из кнопок на устройстве примерно на 10 секунд). После этого обнаруженный чайник будет добавлен в список устройств. При желании ему можно присвоить произвольное имя. На этом процесс настройки закончен: устройством можно пользоваться. На данный момент «сырое» и недостаточно продуманное приложение умеет лишь «запускать» чайник дистанционно с использованием Bluetooth, а не Wi-Fi, что ограничивает зону действия размерами одной комнаты [1].

У «умного» Wi-Fi-пульта Xiaomi для управления бытовой техникой возле разъема питания имеется незаметная кнопка Reset для сброса настроек. Метровый кабель может не подойти для удобного размещения устройства, так что вам может понадобиться кабель подлиннее. После подачи питания устройство начинает воспринимать команды через 20 секунд. После установки программы Mi Home она подключается к локальной сети Wi-Fi (только 2,4 ГГц). В программе можно выбрать английский язык интерфейса. Устройство интересное, но пока что пользоваться им сложно, в особенности интерфейсом на иностранном языке [2].

Несмотря на широкое распространение миниатюрных систем автоматизации и набирающего популярность «Интернета вещей», предлагаемые системы управления бытовой аппаратурой имеют весьма ограниченный функционал и стоимость, в разы превышающую стоимость неавтоматизированных аналогов аппаратуры.

Цель данного проекта – создать собственный пульт и адаптировать для него бытовую аппаратуру, которая была бы полностью совместима со всей системой.

### **Описание разработки**

#### 1. Определение функционала пульта.

1.1. Выбор «умного» прибора для управления с помощью созданного меню на дисплее пульта.

1.2. Включение/отключение прибора.

1.3. Поддержка управления основными функциями прибора (поддержка температуры, смена режимов, опрос состояния).

#### 2. Определение функционала «умного» бытового прибора.

В качестве управляемого прибора выбран чайник. Данный прибор должен выполнять следующие функции:

2.1. Включение/отключение с пульта.

2.2. Установка необходимой температуры воды.

2.3. Отслеживание объема воды в чайнике.

2.4. Предупреждение и защита от включения при малом объеме воды.

#### 3. Подбор комплектующих.

3.1. Для пульта:

- 3.1.1. Микроконтроллер Arduino.
- 3.1.2. Дисплей.
- 3.1.3. Джойстик и кнопка.
- 3.1.4. Инфракрасный передатчик.
- 3.1.5. Корпус.
- 3.2. Для чайника:
  - 3.2.1. Чайник.
  - 3.2.2. Микроконтроллер Arduino.
  - 3.2.3. Терморезистор.
  - 3.2.4. Датчик для контроля уровня воды.
  - 3.2.5. Одноканальное реле.

4. Проектирование структурной схемы пульта и «умного» бытового прибора.

На рис. 1. изображена структурная схема пульта: одна кнопка для подтверждения действия, два реостата, которые фактически являются джойстиком, микроконтроллер Arduino, через который принимая сигнал, он отображает информацию на дисплее и передает данные по ИК-передатчику.

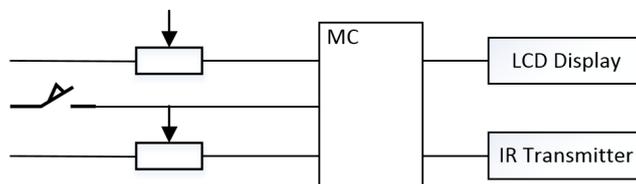


Рис. 1. Структурная схема пульта

На рис. 2 изображена структурная схема автоматизированного чайника. На схеме указаны терморезистор, реле, два светодиода на выходе, а также ТК-приемник.

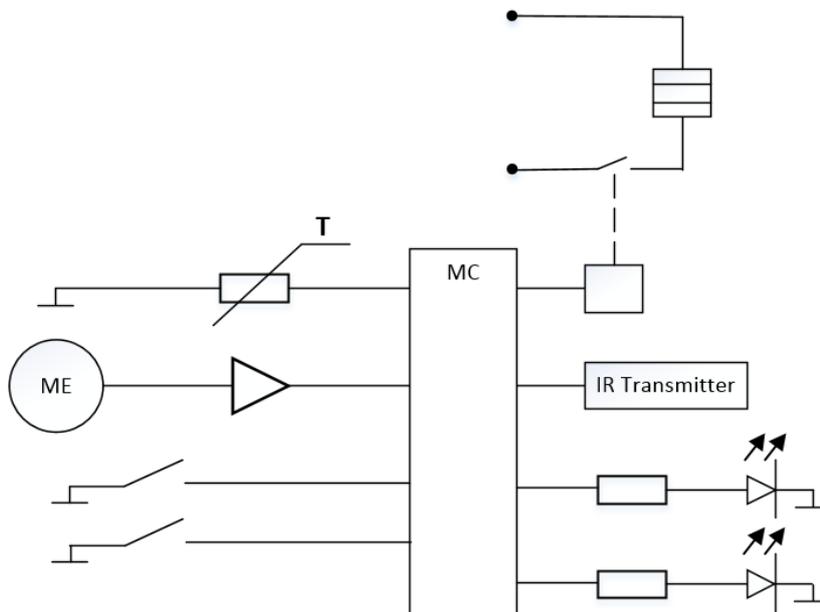


Рис. 2. Сборка пульта

1. Соединение дисплея, джойстика, ИК-передатчика.

Главным связующим звеном в схеме является микроконтроллер. К нему по интерфейсу I2C подключается дисплей, имеющий 4 строки по 20 символьных мест. Через Breadboard подключаются джойстик и ИК-модуль с нужными резисторами.



Рис. 3. Дисплей пульта управления

## 2. Код меню пульта.

Для написания программы работы пульта использовались библиотеки и компоненты:

```
#include <Wire.h> // Использование библиотеки для связи монитором
#include <IRremote.h> // Использование библиотеки для ИК-передачи
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Использование библиотеки для дисплея
#define axis_X 0 // Ось X подключена к Analog 0
#define axis_Y 1 // Ось Y подключена к Analog 1
#define axis_Z 8 // Ось Z (кнопка джойстика) подключена к Digital 2
```

Далее прорабатывались пункты меню с выбором нужного прибора и его управлением, а именно: был написан код для перемещения курсора по строчкам с приборами в меню дисплея.

## 3. Установление взаимодействия с джойстиком и ИК-приемником.

При манипулировании Y-координаты можно выбрать нужный прибор, координатой X зайти в его функции, кнопкой Z выбрать установку. После этого определенный код через команду IRsend передает данные приемнику.

Рассматривая взаимодействие с чайником, надо заметить, что кнопку Z планировалось использовать для включения и выключения чайника. Для этого было написано два фрагмента кода: один позволял подать сигнал включения и на дисплее отобразить "On" напротив прибора, другой – выключить, а именно отправить сигнал на выключение и отобразить, соответственно, "Off". Это удалось реализовать с различными показателями считывания «1» при delay=100.

## Сборка «умного» прибора

### 1. Градуировка терморезистора.

Градуировка терморезистора производилась с помощью нескольких измерений постоянных температур, таких как температура тела и температура закипания воды в чайнике. При воздействии на терморезистор данных температур было измерено сопротивление терморезистора. После проведенных измерений был построен график зависимости сопротивления от температуры (рис. 3) и по формуле (1) были рассчитаны коэффициенты для регистрации температуры терморезистором.

Формулы для расчетов коэффициентов для измерения температуры:

$$t = k \cdot R + b . \quad (1)$$

Расчет коэффициентов:

$$36 = k \cdot 118.03 + b ,$$

$$100 = k \cdot 143 + b .$$

Решив систему уравнений, получим:

$$b = -251,55,$$

$$k = 2,44.$$

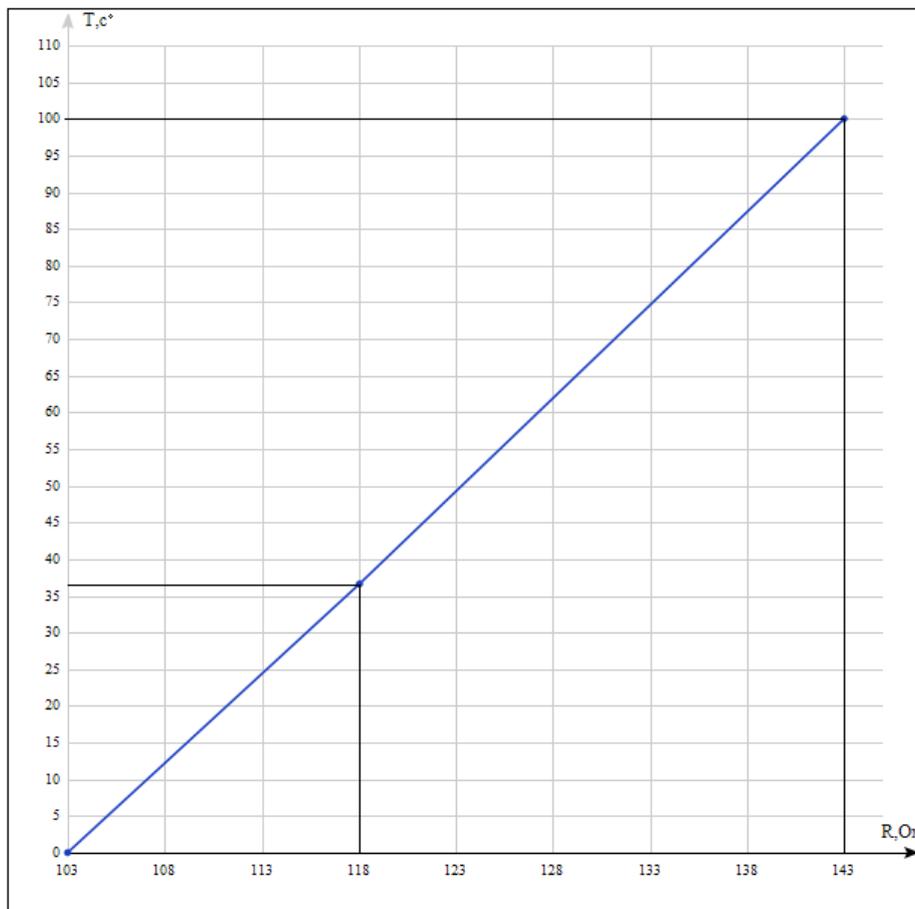


Рис. 4. График зависимости сопротивления от температуры

## 2. Создание датчика контроля уровня воды.

Для создания датчика контроля уровня воды был использован фоторезистор, в котором мы заменили датчик света на два оголенных провода, которые замеряют сопротивление воды при погружении их в воду. С помощью данного датчика микроконтроллер не только замеряет уровень воды, но и предотвращает включение чайника, уровень воды которого меньше минимума.

## 3. Включение в цепь одноканального реле.

Для включения чайника с пульта мы используем одноканальное реле, включение которого контролируется с помощью двух условий, прописанных в коде.

## 4. Написание кода для связи компонентов.

Был написан код, который объединил все компоненты определенными условиями, с помощью этого кода мы контролируем включение и выключение реле, если выполнены определенные условия.

## Настройка ИК-связи

### 1. Настройка приемника.

Для создания симплекс-канала была использована библиотека IRremote для взаимодействия ИК-передатчика с приемником. В процессе отладки ИК-канала использовался пульт дистанционного управления бытового телевизора, для того чтобы понять принцип его работы. Потом приемник был подключен к прибору.

## 2. Настройка передатчика.

Для передачи сигнала были произведены попытки подключения ИК-передатчика без использования помехоустойчивого кодирования, но в таком режиме приемник ловил случайные сигналы. Тогда, используя процедуры библиотеки, подключили функции кодирования передаваемого сигнала. После чего была проведенная серия испытаний, которая показала устойчивость прима без ложных срабатываний.

## 3. Передача данных.

Заключительным этапом настройки было установление соответствия событиям системы определенных сигналов канала передачи.

### Заключение

В результате работы создан прототип пульта, который способен управлять работой определенного бытового прибора – электрического чайника, автоматизацией самого чайника с использованием датчиков и реализацией связи через ИК-сигнал.

Для продолжения работы планируется переход на приложение в смартфоне, что упростит управление приборами, а также позволит использовать для передачи данных каналы Bluetooth или Wi-Fi.

### Библиографический список

1. Чайник Redmond SkyKettle RK-M170S с управлением через Bluetooth [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ixbt.com/home/redmond-rk-m170s.shtml> (дата обращения: 05.10.16).

2. Обзор «умного» Wi-Fi-пульта Xiaomi для управления бытовой техникой [Электронный ресурс]. URL: <http://proxiaomi.ru/obzory/item/1186-obzor-umnogo-wi-fi-pulta-xiaomi-dlya-upravleniya-bytovoy-tehnikoy/> (дата обращения: 05.10.16).

3. Урок 4. Подключение LCD1602 по I2C к Arduino [Электронный ресурс]. URL: <https://lesson.iarduino.ru/page/urok-4-podklyuchenie-lcd1602-po-i2c-k-arduino/> (дата обращения: 10.10.16).

4. Arduino KiT – двухкоординатный джойстик [Электронный ресурс]. URL: <http://arduino-kit.ru/catalog/id/dvuhkoordinatnyiy-djoystik> (дата обращения: 11.10.16).

5. Подключение ИК(IR) приемника TSOP к Arduino. Библиотека IRremote [Электронный ресурс]. URL: [http://bigbarrel.ru/arduino\\_tsop\\_irremote/](http://bigbarrel.ru/arduino_tsop_irremote/) (дата обращения: 05.12.16).

6. Термистор и Arduino [Электронный ресурс]. URL: [Arduino-diy.com. http://arduino-diy.com/arduino-thermistor](http://arduino-diy.com/arduino-thermistor) (дата обращения: 05.12.16).

7. Мучаем Bluetooth-модули. Ч. 1: HC-03, HC-04, HC-05, HC-06 [Электронный ресурс]. URL: [http://lobotryasy.net/learning\\_bluetooth\\_part\\_1.php](http://lobotryasy.net/learning_bluetooth_part_1.php) (дата обращения: 10.01.17).

### УДК 681.5

**А. А. Ильин**

студент кафедры управления в технических системах гр. 3610М

**А. А. Ефимов**

доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ С НАСТРАИВАЕМОЙ МОДЕЛЬЮ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Разработка адаптивных систем автоматического управления привлекала исследователей задолго до создания предпосылок для их широкого внедрения. Различные структуры и алгоритмы адаптивных систем предлагались в общих

чертах без конкретизации принципов действия отдельных блоков. При классификации адаптивных систем в разной литературе приоритет отдавался разным критериям, что привело к их существенному несовпадению. Современный уровень техники позволяет реализовать сколь угодно сложные алгоритмы управления почти без удорожания системы в целом за счет применения цифровых регуляторов на основе микропроцессоров. Это требует разработки последовательной классификации различных видов адаптивных систем, наполненной конкретными схемами их реализации с наиболее полной детализацией основных блоков и разъяснением их принципов действия. Для различных вариаций применений необходим анализ их относительных преимуществ и недостатков.

Необходимость в использовании адаптивных систем возникает в связи с усложнением решаемых задач, отсутствием практической возможности подробного изучения процессов в управляемых объектах.

Примерами таких объектов могут быть многокомпонентные технологические процессы химической продукции, высокоскоростные летательные аппараты (ракеты) и т. д. – то есть те объекты, где априорные данные о характеристиках или уравнениях, описывающих все реакции, получить невозможно, слишком широкий разброс параметров.

**Адаптивное управление** – совокупность методов теории управления, позволяющих синтезировать системы управления, которые имеют возможность изменять параметры регулятора или структуру регулятора в зависимости от изменения параметров объекта управления или внешних возмущений, действующих на объект управления. Подобные системы управления называются адаптивными. Адаптивное управление широко используется во многих приложениях теории управления.

Поскольку адаптивные системы широко используют рабочую информацию для анализа динамического состояния системы управления и организации контролируемых изменений свойств, параметров, управляющих воздействий и структуры системы управления, то, в зависимости от способов реализации таких контролируемых изменений в процессе нормальной эксплуатации системы, можно провести следующую классификацию адаптивных систем: самонастраивающиеся системы, системы с адаптацией в особых фазовых состояниях и обучающиеся системы.

Самонастраивающиеся системы (СНС) характеризуются наличием специальных контуров самонастройки, с помощью которых оцениваются динамические и статические свойства системы и формируются такие контролируемые воздействия, что система самопроизвольно приближается к определенному эталону, часто задаваемому математически в виде критерия качества функционирования. В процессе работы системы значение функционала качества изменяется, и задача контура самонастройки сводится к обеспечению экстремального (минимального или максимального) значения критерия. Нахождение и поддержание экстремального значения критерия качества управления может производиться или с помощью пробных отклонений системы, или путем аналитического определения условий экстремума. В зависимости от указанных способов нахождения экстремума самонастраивающиеся системы подразделяют на поисковые и беспоисковые.

Системы с адаптацией в особых фазовых состояниях используют особые режимы или свойства нелинейных систем, например режимы автоколебаний, скользящие режимы для организации контролируемых изменений динамических свойств системы управления.

Специально организованные особые режимы в таких системах либо служат дополнительным источником рабочей информации об изменяющихся условиях

функционирования системы, либо наделяют систему управления новыми свойствами, за счет которых динамические характеристики управляемого процесса поддерживаются в желаемых пределах, независимо от характера возникающих при функционировании изменений. Эти системы можно подразделить на релейные автоколебательные системы и адаптивные системы с переменной структурой.

Обучающиеся системы управления характеризуются наличием специальных процессов обучения, которые заключаются в постепенном закаливании, запоминании и анализе информации о поведении системы и изменении законов функционирования в зависимости от приобретаемого опыта. К процессу обучения приходится прибегать тогда, когда не только мал объем априорных сведений об объекте, но и отсутствует возможность установления детальных причинно-следственных связей в структуре самой системы из-за ее сложности.

Накопление и обобщение информации в процессе обучения можно осуществлять за счет внесения «эталонного опыта» в систему извне, либо путем формирования такого опыта внутри системы. Например, в первом случае обучаемой системе предъявляют последовательность ситуаций, образов или режимов, которые имеют заранее известные характеристики и различаются по принадлежности определенным классам. Поведение системы в ответ на такую обучающую последовательность ситуаций формируют на основе принципа «поощрение – наказание», то есть правильная реакция системы на предъявленную ситуацию запоминается и используется для организации контролируемых изменений динамических свойств системы управления. В зависимости от способов накопления опыта указанные системы разделяют на обучающиеся с поощрением и обучающиеся без поощрения (самообучающиеся) системы.

### Применение

Применяется для управления нелинейной системой, или системой с переменными параметрами. К примерам таких систем относят, например, асинхронные машины, транспортные средства на магнитной подушке, магнитные подшипники и т. п. Среди механических систем можно назвать инверсный маятник, подъемно-транспортные машины, роботы, шагающие машины, подводные аппараты, самолеты, ракеты, многие виды управляемого высокоточного оружия и т. п.

Автоматическая настройка стандартных (П, ПИ и ПИД) регуляторов – в настоящее время наиболее широкая область применения методов адаптации. Основные причины этого состоят в следующем: во-первых, такие регуляторы достаточно просты; во-вторых, они используются при управлении различными технологическими процессами в огромных количествах; в-третьих, время их разработки и внедрения относительно мало.

Другая причина повышенного практического интереса к методам адаптивного управления это стремление справиться с изменениями динамики объекта и возмущений в процессе эксплуатации. Типичные примеры – изменения из-за неизмеряемых вариаций свойств сырья, износа механических систем, засорения теплообменников и т. п. В этих случаях возможно как применение стандартных самонастраивающихся регуляторов, так и построение самоорганизующихся управляющих устройств с эталонной моделью. Очень широко методы адаптации применяются в измерительных устройствах, а также в устройствах оценивания и фильтрации, когда имеются неопределенности внешних возмущений.

В промышленности, кроме стандартных регуляторов, можно отметить специализированные средства автоматической настройки с функциями самоорганизации, которыми временно заменяется обычный регулятор объекта. Далее производится автоматическая настройка системы (определение параметров регулято-

ра) и затем устанавливается постоянный регулятор с уже имеющимися на нем новыми параметрами настройки.

**Структура самонастраивающейся системы.** В зависимости от способа достижения цели управления СНС подразделяются на два больших класса: беспойсковые (аналитические) и поисковые СНС. Как поисковые, так и аналитические (беспойсковые) СНС, являясь многоконтурными системами автоматического управления, имеют помимо основного замкнутого контура еще и замкнутый или разомкнутый контур самонастройки. Аналитическими СНС называют системы, в которых целенаправленные изменения свойств регулятора осуществляются в результате аналитического определения условий экстремума величины, характеризующей критерий качества (оптимальности) управления.

Аналитические СНС подразделяются на три вида:

1. Системы, самонастраивающиеся по входным (внешним) и выходным координатам.

2. Системы, самонастраивающиеся по динамическим характеристикам (частотным, временным) основного контура системы или объекта управления.

3. Системы с моделью. Принцип действия аналитических СНС основан на коррекции динамических свойств системы на основе вычислений. При этом обычно статическая рабочая точка не представляет интереса.

Аналитические СНС не требуют времени на поиск, однако они требуют гораздо больше априорной (исходной) информации, чем поисковые СНС, и, как следствие, более сложны при практической реализации.

Функциональная схема аналитической СНС представлена на рис. 1.

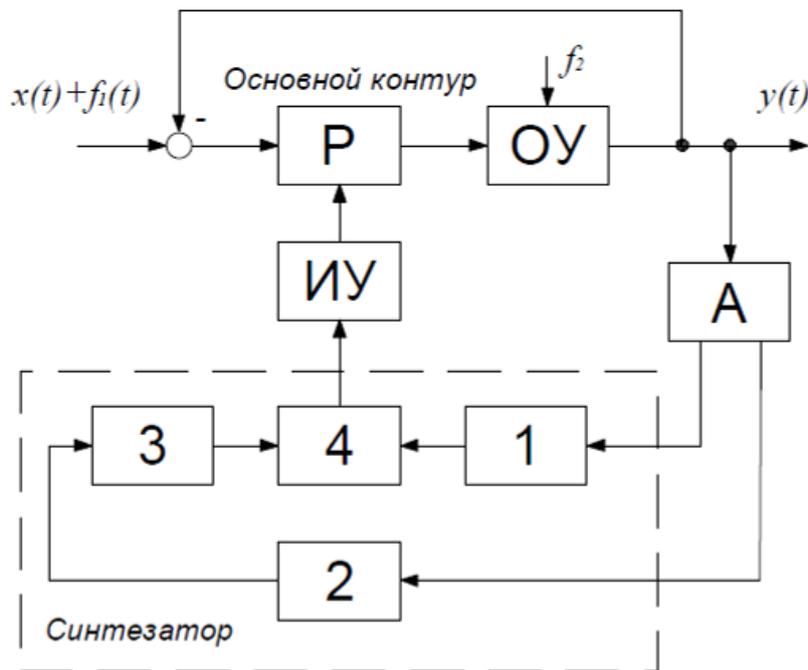


Рис. 1. Функциональная схема простейшей беспойсковой (аналитической) самонастраивающейся системы

В основе всей системы лежит исходная система, состоящая из регулятора Р, объекта управления ОУ и главной обратной связи.

Контур настройки включает анализатор А, синтезатор (блоки 1, 2, 3 и 4) и исполнительное устройство ИУ. Анализатор представляет собой устройство, предназначенное для определения динамических характеристик системы и, возможно,

входных сигналов  $1, 2, x, f, f$ . Анализатор может использоваться для определения характеристик всей замкнутой системы или только характеристик объекта управления. Кроме того, этот блок может оценивать помехи  $1, f$ , полезный сигнал  $x$  и возмущающие воздействия  $2, f$ .

Синтезатор – это устройство, предназначенное для определения на основе заданного критерия оптимальности требуемых настроек, параметров или структуры регулятора. В устройстве  $1$  определяется текущее значение критерия качества (оптимальности)  $\phi$ . С помощью устройства  $2$  вычисляется требуемое значение критерия оптимальности заданной  $\phi$ , а в устройстве  $3$  происходит измерение заданной  $\phi$ . В случае СНС с моделью устройства  $2$  и  $3$  представляют собой модель-эталон объекта или производственного процесса. Устройство  $4$  измеряет рассогласование  $\Delta\phi = \phi - \phi_{\text{зад}}$ .

Исполнительное устройство ИУ на основании информации о рассогласовании  $\Delta\phi$  и текущей информации, получаемой из анализатора, воздействует на изменяемую часть регулятора  $P$  путем перестройки его параметров, либо путем выработки дополнительного управляющего сигнала, либо путем изменения структуры (а может быть, одновременно и параметров) регулятора. Для возбуждения аналитических СНС в целях идентификации могут использоваться естественные управляющие или возмущающие сигналы либо, что менее желательно, специально генерируемые пробные сигналы. Поисковыми СНС называют системы, в которых контролируемые изменения свойств управляющей системы производятся в результате поиска условий экстремума. Поисковые СНС не требуют такой полноты информации, как беспойсковые СМС, в частности, они не требуют математического описания объекта, но нуждаются в затрате времени на поиск.

Наиболее характерными представителями поисковых СНС служат системы экстремального регулирования (СЭР), или, как их иногда называют, системы автоматической оптимизации, целью управления которых является статическая оптимизация, то есть поиск экстремума функции, представляющей собой статическую характеристику объекта, с последующим сохранением режима работы объекта в окрестности экстремума. Особенностью СЭР является то, что статическая характеристика объекта имеет экстремум при некоторых заранее не известных значениях настройки регулятора, причем экстремальная характеристика может быть естественной (соответствовать самому объекту) или же образованной искусственно в вычислительном устройстве с использованием выходных сигналов системы. Одним из примеров объектов, обладающих естественной экстремальной характеристикой, в частности, могут служить процессы сверления или бурения, при которых в данных (вообще говоря, изменяющихся) условиях наибольшей скорости сверления (или бурения) соответствует совершенно определенная оптимальная величина усилия на сверле или долоте. Рабочей информацией в СЭР являются отклонения исходной величины от экстремального значения, и, таким образом, в этом подклассе СНС нет необходимости в этапе идентификации с целью определения динамических характеристик системы. Функциональная схема СЭР представлена на рис. 2.

Основу СЭР составляет исходная система, состоящая из объекта управления ОУ, регулятора  $P$  и главной обратной связи. Контур оптимизации включает вычислительное устройство ВУ, предназначенное для определения критерия качества  $\phi$ , устройство экстремального поиска УЭП и исполнительное устройство ИУ. С помощью УЭП и ИУ в систему вводятся искусственные возмущения (пробные сигналы) и определяется реакция системы на эти возмущения путем контроля происходящих при этом изменений показателя оптимальности.

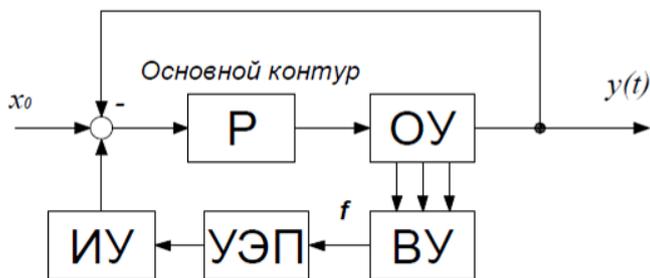


Рис. 2. Функциональная схема простейшей поисковой самонастраивающейся системы

### Библиографический список

1. [Электронный ресурс]. URL: [http://toe.umi.ru/spec\\_al\\_n\\_st\\_5\\_05070104\\_mon-tazh\\_ekspluatac\\_ya\\_elektroustatkuvannya\\_p\\_dpri\\_mstv\\_civ\\_l\\_nih\\_sporud/4\\_kurs/sistemi\\_keruvannya\\_elektroprivod\\_v/osnovnaya\\_literatura/konspekt\\_lekcij\\_sistemy\\_upravleniya\\_elektroprivodami/](http://toe.umi.ru/spec_al_n_st_5_05070104_mon-tazh_ekspluatac_ya_elektroustatkuvannya_p_dpri_mstv_civ_l_nih_sporud/4_kurs/sistemi_keruvannya_elektroprivod_v/osnovnaya_literatura/konspekt_lekcij_sistemy_upravleniya_elektroprivodami/)
2. [Электронный ресурс]. URL: [http://alnam.ru/book\\_ads.php?id=77](http://alnam.ru/book_ads.php?id=77)
3. [Электронный ресурс]. URL: <http://reftrend.ru/320676.html>
4. [Электронный ресурс]. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/%C0%E4%E0%EF%F2%E8%E2%ED%EE%E5\\_%F3%EF%F0%E0%E2%EB%E5%ED%E8%E5.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%C0%E4%E0%EF%F2%E8%E2%ED%EE%E5_%F3%EF%F0%E0%E2%EB%E5%ED%E8%E5.)
5. Кузюков Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение, 1976. 184 с.
6. Чураков Е. П. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Энергоатомиздат, 1987. 256 с.
7. Якубович В. А. Фомин В. Н., Фрадков А. Л. Адаптивное управление динамическими объектами. М.: Наука, 1981. 448 с.
8. Антонов В. Н., Пришвин А. М., Терехов В. А., Янчевский А. Э. Адаптивные системы автоматического управления / Под ред. В. Б. Яковлева. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. 204 с.

УДК 621.824

**Д. О. Калюжный**

магистрант кафедры управления в технических системах

**И. А. Салова**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ МУФТ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Магнитные муфты широко применяются в циркуляционных насосных системах для перекачивания экологически опасных и агрессивных жидкостей в химической, нефте- и газоперерабатывающей, пищевой и других отраслях промышленности. Кроме того, они могут использоваться как предохранительные, поскольку разрыв магнитной связи не ведет к поломке оборудования. Магнитная муфта предназначена для передачи крутящего момента с ведущего вала на ведомый без механического контакта за счет взаимодействия магнитных полей. Магнитное поле создается постоянными магнитами (NdFeB и SmCo), установленными в ведущей и ведомой полумуфтах. Защитный экран, находящийся между полумуфтами, обеспечивает герметичность перекачиваемого продукта [1].

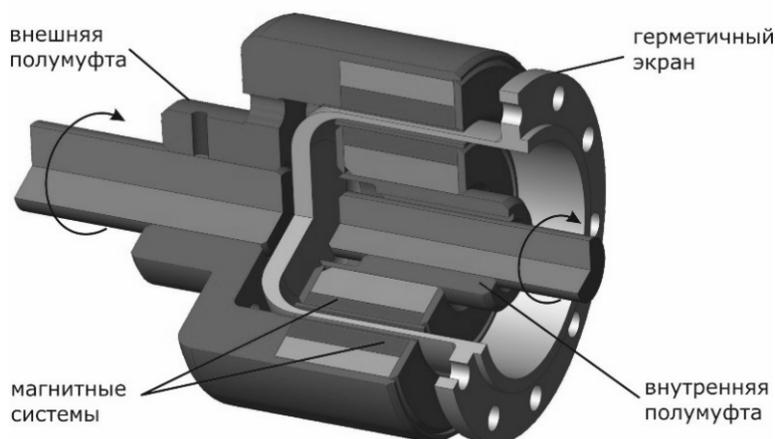


Рис. 1. Схема магнитной муфты

На рис. 1 представлена схема магнитной муфты.

Поперечная геометрия радиальных магнитных муфт может иметь различный вид.

Представляет интерес изобретение магнитной муфты [2], ее поперечная геометрия приведена на рис. 2, а. На рис. 2, б показана муфта, в которой используется то же количество магнитов, что и на рис. 2, а, но магниты расположены равномерно по окружности. На рис. 2, в показана магнитная муфта с удвоенным количеством магнитов, равномерно расположенных по окружности. На всех трех рисунках диаметральные размеры и размеры магнитов одинаковы.

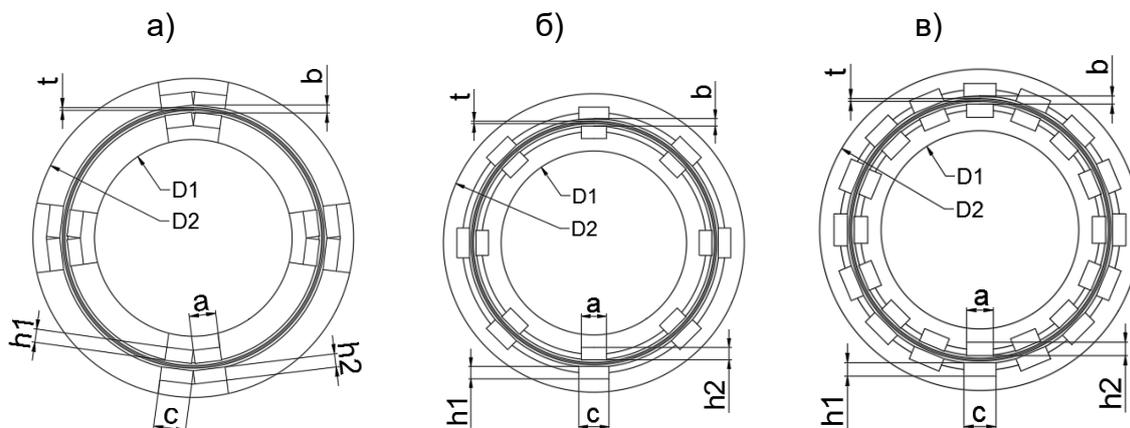


Рис. 2. Поперечные геометрии магнитных муфт:  
а) по патенту [2]; б) с 8 магнитами; в) с 16 магнитами

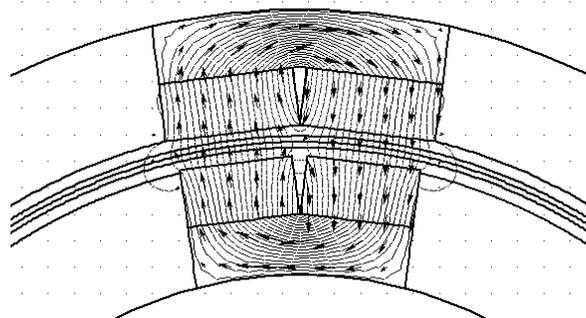
На рис. 2 приняты следующие обозначения:  $t$  – толщина немагнитного экрана;  $b$  – величина полного немагнитного зазора;  $h_1$  – высота магнитов ведомой полумуфты;  $h_2$  – высота магнитов ведущей полумуфты;  $c$  – ширина магнитов ведущей полумуфты;  $a$  – ширина магнитов ведомой полумуфты;  $D_1$  – внутренний диаметр ведомой полумуфты;  $D_2$  – внешний диаметр ведущей полумуфты.

Заявленная в изобретении цель [2] предполагает увеличение передаваемого магнитной муфтой крутящего момента при уменьшении количества устанавливаемых на ее полумуфтах постоянных магнитов. Цель достигается благодаря тому, что в магнитной муфте, содержащей полумуфты с магнитопроводами, на которых размещены с промежутками постоянные магниты с чередованием полюсов по окружности, магниты установлены попарно, а промежутки размещены между парами магнитов, при этом каждая пара магнитов размещена на отдельном магнитопроводе [2].

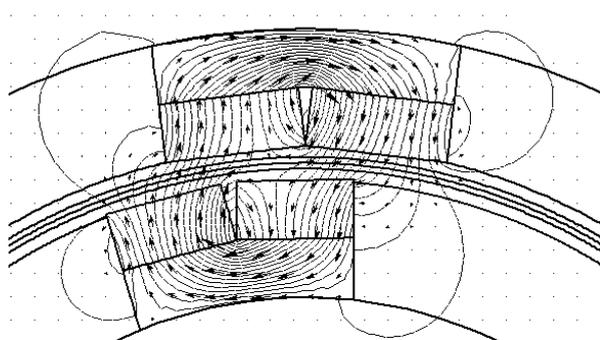
Рассмотрим и сравним величину передаваемого крутящего момента на исполнительный механизм (рабочее колесо насоса, перемешивающее устройство и т. д.) магнитной муфты по патенту (рис. 2, а) и магнитных муфт с традиционным размещением магнитов (рис. 2, б, в). Для этих целей воспользуемся методом конечных элементов [3], который позволяет определить вращающий момент, в программном комплексе ELCUT 6.0 [4]. В поперечных геометриях магнитных муфт мы используем одинаковые по размеру магниты, имеющие одинаковые свойства во всех трех вариантах.

Рассмотрим, как будет изменяться вращающий момент в зависимости от угла поворота. При определенном угле наступает срыв магнитного момента, и передача вращения с ведущего вала на ведомый прекращается. На рис. 3 и 4 показана картина магнитного поля муфты в исходном положении и при угле поворота полумуфт относительно друг друга, соответствующем максимальному моменту для магнитной муфты с поперечной геометрией, показанной на рис. 2, а. На рис. 5 и 6 показана картина магнитного поля муфты в исходном положении и при угле поворота полумуфт относительно друг друга, соответствующем максимальному моменту для магнитной муфты с поперечной геометрией, показанной на рис. 2, б.

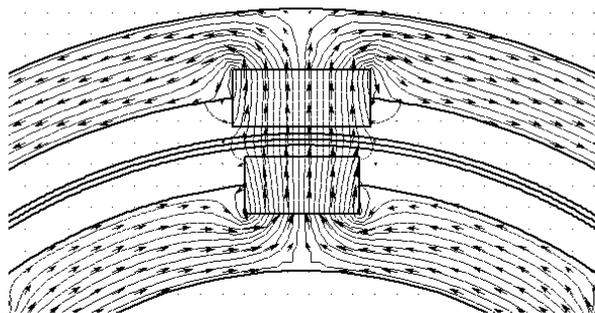
На рис. 9 показана зависимость момента срыва муфт от углового смещения полумуфт относительно друг друга. Из анализа этих зависимостей следует, что момент срыва магнитной муфты по патенту (рис. 2, а) значительно выше и момента магнитной муфты с традиционным размещением магнитов по окружности с тем же количеством магнитов. Для сравнения определим момент срыва магнитной муфты с удвоенным количеством магнитов. Картина магнитного поля показана на рис. 7 и рис. 8.



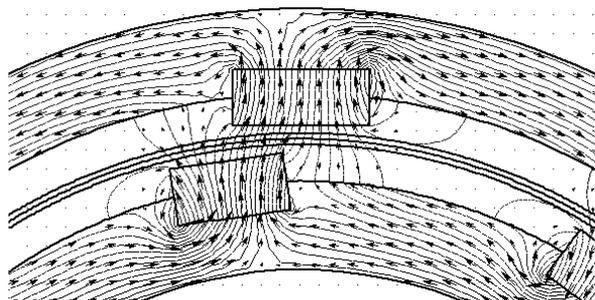
*Рис. 3. Картина магнитного поля магнитной муфты по патенту в исходном положении магнитов*



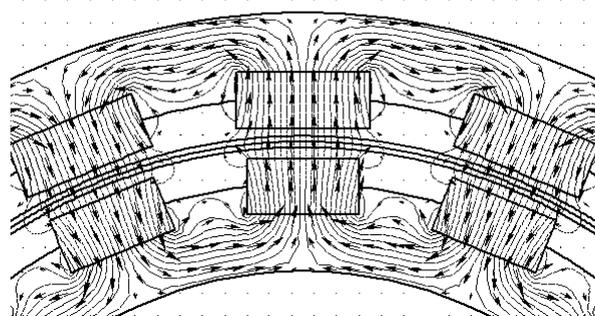
*Рис. 4. Картина магнитного поля при угле поворота, соответствующем максимальному моменту для магнитной муфты по патенту*



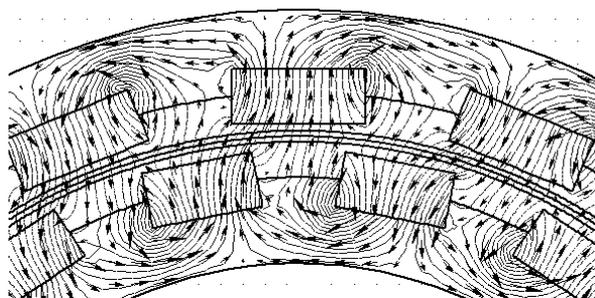
*Рис. 5. Картина магнитного поля муфты с 8 парами магнитов, размещенных равномерно по окружности в исходном положении магнитов*



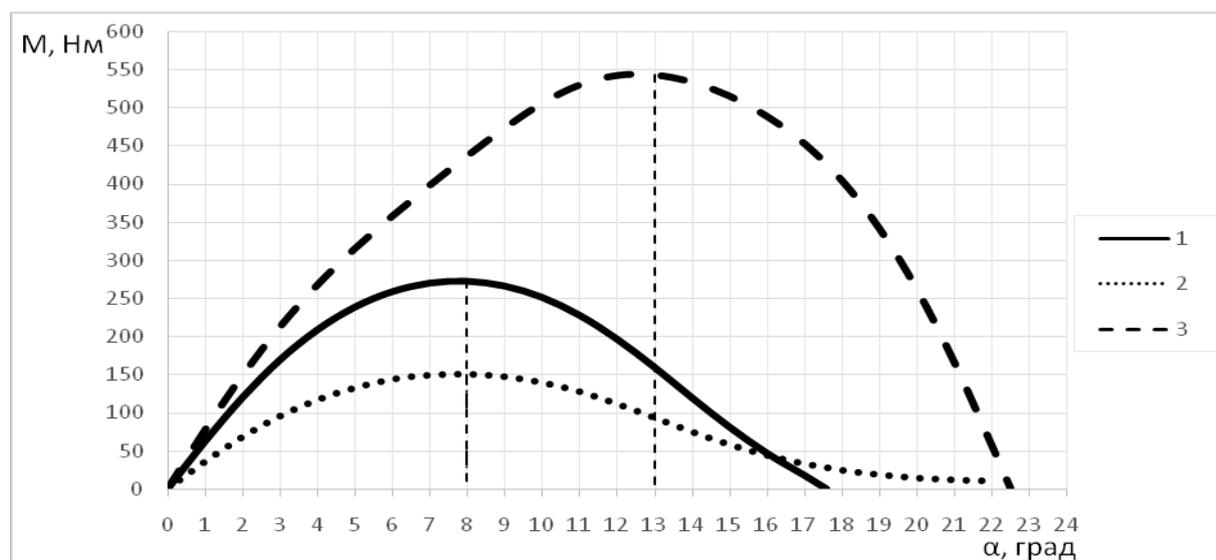
*Рис. 6. Картина магнитного поля при угле поворота, соответствующем максимальному моменту для магнитной муфты с 8 парами магнитов, размещенных равномерно по окружности*



*Рис. 7. Картина магнитного поля муфты с удвоенным количеством магнитов в исходном положении магнитов*



*Рис. 8. Картина магнитного поля при угле поворота, соответствующем максимальному моменту для магнитной муфты с удвоенным количеством магнитов*



*Рис. 9. Зависимость момента срыва муфты от углового смещения полумуфт относительно друг друга: 1 – по патенту; 2 – равномерное распределение магнитов; 3 – равномерное распределение удвоенного количества магнитов*

Исследование показало, что величина крутящего момента, передаваемого на исполнительный механизм, у магнитной муфты по патенту значительно больше, чем у муфты с традиционным размещением магнитов, при одинаковом количестве тех же самых магнитов. При размещении удвоенного числа магнитов по окружности величина крутящего момента увеличивается практически в два раза. Кроме того, увеличивается значение допустимого угла рассогласования. Однако это приводит к увеличению веса, момента инерции и стоимости конструкции.

### Библиографический список

1. [Электронный ресурс]. URL: [http://erga.ru/rus/vstraivaemye\\_magnitnye\\_mufty](http://erga.ru/rus/vstraivaemye_magnitnye_mufty).
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/209/2091624.html>.
3. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с.
4. ELCUTv.6.0. Комплекс программ для моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач. Руководство пользователя. СПб.: Производственный кооператив TOP, 2014 г.

### УДК 338.49

**А. Р. Кашаев, П. С. Некоз**

магистранты кафедры программно-целевого управления в приборостроении  
Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ КАК ИНФРАСТРУКТУРНОЙ ОТРАСЛИ ЭКОНОМИКИ

Электроэнергетика как одна из основополагающих отраслей любой страны мира – необходимое условие ее экономического и социального развития. Она

воздействует практически на все социально-экономические сферы, обладая при этом свойством инертности, и требует долгосрочного стратегического планирования развития для обеспечения ожидаемых и прогнозных потребностей в электроэнергии как экономики в целом, так и населения.

Обеспечение надежного функционирования и развития Единой национальной электрической сети России (ЕНЭС России) сегодня является одной из важнейших задач для страны в условиях формирования конкурентоспособного рынка электроэнергии. Основной проблемой остается высокий износ основных производственных фондов (свыше 30 лет проработали: почти 60% оборудования ТЭС, 80% – ГЭС, 35% – АЭС, 50% – ВЛ и 60% – подстанций Единой национальной (общероссийской) электрической сети (ЕНЭС); в распределительном электросетевом комплексе выработало нормативный срок 70% оборудования) [1]. Также эта проблема усугубляется высоким уровнем морального износа. Это обуславливает актуальность инновационной деятельности в отрасли.

Современные энергосистемы представлены многоструктурными комплексами, имеющими между собой взаимодействующие связи. Неоптимальная структура генерирующих мощностей, многократный рост издержек на производство и распределение электроэнергии, приводящий к постоянному росту тарифов на электроэнергию, отсутствие стимулирования энергосбережения, недостаточно эффективные механизмы целостного управления функционированием и развитием отечественной энергетики – все это обуславливает сложность организации надежного функционирования отрасли и актуальность оптимизации показателей надежности [2].

Кроме того, необходимо учесть непростую сложившуюся ситуацию в России – влияние экономического кризиса. В этих условиях основной проблемой для энергетики стала низкая инвестиционная активность и отсутствие долгосрочного спроса на акции генерирующих компаний [3]. Наиболее важной задачей в таком случае для сетевых энергокомпаний является поиск решений для обеспечения надежности энергоснабжения при оптимизации затрат финансовых и прочих ресурсов.

Распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р «Об энергетической стратегии России на период до 2030 года» утверждена долгосрочная стратегия развития энергетического комплекса страны, корректировка которого проводится каждые 5 лет. В связи с этим Правительством Российской Федерации было принято решение о корректировке энергетической стратегии России на период до 2030 года с ее пролонгацией до 2035 года.

Стратегия определяет цели и задачи долгосрочного развития энергетического сектора страны на предстоящий период, приоритеты и ориентиры, а также механизмы государственной энергетической политики на отдельных этапах ее реализации, обеспечивающие достижение намеченных целей. Главной целью стратегии является создание инновационного и эффективного энергетического сектора страны, адекватного как потребностям растущей экономики в энергоресурсах, так и внешнеэкономическим интересам России, обеспечивающего необходимый вклад в социально ориентированное инновационное развитие страны [4].

Эта цель конкретизируется в ключевых задачах, направленных на модернизацию внутренней инфраструктуры энергетики и ее рынков, повышение эффективности производства энергии, ее качества и доступности услуг, усиление конкурентоспособности компаний ТЭК на внешнем рынке, внедрение принципов устойчивого развития и эффективного управления отраслью. Реализация задач проходит поэтапно.

Таким образом, основными стратегическими ориентирами энергетики России до 2035 года должны стать энергетическая безопасность, энергетическая эффективность, экономическая эффективность и устойчивое развитие энергетики.

### Библиографический список

1. Баринов В. А., Бушуев В. В., Самородов Г. И. Структурно-технологический форсайт развития ЕНЭС России как инфраструктуры Евразии // Энергетическая политика. № 3. 2014.
2. Светлицкий С. Ю. Стратегические подходы к структурной модернизации в электроэнергетике России: автореф. диссертации, Москва, 2011. 50 с.
3. Малахов В. А., Дубынина Т. Г. Сценарий социально-экономического развития регионов страны на период до 2030 года с учетом реализации крупных инвестиционных проектов в субъектах РФ // Проблемы прогнозирования. № 3. 2016.
4. Основные положения энергетической стратегии России на период до 2035 года. Официальный сайт Министерства Энергетики РФ [Электронный ресурс]. URL: <http://minenergo.gov.ru/node/1913> (дата обращения: 13.03.2017).

УДК 544.774

**П. С. Козырь**

студентка кафедры биотехнических систем и технологий

**Ю. С. Николаев**

кандидат химических наук, доцент – научный руководитель

## ИСКУССТВЕННЫЕ МЫШЦЫ: НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Искусственные мышечные волокна, способные многократно сокращаться под действием внешнего стимула и совершать механическую работу, в недалеком будущем могут найти применение в разнообразных приложениях, от экзоскелетов и промышленных роботов до микрофлюидных технологий. Разработки и исследования искусственных мышц ведутся по разным направлениям – металлы с памятью формы, электроактивные полимеры, жгуты из углеродных нанотрубок.

В мае 2013 года учеными Джен Ху (Zhen Xu) и Чшао Гао (Chao Gao) (из Университета Чжэцзян, Ханчжоу, провинция Чжэцзян, Китай) в журнале *Advanced Materials* была опубликована статья «Аэрогели: многофункциональный, ультрамалый, синергетически собранный углеродный аэрогель» (*Aerogels: Multifunctional, Ultra-Flyweight, Synergistically Assembled Carbon Aerogels*), в которой они описали поведение УАГ во время испытаний нового материала – аэрогеля из графена и углеродных нанотрубок.

УАГ производились непосредственно путем криодеструкции из водных растворов частичек углеродных нанотрубок (УНТ) и гигантского графена оксида (ГГО) (замороженная система может обратимо стать жидкостью при нагревании). Были интегрированы все углеродные аэрогели с требуемыми плотностями и формой, такие как стержни, цилиндры, листы и кубики (рис. 1, а). Более того, из УАГ легко могли быть изготовлены изделия крупной величины (рис. 1, b, c). Например, цилиндр из УАГ объемом до 1000 см<sup>3</sup> был изготовлен из 1 L пластины (рис. 1, c).

Изображения SEM (сканирующего электронного микроскопа) показывают, что УАГ представляет собой взаимосвязанный пористый трехмерный (3D) каркас случайно ориентированных извилистых листов с непрерывными макропорами от сотен нанометров до десятков микрометров (рис. 1, *d*), аналогичные тем, что были в ранее очищенных аэрогелях из графена. В увеличенном масштабе на каждом из листов обнаруживаем запутанную, спагеттиподобную сеть из УНТ, покрывающую стенку ячейки графена (рис. 1, *e*). Подробные наблюдения демонстрируют многообразные взаимосвязи листов (графен в сочетании с УНТ): перекрытие (рис. 1, *f*), скручивание (рис. 1, *g*) и закручивание (рис. 1, *h*).

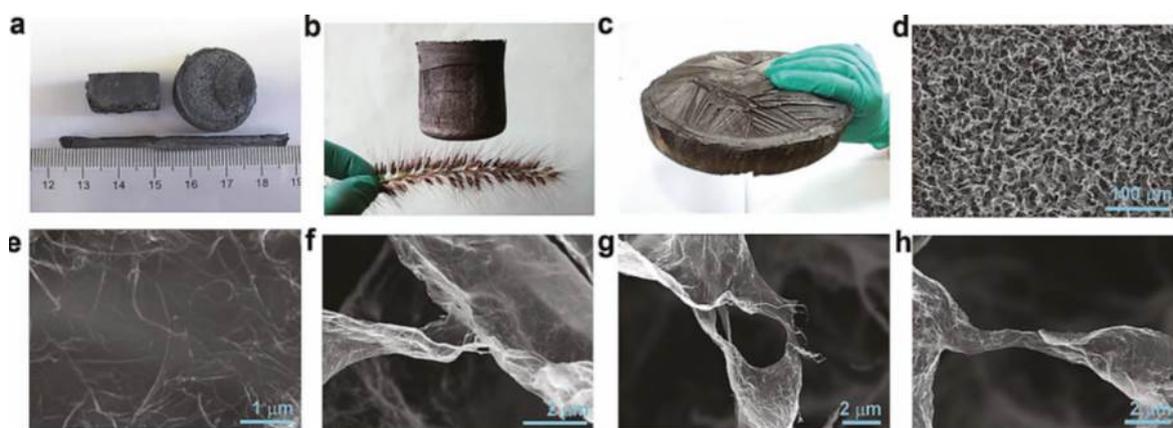


Рис. 1. Характеристики УАГ

Сжатие. Эластичность. Эксперименты по сжатию на УАГ показали почти полное восстановление после сжатия на 50–82%. УАГ претерпевают поперечное сжатие при воздействии сжатием в одном направлении, что ведет к отрицательному значению коэффициента Пуассона. Это также наблюдалось в ячеистых материалах и материалах аэрогеля УНТ. Кривые зависимости напряжение-деформация ( $\sigma - \epsilon$ ) демонстрируют два разных этапа во время процесса нагружения образца (рис. 2, *a*).

После испытания на усталость в 1000 циклов образец по-прежнему сохранял свою первоначальную толщину, макроскопическую форму (вставка на рис. 2, *b*) и пористую трехмерную микроскопическую структуру, а взаимодействие между стенками ячейки оставалось неповрежденным (рис. 2, *e*). УНТ также были плотно закрыты на графеновых листах (рис. 2, *f*), как и в случае подготовленных УАГ (рис. 2, *e*) [1].

(а) Графические кривые зависимости напряжение-деформация многоциклических сжатий на УАГ ( $\rho = 5,6 \text{ мг см}^{-3}$ ,  $f = 0,5$ ), отображающие восстанавливающую деформацию. На вкладке фотография УАГ в процессе сжатия и высвобождения. Во время сжатия верхняя головка двигалась между границами заданного фиксированного расстояния (деформация) со скоростью 2 мм/мин. (b) Кривые зависимости напряжения от нескольких выбранных циклов воздействия на образец УАГ ( $r = 1 \text{ мг см}^{-3}$ ,  $f = 0,5$ ) при циклическом сжатии (1-й, 10-й и 1000-й циклы). На вкладке фотография УАГ при испытании на усталость в течение 1000 циклов. Скорость сжатия и отпуская составляет 600 мм/мин. (c) Температурная зависимость модуля накопления (голубой), модуль потерь (черный) и коэффициент затухания (синий) УАГ ( $\rho = 7,6 \text{ мг/см}^{-3}$ ,  $f = 0,5$ ). (d) Типичные механические измерения при растягивающей нагрузке на УАГ ( $\rho = 1,5 \text{ мг/см}^{-3}$ ,  $f = 0,5$ ). Скорость деформации составляет  $5\% \text{ мин}^{-1}$  (e–f) SEM-изображения УАГ ( $\rho = 1 \text{ мг см}^{-3}$ ,  $f = 0,5$ ) после 1000 циклов процесса сжатия при разных величинах [1].

Эти измерения демонстрируют сверхэластичность всех макроскопически собранных углеродных аэрогелей. Кроме того, как показано на рис. 2, с, упругие свойства УАГ, такие как модуль накопления, модуль потерь и коэффициент демп-

фирования, измеренные динамическим термомеханическим анализатором (ДТА), практически постоянны в широком температурном диапазоне от  $-193$  до  $300$  °C, ограниченном диапазоном возможных измерений прибора DMA. Фактически образцы УАГ, отожженные при  $900$  °C в течение 5 ч при  $N_2$ , все еще не повреждены и имеют высокую эластичность. Кроме того, УАГ проявляет типичную пластическую деформацию при комнатной температуре при сопротивлении на растяжение.

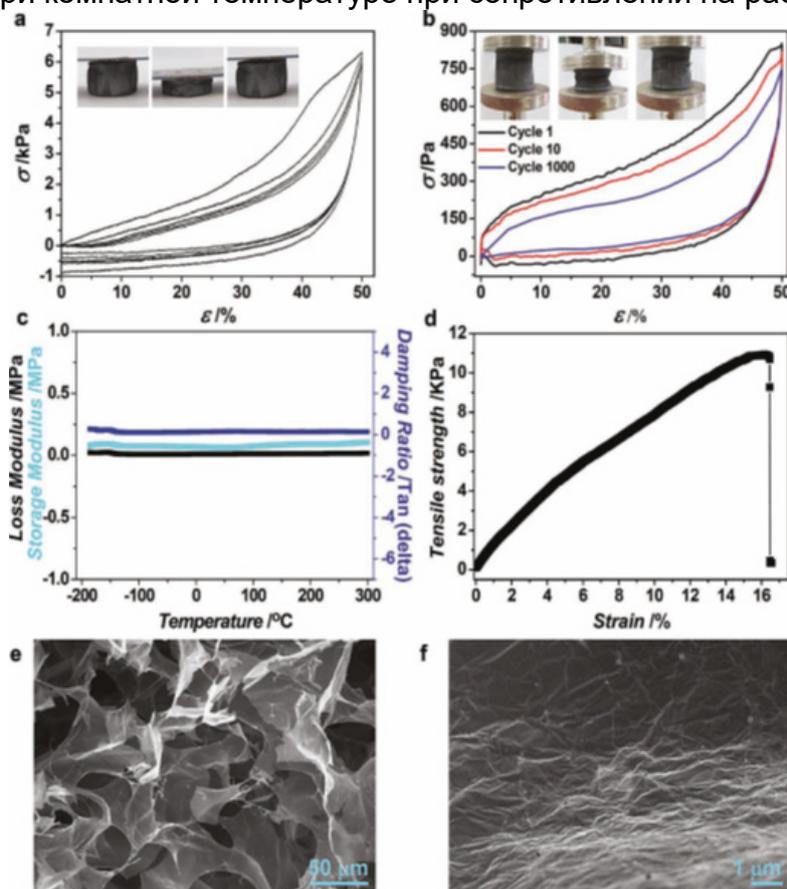


Рис. 2. Вязкоупругие свойства наших УАГ

Гигантские графеновые хлопья создают каркас с макропорами, делая аэрогель ультралегким; покрытие из УНТ усиливает относительно гибкую подложку графена и обеспечивает ее собственной эластичностью совместно образованный аэрогель (модель показана на рис. 3, g). Этот синергетический эффект сильно зависит от ван-дер-ваальсового притяжения между графеном и УНТ. Пены из гигантского графена оксида (ГГО) покрытых УНТ демонстрируют слабую эластичность, в то время как сверхэластичность возникает сразу после обработки парами гидразина. Таким образом, химическое восстановление ГГО имеет решающее значение для достижения хорошей эластичности, так как восстановленный графен имеет более сильное π-π-взаимодействие между двумя строительными блоками вследствие восстановления объединенной углеродной сетки. Четкое и плотное покрытие из УНТ способствует переносу нагрузки от графена к эластичным УНТ, что приводит к сверхэластичности.

Гидрофобность. Устойчивый УАГ имеет высокую гидрофобность (угол касания составляет  $\sim 132,9^\circ$ ), площадь поверхности  $\sim 272$  м<sup>2</sup> г<sup>-1</sup> со средним размером пор 123 нм, обладающий сверхвысокими абсорбционными способностями и сверхбыстрой скоростью абсорбции органических растворителей и масел. Как показано на рис. 3, с, 1,1 г толуола (окрашенного в цвет Sudan Black B) на воде полностью абсорбирует 3,2 мг УАГ в течение 5 с, что свидетельствует о средней ско-

рости поглощения 68,8 г жидкости на грамм УАГ в секунду ( $\text{g g}^{-1} \text{c}^{-1}$ ), что значительно быстрее, чем у предшествующего графена ( $\sim 0,57 \text{ g g}^{-1} \text{c}^{-1}$ ).

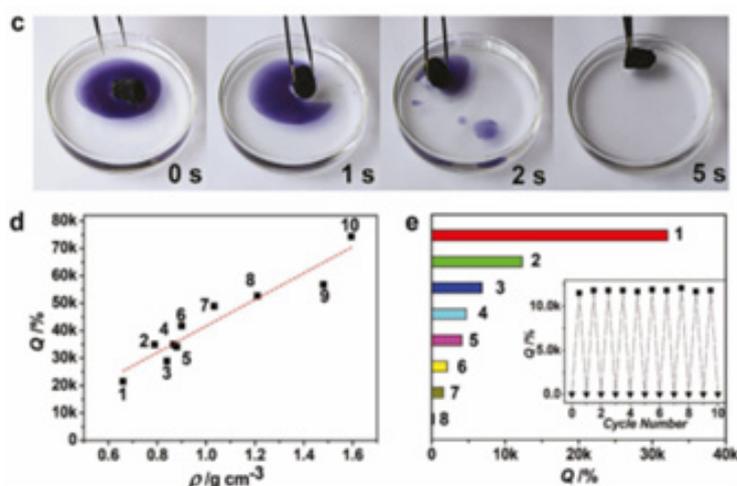


Рис. 3. Абсорбционные характеристики

с) Процесс абсорбции толуола (окрашенного цветом Sudan Black B) водой в УАГ в течение 5 с. (d) Абсорбционные значения емкости ( $Q$ ) УАГ, измеренные для ряда масел и органических растворителей с точки зрения их плотности ( $\rho$ ). Номера (1–10) представляют собой н-гексан, этанол, сырое масло, толуол, моторное масло, растительное масло, 1,4-диоксан, хлороформ и фениксин, ионную жидкость (1-бутил-3-метилимидазолийтетрафторборат) соответственно. (e) Диаграмма абсорбционных емкостей различных абсорбентов для насосного масла. Цифры представляют собой УАГ в этом исследовании (1), УНТ губку (2, ссылка [20]), графеновую губку (3, ссылка [28]), вспененный графит (4), губчатый полиуретан (5), бумажное полотенце (6), поглощающий промышленное масло материал (7) и активированный уголь (8). На вкладке: УАГ ( $\rho = 4,0 \text{ mg cm}^{-3}$ ,  $f = 0,5$ ) многократно абсорбировал н-гексан и выделял его пар при термообработке ( $85 \text{ }^\circ\text{C}$ ) в течение 10 циклов. Треугольники: восстановленная масса УАГ после удаления н-гексана, квадраты: увеличение массы после поглощения н-гексана в разные циклы [1].

На рис. 3, d показаны поглощающие способности УАГ ( $Q$  – отношение конечного веса после полного поглощения к исходному весу УАГ) к различным растворителям и маслам, достигающим ( $215\text{--}743$ )  $\text{g g}^{-1}$  в зависимости от плотности жидкости.  $Q$  для сырой нефти достигает  $290 \text{ g g}^{-1}$ . Это означает, что менее 3,5 кг УАГ может поглощать 1 тонну нефти, обещая большой потенциал использования при ликвидации разливов нефти и загрязнений. Для идентичных органических жидкостей  $Q$  аэрогелей в 2–4 раза выше, чем самые высокие значения исходных пен, включая УНТ и аэрогели из графена. Примечательно, что эти величины  $Q$ , полученные в условиях воздуха, могут быть еще более усилены за счет поглощения вакуумом в случае предотвращения блокировки воздуха в порах [1].

Сочетание графена и углеродных нанотрубок позволило получить ультра-легкий аэрогель (УАГ), не имеющий недостатков аэрогелей, созданных только из графена или только из нанотрубок. Новый материал помимо обычных для аэрогелей свойств (чрезвычайно низкая плотность, твердость, низкая теплопроводность) обладает также высокой эластичностью (способностью восстанавливать форму после многократных сжатий и растяжений) и способностью абсорбировать органические жидкости. Последнее свойство можно использовать для ликвидации разливов нефти. Также УАГ могут применяться в качестве эластичных и гибких проводников, высокоэффективных проводящих полимерных композитов, органических абсорбен-

тов, материалов для восстановления окружающей среды, в энергосбережении с фазовым переходом, датчиков, суперконденсаторов и каталитических слоев [1].

Одной из самых дальновидных и глобальных идей использования углеродных наноматериалов является их применение в медицине в качестве искусственных трансплантатов для человека или же создание экзоскелета. Многолетнее изучение природы поведения материалов из производных углерода показывает, что создание искусственной мышцы подобно человеческой, но превосходящей ее по своим характеристикам, на данном этапе научного развития является невозможным. Внутри человека существуют биоэлектрические потенциалы, наблюдаемые в живых клетках организма в состоянии покоя или при физиологической деятельности. Между наружной поверхностью клеточной мембраны и внутренним содержимым клетки всегда существует разность потенциалов, возникающая из-за различной концентрации ионов  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  внутри и вне клетки и различной проницаемости клеточной мембраны. Эта разность потенциалов, называемая еще «током покоя» составляет в среднем 60–90 мВ.

Когда клетка возбуждена, за счет изменения проницаемости мембраны и увеличения скорости перемещения ионов, «ток покоя» изменяется. В клетках возбудимых тканей (мышечной, нервной) этот процесс изменения происходит за миллисекунды. Разность такого биоэлектрического потенциала может достигать 120 мВ [2].

Потенциалы активации мышц в живых организмах не совпадают с необходимым для работы новых мускул заданным напряжением. Напряжение, необходимое для активации однослойных углеродных нанотрубок, равно 1–3 В. Разности потенциалов клеток нашего организма просто не хватит, чтобы привести в действие нанотрубки материала, поэтому вопрос трансплантации мышц в живой организм остается открытым и требует дальнейших исследований.

Каждый этап изучения углеродного наномира выдает значительные перспективы в создании и применении новейших углеродных наноматериалов в будущем. Научный мир всегда будет привлекать мечта о создании искусственного сверхчеловека либо симбиоза человеческого организма с вновь созданными искусственными составляющими.

### **Библиографический список**

1. Haiyan Sun, Zhen Xu, Chao Gao. Aerogels: Multifunctional, Ultra-Flyweight, Synergistically Assembled Carbon Aerogels / пер. П. С. Козырь // *Advanced Materials*. 2013. V. 25. P. 2554–2560.
2. Medical Encyclopedia [Электронный ресурс]. URL: <http://medical-enc.ru/2/biotoki.shtml>.

### **УДК 621.315**

***Н. Ю. Комендантов***

магистрант кафедры электромеханики и робототехники

***О. Я. Солена***

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## **ГРОЗОВЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Проблема защиты от импульсных перенапряжений актуальна в последнее время в связи с активным внедрением чувствительной электроники во все сферы жизни, такие как связь, телевидение, интернет и т. д. Таким образом, защита от

импульсных перенапряжений приобрела на данный момент актуальность как в промышленности, так и в быту.

Перенапряжение – это импульс или волна напряжения, которые накладываются на номинальное напряжение сети (рис. 1).

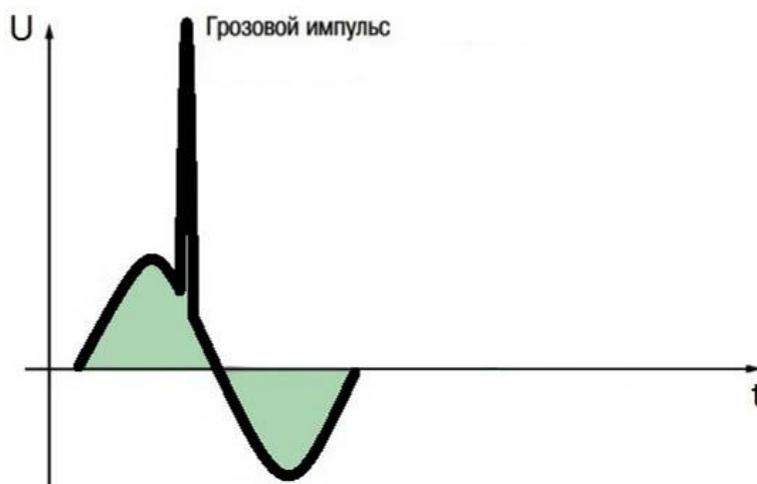


Рис. 1. Перенапряжение (грозовой импульс)

Перенапряжения в низковольтных системах электроснабжения могут быть классифицированы по четырем типам [1]: грозовые перенапряжения; коммутационные перенапряжения; временные перенапряжения; системные перенапряжения взаимодействия.

Грозовые перенапряжения являются результатом прямого удара молнии в здания с молниезащитой или без нее, а также удара молнии в непосредственной близости от системы электроснабжения или в землю. Удаленный удар молнии также может вызвать перенапряжения.

В случае прямого удара молнии в электрическую систему непосредственный эффект перенапряжения возникает от тока молнии, вызывающего перенапряжение на сопротивлении заземления. Эффективное значение сопротивления для тока разряда молнии равно нескольким тысячам Ом.

В случае удара молнии в непосредственной близости от объекта эффект перенапряжения вызывает наличие замкнутых контуров в цепях или резистивных связях, возникающих из-за импульсов тока.

В случае удаленного удара молнии скачки перенапряжений ограничиваются индуцированными напряжениями. Уровень перенапряжения, появляющийся в установке конечного потребителя, зависит от характеристик линий связи, таких как расстояние и характеристики системы между точкой удара молнии и оборудованием, способа заземления и сопротивления заземления, наличия устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП). Все эти факторы изменяются в широком диапазоне в соответствии с конфигурацией сетей. Из-за изменения электромагнитного поля, вызванного ударом молнии, индуцированные перенапряжения возникают в линиях даже на значительном расстоянии от удара молнии. В первом приближении предполагаемые перенапряжения между проводом линии и точкой удара молнии могут быть оценены по формуле:

$$U = 30 \cdot \left( \frac{H}{d} \right) \cdot I,$$

где  $I$  – ток молнии (кА);  $H$  – высота проводов от земли (м);  $d$  – расстояние до точки удара молнии (м).

Значение перенапряжения для всех проводников одинаково, так как расстояние между фазными проводниками мало по сравнению с расстоянием до точки удара молнии. Таким образом, полностью избавиться от импульсных перенапряжений невозможно, но можно снизить значения импульсных перенапряжений до значений, не угрожающих электрооборудованию и приборам.

Даже при правильном монтаже системы молниезащиты 50% мощности импульсного разряда уходит в землю, а остальные 50% перераспределяются по сетям электропроводки и бытовым коммуникациям дома. Поэтому для осуществления полной защиты от перенапряжений необходимо выполнить:

- повторное заземление PEN проводника на опоре ввода воздушной линии в дом;
- повторное заземление крюков и кронштейнов всех опор воздушной линии;
- монтаж системы молниезащиты;
- отдельный контур заземления для молниезащиты, который нужно соединить с основным контуром дома;
- систему уравнивания потенциалов;
- ступенчатую защиту с помощью специальных устройств УЗИП.

Процесс выбора УЗИП следует разбить на несколько основных этапов [1]:

- выбор максимального действующего значения напряжения системы и УЗИП, временного перенапряжения системы и УЗИП и максимальной стойкости;
- координация допустимой импульсной характеристики УЗИП с импульсным воздействием в точке использования;
- координация уровня защиты УЗИП и допустимого уровня защищенности от импульсных воздействий для защищаемого оборудования;
- рассмотрение последствия (режим повреждения) для редкого случая чрезмерного напряжения;
- обеспечение отсутствия нежелательных побочных эффектов при нормальной или аварийной работе системы электроснабжения;
- координация реакции УЗИП на импульсные воздействия с работой защитного устройства от сверхтока;
- координация работы выбираемого УЗИП с другими УЗИП в установке;
- гарантия того, что топология и размеры соединений не ухудшают работоспособность УЗИП.

Основными параметрами УЗИП являются его способность замыкать большие токи на землю (то есть рассеивать значительное количество энергии) и ограничивать напряжение на минимально возможном уровне.

Для адекватного описания токов разряда молнии необходимо использовать два типа форм волны:

- длинная волна (10/350 мксек), которая соответствует прямому удару молнии (рис. 2);
- короткая волна (8/20 мксек), которая соответствует затухающему непрямому удару молнии (рис. 3).

УЗИП должны обеспечивать уровень остаточного напряжения, совместимый с напряжением, которое может выдержать оборудование. Выдерживаемое напряжение зависит от типа оборудования и его чувствительности:

- электротехническое оборудование от 1,8 до 2,5 кВ;
- электрооборудование, содержащее малочувствительные электронные устройства от 1,5 до 1,8 кВ;
- чувствительное электронное оборудование от 1 до 1,5 кВ;
- высокочувствительное оборудование от 0,5 до 1 кВ.

Иногда нет возможности подобрать устройство, которое одновременно обладает требуемым уровнем защиты и характеристиками по току. В этом случае система защиты формируется из двух или более ступеней. Первое устройство, которое должно обеспечивать необходимые параметры по току, ставится ближайшим к точке проникновения тока от разряда молнии, а второе устройство, которое должно обеспечить требуемое остаточное напряжение защиты, устанавливается как можно ближе к защищаемому оборудованию. Расстояние между устройством и защищаемым оборудованием должно быть менее 10 м. Если это невозможно (например, если оборудование находится слишком далеко от входного щита), то следует установить второе устройство защиты от перенапряжения.

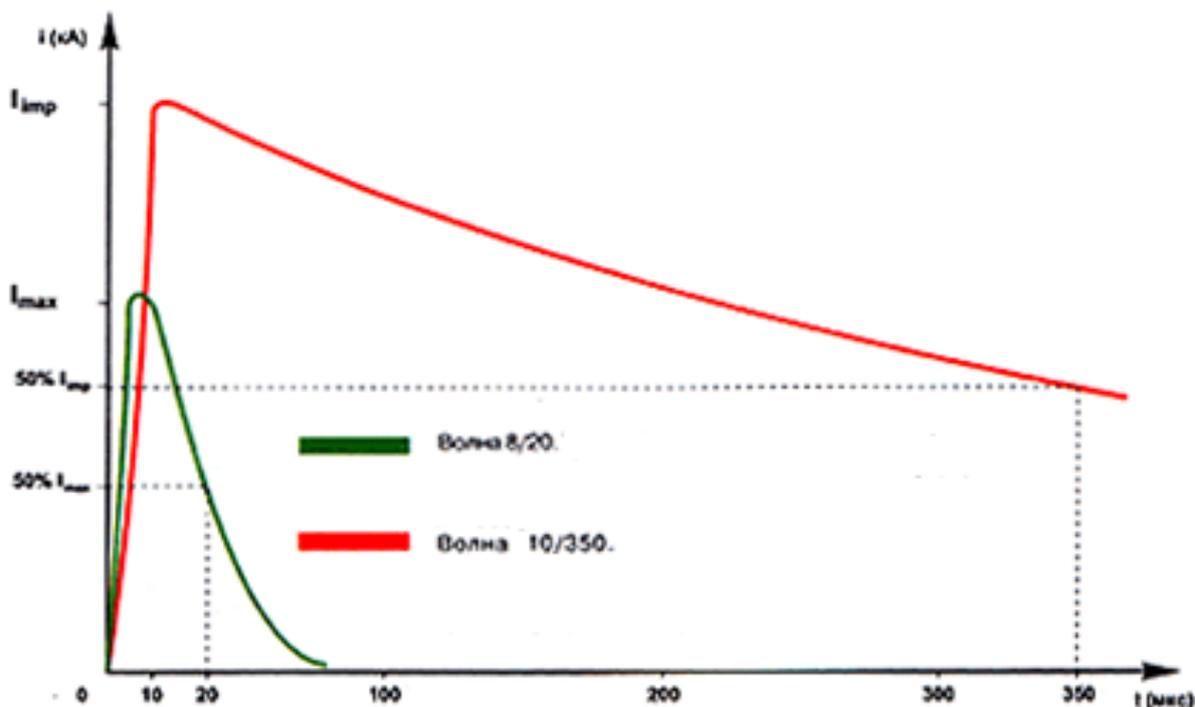


Рис. 2. График длинной и короткой волны:  $I_{max}$  – максимальное значение тока с формой волны 8/20;  $I_{imp}$  – максимальное значение тока с формой волны 10/350

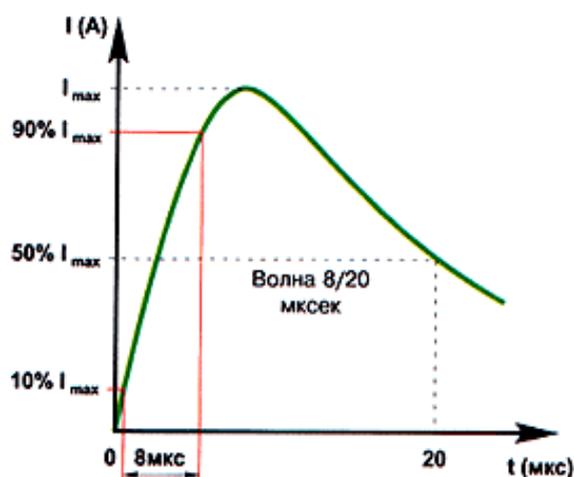


Рис. 3. График короткой волны

Телекоммуникационные и интернет-линии, входящие в установку, также должны быть защищены. Контуры заземления всех средств защиты должны иметь средства выравнивания потенциалов заземления.

Грозовые перенапряжения находятся вне человеческого управления, и их значимость для объектов, использующих электроэнергию, зависит от многих параметров, определенных местом воздействия удара молнии и структурой системы электроснабжения. Для успешного применения УЗИП требуется рассмотрение многих факторов. Разнообразие УЗИП велико, поэтому всегда можно выбрать тип, который бы соответствовал параметрам импульсного перенапряжения, при котором устройство должно выполнить свою защитную функцию.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ Р 55630-2013/IEC/TR 62066:2002. Перенапряжения импульсные и защита от перенапряжений в низковольтных системах переменного тока. Общие положения. М., 2013.

**УДК 004.35; 004.42**

***А. В. Кондратков***

студент кафедры электромеханики и робототехники

***С. В. Соленьй***

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### **СВЕТОДИОДНЫЕ 3D-МАССИВЫ**

Трехмерный светодиодный массив, который управляется микроконтроллером, является устройством, в котором каждый элемент массива – светодиод, управляемый независимо от остальных светодиодов в массиве. Сфера применения подобных светодиодных массивов весьма разнообразна и зависит от количества светодиодов и формы исполнения. Наиболее удобный вариант – куб с количеством светодиодов  $n^3$ . Возможны варианты цилиндрической, конической, пирамидальной, шарообразной формы, а также в виде параллелограмма. В зависимости от формы исполнения и количества светодиодов, а также их цветовой вариации (допускается использование RGB светодиодов [1]) меняется возможность применения. В основном массивы разных размеров применяются для индикации или в качестве элементов декора и «умных» элементов освещения. Используя массивы с  $n > 8$  светодиодов можно создавать 3D-экраны для визуализации трехмерной информации и иного интерактивного отображения.

В данной работе описано построение LED-куба с количеством светодиодов  $4 \times 4 \times 4$  (компоновка светодиодов осуществляется на макетной плате с использованием в качестве опоры ножки светодиодов). В качестве управляющего микроконтроллера используется Arduino Nano. На рис. 1 представлена принципиальная схема устройства с разделением светодиодов на группы по слоям и столбцам.

Катоды светодиодов соединены в столбцы и образуют двумерный массив  $4 \times 4$ , каждый столбец соединен со своим цифровым пином Arduino Nano. Аноды соединены послойно, и их контакты выведены отдельно, за каждый слой отвечают свои пины микроконтроллера. Подавая логические единицы на пины, можно зажечь каждый светодиод по отдельности. Комбинируя значения на различных пинах, светодиоды включаются в прямом или обратном направлении и в соответствии с приложенным к ним напряжением зажигаются либо гаснут.

Логике включения светодиодов можно раскрыть при помощи двух матриц. Первая матрица показывает значение на пинах столбцов, которые подключены к катодам светодиодов:

1	0	1	0
0	1	0	1
1	0	1	0
0	1	0	1

Вторая матрица показывает значение на пинах слоев, которые подключены к анодам светодиодов:

1	0	1	0
---	---	---	---

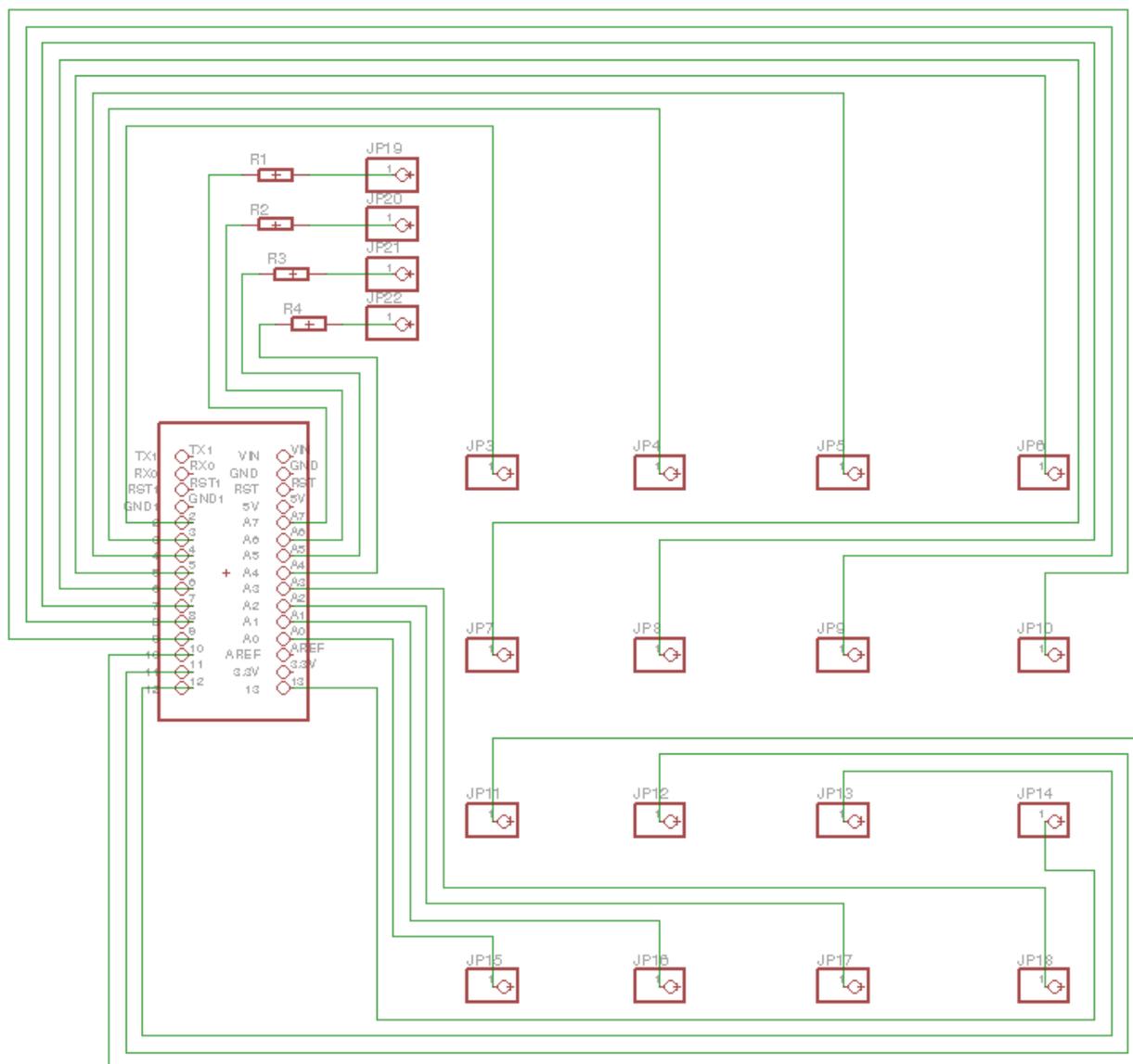


Рис. 1. Принципиальная схема LED-куба с количеством светодиодов 4x4x4

Из данных матриц следует, что на первый и третий слой подана логическая единица, а также подана единица на некоторые столбцы в шахматном порядке. Это значит, что будут светиться те светодиоды, на пинах столбцов которых подается «0», а на пинах слоев «1». Светодиоды столбцов, на пинах которых подается «1» (будут включены в обратном направлении), соответственно, не будут гореть. Также не будут гореть светодиоды слоев 2 и 4, так как на их пины подан «0», сле-

довательно, часть светодиодов включена в обратном направлении, а часть не имеют питания, так как на них подан «0».

Данный алгоритм апробирован на макетном образце (рис. 2) с применением программного кода (рис. 3).

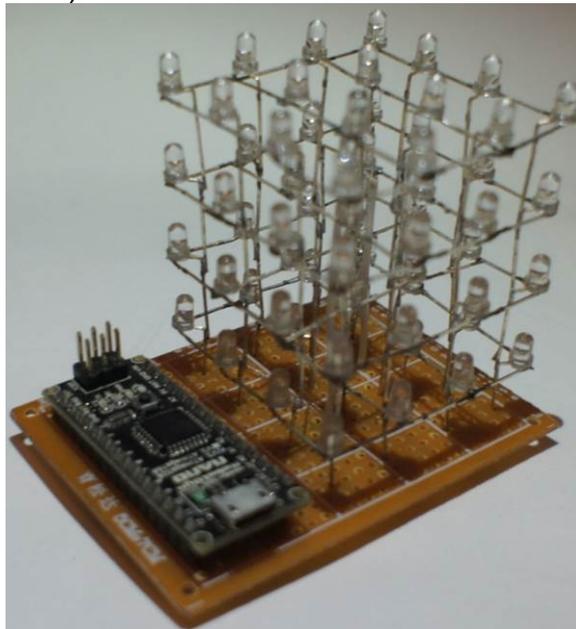


Рис. 2. Изображение LED-куба 4x4x4

```

led_demo
int column[16]={13,12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1,0,A5,A4};
int layer[4]={A3,A2,A1,A0};
void setup() {
  for(int i = 0; i<16; i++)
  {
    pinMode(column[i], OUTPUT);
  }
  for(int i = 0; i<4; i++)
  {
    pinMode(layer[i], OUTPUT);
  }
}

void loop() {
{
  digitalWrite(column[0], 1);
  digitalWrite(column[1], 0);
  digitalWrite(column[2], 1);
  digitalWrite(column[3], 0);
  digitalWrite(column[4], 0);
  digitalWrite(column[5], 1);
  digitalWrite(column[6], 0);
  digitalWrite(column[7], 1);
  digitalWrite(column[8], 1);
  digitalWrite(column[9], 0);
  digitalWrite(column[10], 1);
  digitalWrite(column[11], 0);
  digitalWrite(column[12], 0);
  digitalWrite(column[13], 1);
  digitalWrite(column[14], 0);
  digitalWrite(column[15], 1);
  digitalWrite(layer[0], 1);
  digitalWrite(layer[1], 0);
  digitalWrite(layer[2], 0);
  digitalWrite(layer[3], 1);
}
}
    
```

Рис. 3. Программный код

Для управления массивом с большим количеством светодиодов предполагается использование сдвиговых регистров и отдельного питания, так как такие устройства имеют большой ток потребления. Данный вопрос можно решить путем применения усилителей тока на транзисторной базе. Сейчас ведутся работы по разработке и созданию 3D-массива размером 8x8x8 светодиодов.

### Библиографический список

1. Официальный сайт компании Arduino в России [Электронный ресурс]. URL: <http://arduino.ru/>.
2. Официальный сайт компании «Чип и Дип. Электронные компоненты и приборы» [Электронный ресурс]. URL: <https://lib.chipdip.ru/247/DOC000247608.pdf>.

УДК 621.3.077.2

**А. М. Корнюшин**

магистрант кафедры управления в технических системах

**М. В. Бураков**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ ЖИДКОСТИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Вопрос управления уровнем жидкости в многомерной системе особо част в тех промышленных процессах, где существует задача хранения содержимого емкостей. Задача поддержания уровня в химической, нефтяной, пищевой промышленности особо важна, так как она определяет качество конечного продукта. Как правило, основной задачей управления в таких системах является достижение и поддержание уровня жидкости посредством управления насосами и вентилями. Эта задача осложняется временем запаздывания регулятора. Существует множество вариантов управления такими системами [1]. Один из этих вариантов представлен на рис. 1.

На рис. 1 представлена система, состоящая из четырех емкостей, двух насосов и одного общего резервуара [2, 3]. Входными переменными системы являются напряжения, подаваемые на насосы (от 0 до 10 В), а выходами системы являются напряжения, снимаемые с датчиков уровня, расположенных в Tank 1 и Tank 2. Высота всех танков равна 20 см. Необходимо контролировать уровень жидкости в нижних емкостях посредством насосов. На основании уравнения баланса и закона Бернулли систему можно описать следующим образом:

$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{a_1}{A_1} \sqrt{2gh_1} + \frac{a_3}{A_1} \sqrt{2gh_3} + \frac{\gamma_1 k_1}{A_1} v_1,$$

$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{a_2}{A_2} \sqrt{2gh_2} + \frac{a_4}{A_2} \sqrt{2gh_4} + \frac{\gamma_2 k_2}{A_2} v_2,$$

$$\frac{dh_3}{dt} = -\frac{a_3}{A_3} \sqrt{2gh_3} + \frac{(1-\gamma_2)k_2}{A_3} v_2,$$

$$\frac{dh_4}{dt} = -\frac{a_4}{A_4} \sqrt{2gh_4} + \frac{(1-\gamma_1)k_1}{A_4} v_1,$$

где  $A_i$  – площадь поперечного сечения бака  $i$ ;  $a_i$  – площадь поперечного сечения выходного отверстия;  $h_i$  – уровень жидкости.

Напряжение, прикладываемое к насосу, –  $i - v_i$ , а соответствующий этому напряжению поток –  $k_i v_i$ . Параметры  $\gamma_1, \gamma_2 \in (0, 1)$  определяются из положения вентиля. Поток в Tank 1 равен  $\gamma_1 k_1 v_1$ , поток в Tank 4 равен  $(1 - \gamma_1) k_1 v_1$ , аналогично для Tank 2 и Tank 3.

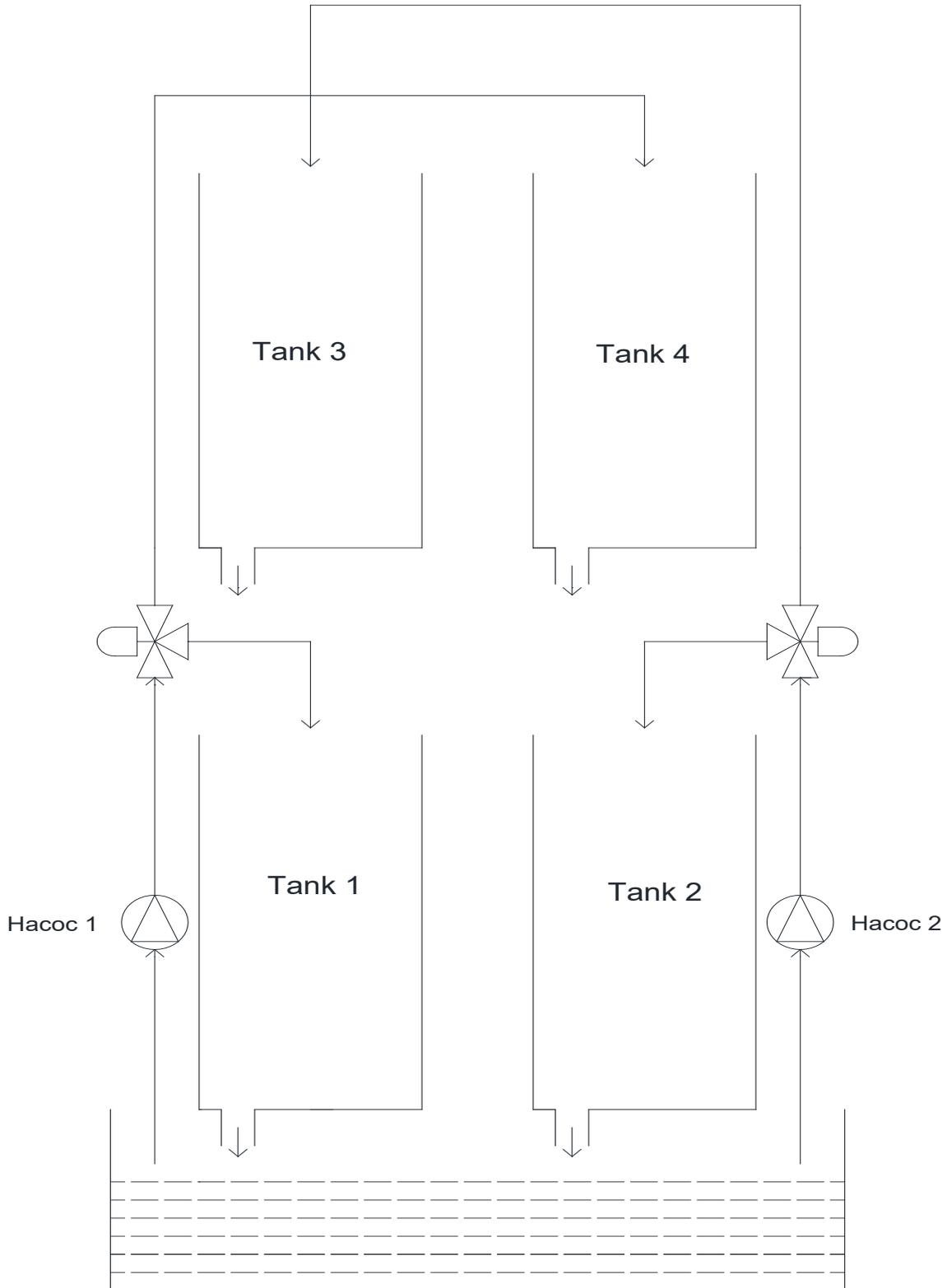


Рис. 1. Система емкостей

Параметры системы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры системы

Параметр	Значение
$A_1, A_2$	28 см <sup>2</sup>
$A_2, A_4$	32 см <sup>2</sup>
$a_1, a_3$	0,071 см <sup>2</sup>
$a_2, a_4$	0,057 см <sup>2</sup>
$k_c$	0,50
$g$	981 см/с <sup>2</sup>

В табл. 1:  $A_1, A_2$  – площади поперечного сечения баков 1 и 2;  $A_2, A_4$  – площади поперечного сечения баков 2 и 4;  $a_1, a_2$  – площади поперечного сечения выходных отверстий баков 1 и 2;  $a_2, a_4$  – площади поперечного сечения выходных отверстий баков 2 и 4;  $k_c$  – коэффициент измерителя уровня;  $g$  – ускорение свободного падения.

Введем переменные состояния:  $x_i = h_i - h_i^0$ ;  $u_i = v_i - v_i^0$ .

Линейная модель может быть получена путем вычисления якобиана системы [4]:

$$\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_1} & 0 & \frac{A_3}{A_1 T_3} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_2} & 0 & \frac{A_3}{A_1 T_3} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_4} \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} \frac{\gamma_1 k_1}{A_1} & 0 \\ 0 & \frac{\gamma_2 k_2}{A_2} \\ 0 & \frac{(1-\gamma_2)k_2}{A_2} \\ \frac{(1-\gamma_1)k_1}{A_4} & 0 \end{bmatrix} u \quad u = \begin{bmatrix} k_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_c & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

где постоянные времени равны:

$$T_i = \frac{A_i}{a_i} \sqrt{\frac{2h_i^0}{g}}, \quad i = 1, \dots, 4.$$

Выберем рабочие точки в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Рабочие точки

Параметр	Значение
$(h_1^0, h_2^0, h_3^0, h_4^0)$	(12,4; 12,7; 1,8; 1,4)[см]
$(v_1^0, v_2^0)$	(3,00; 3,00)[В]
$(k_1, k_2)$	(3,33; 3,35)[см <sup>3</sup> / с]
$(\gamma_1, \gamma_2)$	(0,70; 0,60)

Подставив значения рабочих точек в матрицы состояний, получим:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -0,0159 & 0 & 0,0419 & 0 \\ 0 & -0,0111 & 0 & 0,0333 \\ 0 & 0 & -0,0419 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0,0333 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0,0833 & 0 \\ 0 & 0,0628 \\ 0 & 0,0479 \\ 0,0312 & 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Модель системы в MATLAB Simulink представлена на рис. 2

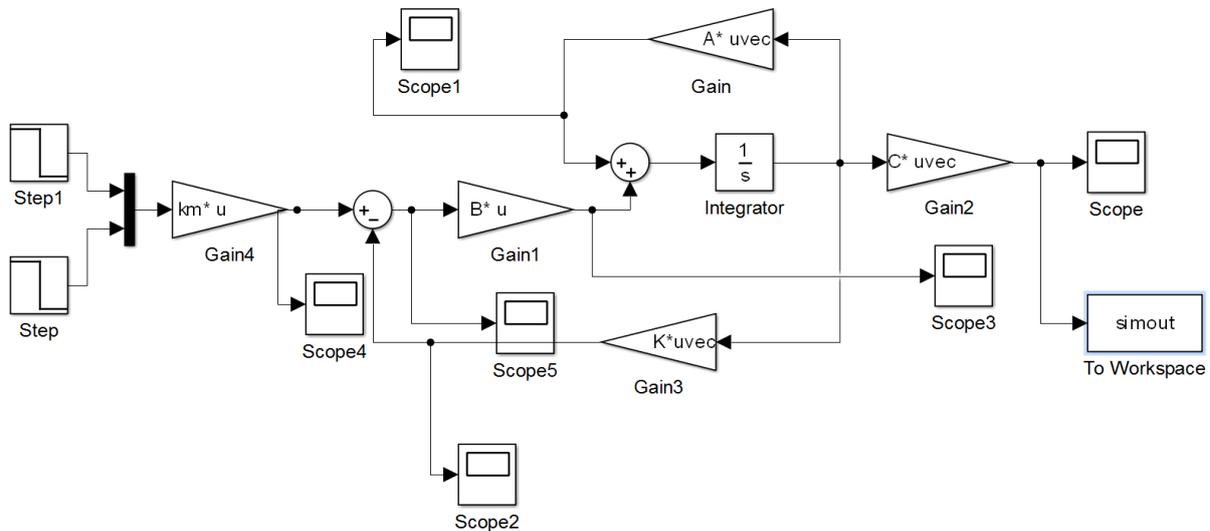


Рис. 2. Модель замкнутой системы в пространстве состояний

Модальный синтез выполняется командами:

`P=[-0.252 -0.184 -0.017 -0.057];` // Полюса системы

`place(A,B,P)` // Синтез модального управления для системы с несколькими входами

`K1 =`

2.3893 -0.1246 0.0776 0.4661  
-0.4082 2.9239 0.2215 0.4681

`km=inv(-C*inv(A-B*K1)*B)` // Расчет масштабирующего коэффициента [4]

`km =`

5.5228 -0.6142  
-0.9148 6.3432

Результаты моделирования представлены на рис. 3 и 4.

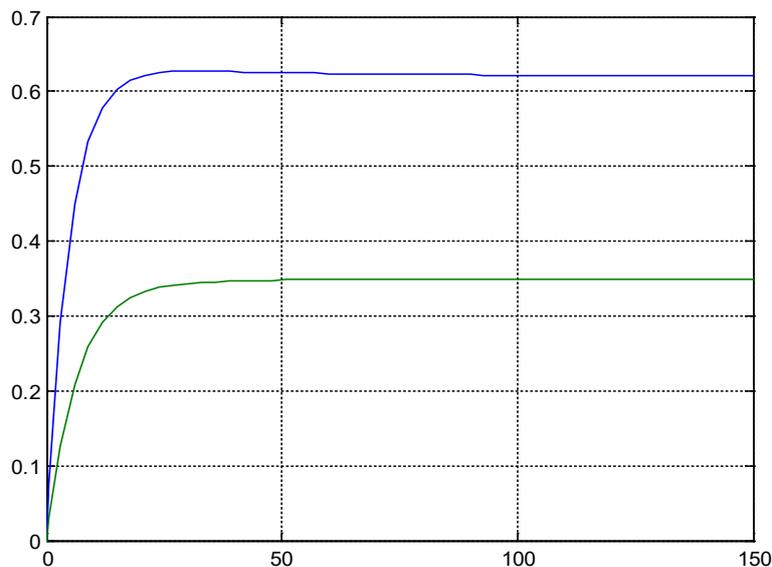


Рис. 3. Уровни  $h_1=0,62$ ,  $h_2=0,35$

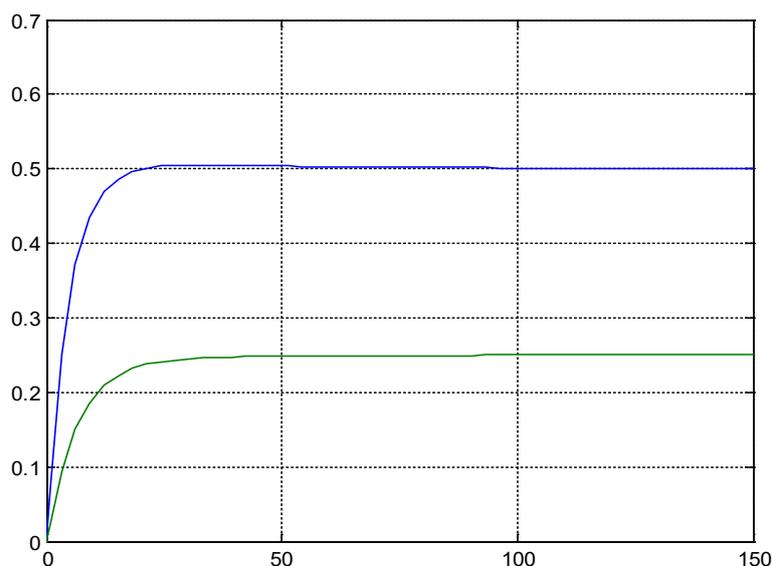


Рис. 4. Уровни  $h_1=0,5$ ,  $h_2=0,25$

### Библиографический список

1. Bequette B. W. Nonlinear Control of Chemical Processes: A Review, Ind. Eng. Chem. Res., 30 (1991a), 1391–1413.
2. Pedram Hjani, Javad Poshtan. Reconfigurable Controller Design for Actuator Faults in a Four-Tank System Benchmark // International Journal of Instrumentation and Control System (IJICS). (2). 2012. 69–76.
3. Johnsson K. H. The Quadruple-Tank Process: A Multivariable Laboratory Process with an Adjustable Zero, IEEE Transactions on Control System Technology, Vol. 8, Nr. 3, May 2000.
4. Бураков М. В. Теория автоматического управления: учеб. пособие. Ч. 2. СПб.: ГУАП, 2014. 258 с.

УДК 621.396.6

**К. Д. Крестовников**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**С. В. Соленьий**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### СИСТЕМА БЕСПРОВОДНОЙ ЗАРЯДКИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

В последнее время все большее распространение получают системы беспроводной передачи энергии посредством электромагнитной индукции. В основном они предназначены для передачи низкой мощности – от 0 до 5 Вт, что позволяет реализовать разработанный в 2009 г. стандарт Qi [1]. Такие системы используются для беспроводной зарядки аккумуляторов различных портативных устройств, таких как смартфоны и планшетные компьютеры, потребляемая мощность от зарядного устройства которых около 2,5 Вт. В то же время беспроводное зарядное устройство улучшило бы пользовательские характеристики автономных роботов бытового и промышленного назначения. Ввиду того что емкость аккумуля-

ляторов автономных роботов значительно превосходит емкость источников питания смартфонов, для разумного времени заряда потребуются мощности в десятки раз превосходящие те, что могут предложить зарядные устройства Qi стандарта низкой мощности.

В основе беспроводной передачи энергии посредством электромагнитной индукции лежит закон Фарадея, который гласит: «Для любого контура индуцированная электродвижущая сила равна скорости изменения магнитного потока, проходящего через этот контур, взятой со знаком минус». Переменный электрический ток в передающей катушке индуцирует переменное магнитное поле. В свою очередь магнитное поле создает магнитный поток, который сцепляется с витками принимающей катушки и индуцирует в ней ЭДС индукции. Для повышения коэффициента полезного действия и передаваемой мощности используется явление резонанса в параллельном LC-контуре [2].

В качестве генератора был выбран ZVS (ZeroVoltageSwitching)-driver – это резонансный автогенератор на полевых транзисторах с изолированным затвором, благодаря чему минимизированы потери на ключах автогенератора. Принимающая и передающая катушки выполнены плоскими спиралевидными и имеют одинаковые геометрические размеры. Передающая катушка (рис. 1, а) имеет 12 витков провода диаметром 2,5 мм с отводом от середины (рис. 2). Принимающая катушка (рис. 1, б) имеет 30 витков провода диаметром 1 мм.

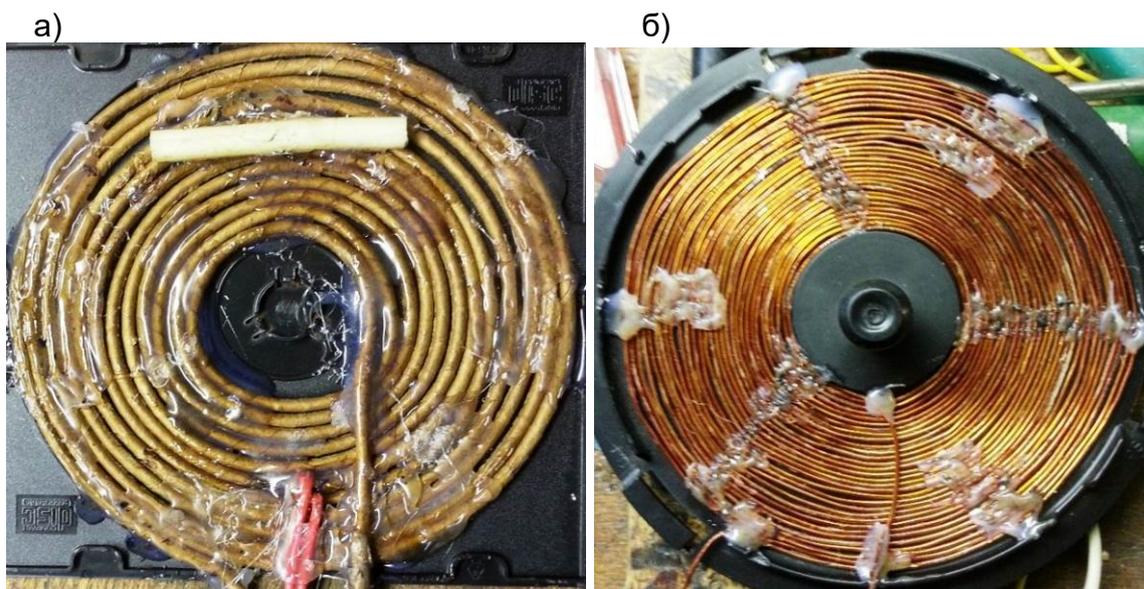


Рис. 1. Передающая катушка (а) и принимающая катушка (б)

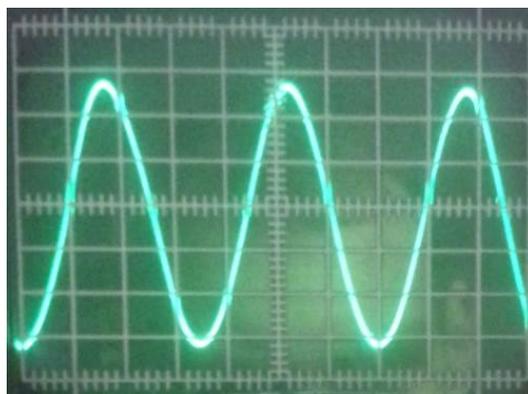


Рис. 2. Форма напряжения на передающей катушке

Принимающий и передающий резонансные LC-контур настроены на одну частоту. Настройку целесообразно выполнять расчетом и подбором емкости конденсатора LC-контра принимающей катушки. Для получения постоянного тока на принимающей стороне использован двухтактный неуправляемый мостовой выпрямитель на высокочастотных диодах Шоттки и сглаживающий LC-фильтр [3].

Принципиальная схема устройства представлена на рис. 3.

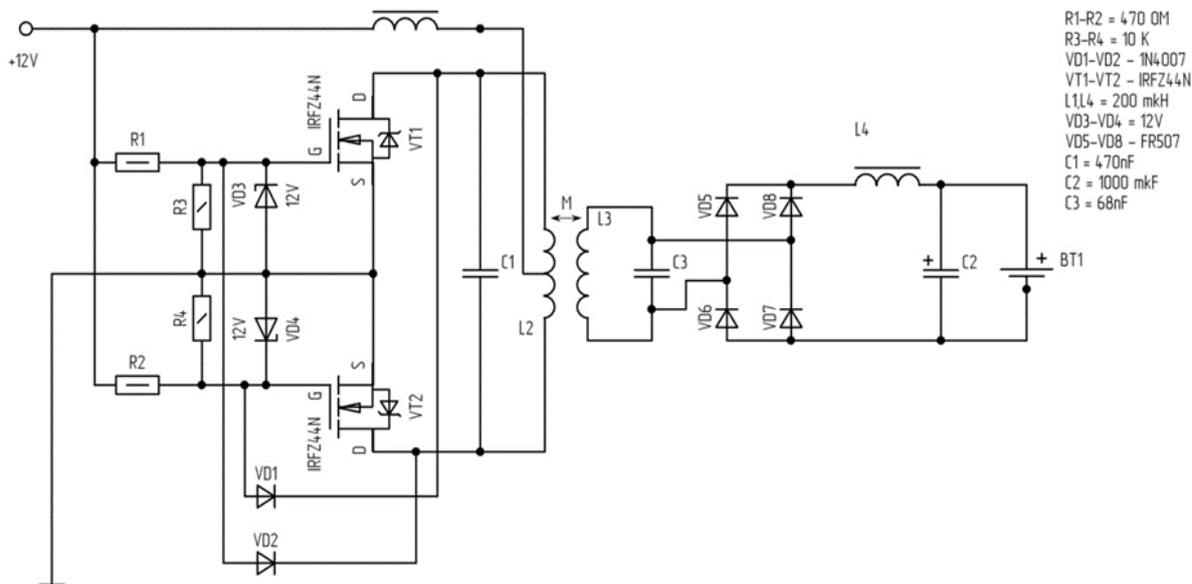


Рис. 3. Принципиальная схема устройства

Схема работает следующим образом. При подаче питания на схему ток начинает течь к стокам обоих полевых транзисторов, одновременно с этим заряжаются емкости затворов через резисторы. Поскольку полевые транзисторы не полностью одинаковы, один из них (например, VT1) открывается быстрее и начинает проводить ток, при этом через диод VD1 разряжается затвор другого транзистора VT2, который удерживается таким образом надежно закрытым. Поскольку в схему включен колебательный контур, напряжение на стоке закрытого полевого транзистора VT2 сначала возрастает, но затем понижается, переходя через ноль (рис. 4). В этот момент затвор открытого полевого транзистора VT1 быстро разряжается, и открытый первым транзистор VT1 теперь запирается, а так как он теперь заперт, то на его стоке уже не ноль, и затвор второго транзистора VT2 быстро дозаряжается через резистор, и второй транзистор VT2 теперь открывается, при этом разряжая через диод VD2 затвор транзистора VT1. Через полпериода все повторяется с точностью до наоборот – второй транзистор закрывается, а первый – откроется. В контуре таким образом возникают синусоидальные автоколебания. Дроссель L1 ограничивает броски питающего тока и сглаживает небольшие коммутационные выбросы (рис. 5). Запирание обоих полевых транзисторов происходит при нулевом напряжении на их стоках, когда ток в контурной катушке максимален, а это значит, что коммутационные потери сведены к минимуму.

После сборки и настройки устройства были сняты его характеристики. На рис. 6 представлена зависимость передаваемой мощности от расстояния между принимающей и передающей катушками при неизменном сопротивлении нагрузки, которое составляет 14,5 Ом. На рис. 7 представлена зависимость КПД устройства от расстояния между катушками. На рис. 8 представлена зависимость передаваемой мощности при неизменном расстоянии между катушками, которое составляет 5,2 мм при различном токе нагрузки. На рис. 9 представлена зависимость расчетного значения КПД при изменении сопротивления нагрузки.

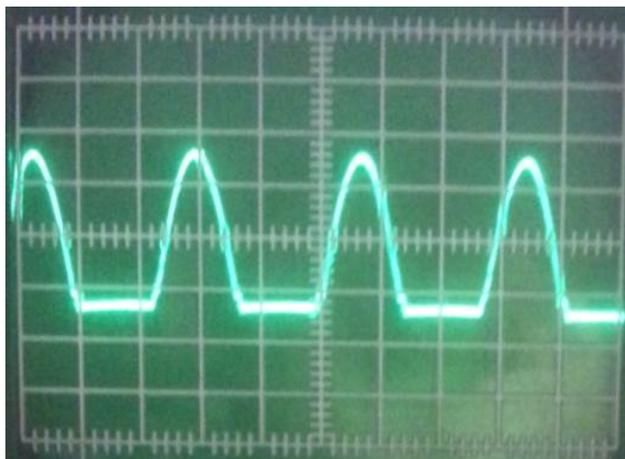


Рис. 4. Форма напряжения между истоком и стоком транзистора

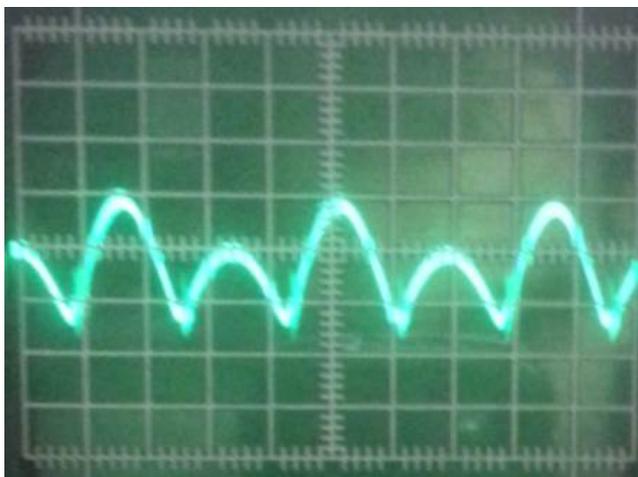


Рис. 5. Форма тока на сглаживающем дросселе

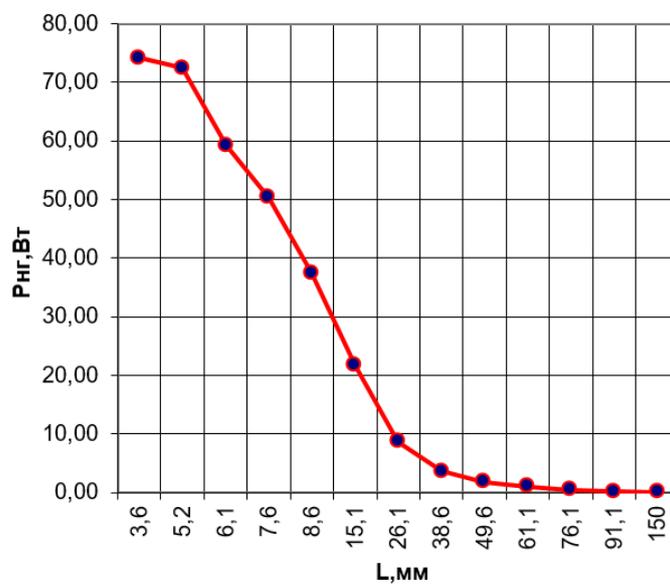


Рис. 6. Зависимость передаваемой мощности при изменении расстояния между катушками

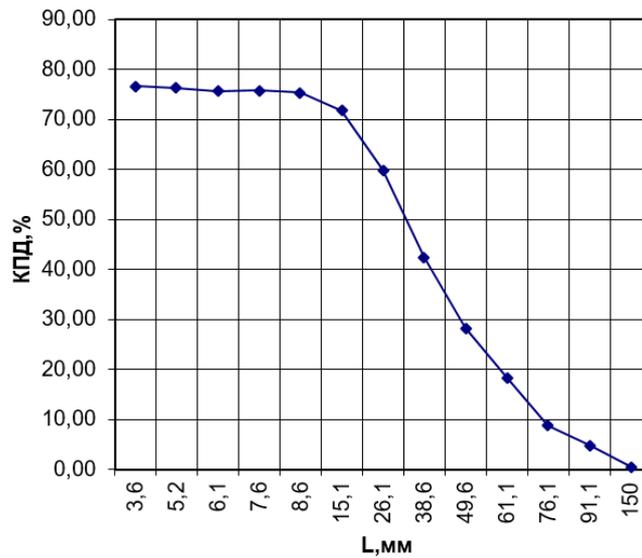


Рис. 7. Зависимость КПД системы при изменении расстояния между катушками

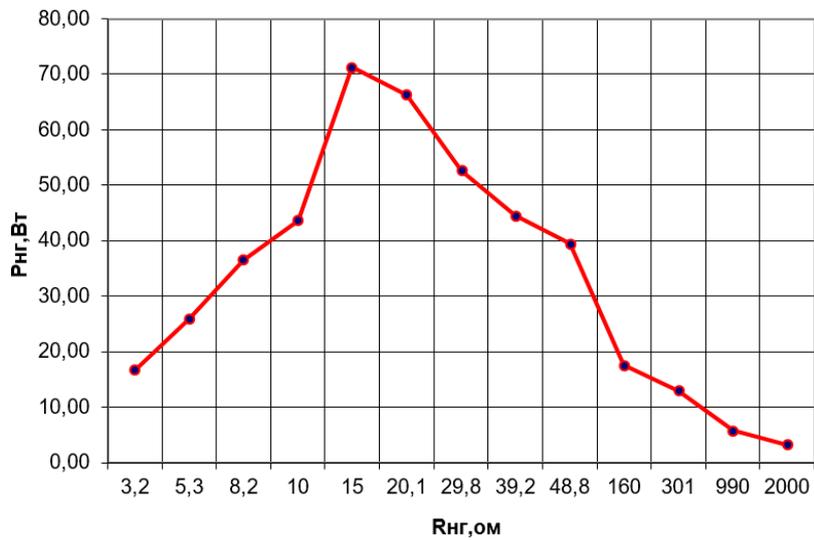


Рис. 8. Зависимость передаваемой мощности при изменении тока нагрузки

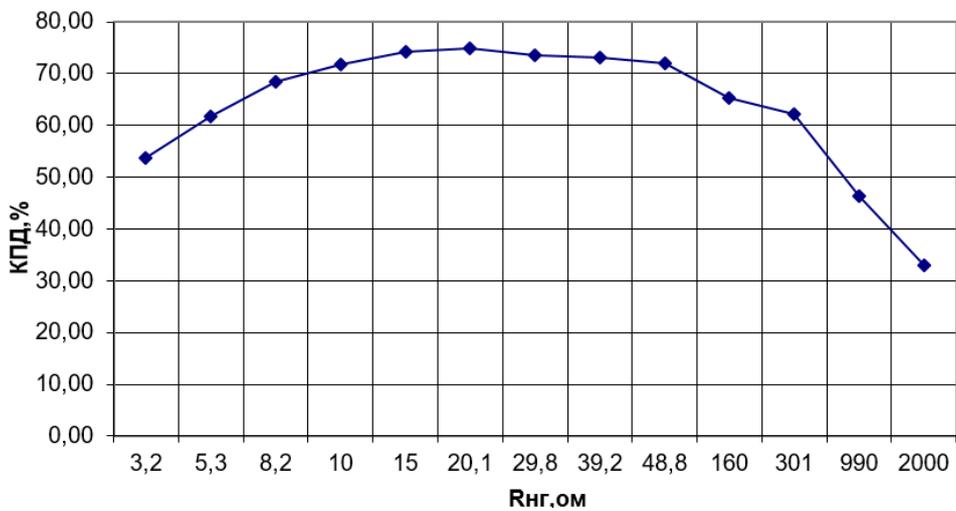


Рис. 9. Зависимость КПД системы при изменении сопротивления нагрузки

Одним из главных преимуществ данной разработки является высокий КПД всей системы. Благодаря настройке принимающего контура на частоту передающего контура удается существенно увеличить КПД приблизительно в 2 раза, с 35–40% до 75–80%, при прочих равных условиях. Малые потери на транзисторах автогенератора позволяют отказаться от дополнительных теплоотводов и сделать устройство компактным. Сохранение высокого КПД системы происходит даже при увеличении расстояния между катушками до 1,5 см. Незначительное несовпадение осей катушек мало влияет на передаваемую мощность и КПД, что требует меньшей точности позиционирования от робота.

Система имеет некоторые недостатки, среди которых можно отметить тот факт, что принимающую катушку требуется экранировать, а для того, чтобы экран не влиял на передаваемую мощность, он должен быть расположен на значительном расстоянии от катушки. Близкое расположение экрана к катушке существенно снижает передаваемую мощность и КПД, а также вызывает нагрев экрана.

### **Библиографический список**

1. Богач Н. В., Никищенко А. Н. Анализ магнитных полей плоских излучателей // Радиоэлектроника и информатика. 2010. № 3.
2. Петров А. Блокинг генератор и его применение в ИВЭП // Радиолюбитель. 1997. № 4.
3. Молчанов А. П., Занадворов П. Н. Курс электротехники и радиотехники. Санкт-Петербург, 2011. 608 с.
4. ElektrikINFO. Стандарт беспроводного питания электронных устройств Qi [Электронный ресурс]. URL: <http://elektrik.info/main/news/786-standart-besprovodnogo-pitaniya-elektronnyh-ustroystv-qi.html> (дата обращения: 05.03.2017).

### **УДК 621.51**

**Н. В. Кривенко**

студент кафедры управления в технических системах

**М. В. Бураков**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

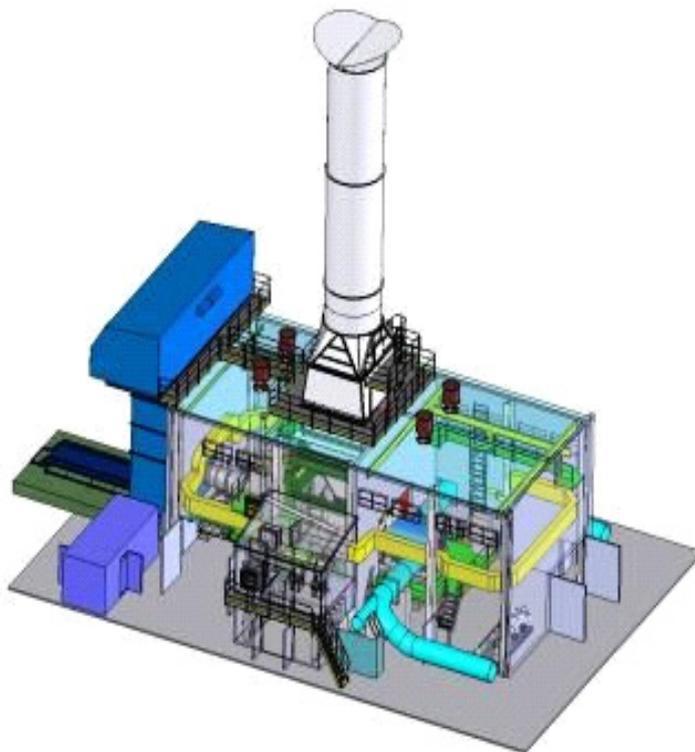
## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА**

Искусственные нейронные сети (НС) в последние годы широко используются при автоматизации различных промышленных объектов. НС является универсальным аппроксиматором, то есть позволяет реализовать любой алгоритм управления, сколь бы сложным он ни был. Однако использование НС предполагает выполнение этапа обучения, во время которого параметры НС настраиваются на конкретную задачу [1, 2].

Одной из перспективных сфер использования НС является нефтехимическая промышленность, в частности задача управления технологическим процессом газоперекачивающего агрегата (ГПА), который служит для транспортирования природного газа по магистральным газопроводам и подачи газа на станции подземного хранения (рис. 1).

САУ ГПА предназначена для выполнения функции автоматического управления, регулирования, контроля и защиты, обеспечивающих безаварийную дли-

тельную работу ГПА. САУ ГПА интегрируется с системой автоматизированного управления технологического процесса компрессорным цехом (АСУ ТП КЦ) транспортировки газа по магистральным газопроводам и подключается в промышленную сеть на базе Ethernet с помощью оптических линий связи. Перекачка газа осуществляется с помощью газотурбинных установок в двигательном блоке [3]. Автоматизированная система программируется на мультипроцессорной системе управления, производство компании ООО «Система сервис» [4].



*Рис. 1. Газоперекачивающий агрегат*

Система автоматического управления газоперекачивающим агрегатом происходит на базе мультипроцессорной системы контроля и управления (МСКУ) [5, 6].

Система САУ ГПА МСКУ представляет собой законченный аппаратно-программный автономно функционирующий комплекс, обеспечивающий выполнение всех необходимых функций по контролю, управлению и регулированию отдельного ГПА. Устройство осуществляет прием входных сигналов от технологического оборудования и выдачу управляющих воздействий на исполнительные механизмы. Объем входных/выходных параметров практически не ограничен. Обеспечивает обработку и преобразование информации, полученной от объекта, реализацию алгоритмов управления, формирование по заданным алгоритмам команд управления, формирование массивов информации для организации обмена с системой диспетчерского управления, включая массив архивных данных «быстрых» параметров с дискретностью записи 20 мс. Выполнение задач антипомпажного и топливного регулирования. Время цикла функционирования подпрограмм регулирования – 10 мс.

Искусственные нейронные сети могут быть использованы, в частности, при решении следующих задач по управлению ГПА:

– пуск, останов, управление газотурбинным (электрическим) двигателем на всех режимах работы;

- автоматический аварийный останов при нарушении условий штатной работы;
- автоматическое топливное регулирование газотурбинным двигателем на всех режимах работы;
- диагностический самоконтроль САУ, контроль датчиковой аппаратуры, линий связи.

Каждая из этих задач требует обучения НС либо на основании экспериментальной информации, либо с помощью имитационного моделирования. В качестве инструмента моделирования может быть использован пакет MATLAB с расширением Simulink и Neural Net toolbox.

### **Биографический список**

1. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. М.: Мир, 1992.
2. Бураков М. В. Нейронные сети и нейроконтроллеры. СПб.: ГУАП, 2013 г. 284 с.
3. Интеллектуализация испытаний конвертированных газотурбинных установок для электроэнергетики / Б. В. Кавалеров, В. П. Казанцев, И. А. Шмидт и др. // Системы управления и информационные технологии 2012. № 1(47).
4. Системы комплексной автоматизации «Система Сервис СПб» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.systserv.spb.ru/>.
5. Ананенков А. Г., Ставкин Г. П., Талыбов Э. Г. АСУ ТП промыслов газоконденсатного месторождения Крайнего Севера. М.: Недра-Бизнесцентр, 2003.
6. Приборы и средства автоматизации: каталог. Т. 7. Приборы регулирующие. Сигнализаторы температуры, давления, уровня. Датчики-реле. Исполнительные механизмы. М.: НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ, 2005.

### **УДК 621.311**

#### ***В. В. Крижановский***

студент ГАПОУ «Губернаторский авиастроительный колледж» г. Комсомольска-на-Амуре

#### ***П. С. Некоз***

магистрант кафедры программно-целевого управления в приборостроении – научный руководитель

## **ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В РОССИИ И ПРОГРАММА ИХ РЕАЛИЗАЦИИ**

В наши дни все еще остаются насущными проблемы электроэнергетического комплекса. Предыдущие поколения ученых и техников создали единую энергетическую систему страны, постоянно развивающийся комплекс взаимосвязанных энергетических объектов, которые объединены общим технологическим режимом работы и централизованным оперативным управлением, обеспечивающих надежное и экономичное электроснабжение основной части потребителей. Но за последние 15–20 лет существенно ухудшились экономические показатели работы электроэнергетической отрасли. С 1991 г. увеличились относительные потери электроэнергии в электрических сетях, снизилась эффективность использования капитальных вложений, выросла удельная численность персонала в отрасли. Значительно сократился ввод новых и замещающих гене-

рирующих мощностей, а также выросли в последние годы тарифы на электроэнергию. В целом можно констатировать, что после распада СССР существенно снизились экономическая эффективность функционирования и темпы развития электроэнергетики в России [1].

Основными причинами снижения экономической эффективности функционирования электроэнергетики на данный момент являются [2]:

- устаревшие энергетические технологии, используемые в электроэнергетике страны, особенно при генерации электроэнергии на газовых электростанциях и в электросетях низкого напряжения;

- использование морально и физически устаревшего электрооборудования на электростанциях и в электрических сетях. Его доля превышает 40% от всего установленного;

- отсутствие оптимальной системы управления отраслью в условиях образования многочисленных собственников электроэнергетических объектов, которая бы обеспечивала минимизацию затрат на развитие и функционирование электроэнергетики;

- уменьшение строительного и научно-технического потенциала отрасли, а также в отраслях отечественного энергомашиностроения и электромашиностроения.

Таким образом, перед российской электроэнергетикой стоят масштабные задачи по повышению производства электроэнергии и росту установленной мощности электростанций и увеличению объема вводов линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше, а также воздушных линий напряжением 330 кВ и выше.

Модернизация электроэнергетики включает не только вывод из эксплуатации физически и морально устаревшего оборудования, но и реконструкцию малоэффективного оборудования, и замену неэффективных технологий на современные, а также создание принципиально нового перспективного оборудования и новых «прорывных» энергетических технологий. Принципиальным влиянием на будущую конфигурацию ЕЭС России станет введение новых технологий, таких как:

- проводники с использованием композиционных материалов;

- высокотемпературные сверхпроводниковые материалы и устройства на их основе;

- использование в электросетях недорогих и надежных накопителей электроэнергии разных типов: основной сети, распределительной сети и конечных потребителей. Это позволит отладить графики нагрузок и повысить эффективность использования генерирующих, передающих и распределительных устройств;

- создание распределенной генерации и распределенных интеллектуальных систем управления;

- развитие силовой электроники и создание на ее основе управляемых электрических сетей.

Кроме того, исключительное значение приобретает программа единой национальной электроэнергетической системы страны с оптимальным сочетанием централизованного энергоснабжения от крупных электростанций с мощными блоками, соединенными высоковольтными магистральными электрическими сетями высокого напряжения, и энергоснабжение потребителей. От локальных энергетических систем с распределенной генерацией и с энергоустановками малой мощности, что в целом обеспечивает надежное энергоснабжение и ведет к снижению тарифов на электроэнергию. Локальные энергосистемы с распределенной генерацией, работающие как на местных ресурсах, так и на нетрадиционных, будут

строиться с использованием принципа управляемых энергосистем с автоматическим управлением как производством, так и транспортом и потреблением электроэнергии и тепла. Автоматизированный учет и управление спросом потребителей будут присутствовать и для крупных потребителей в сочетании с гибкими магистральными электрическими сетями высокого напряжения, позволяющими осуществлять их оптимальное управление в соответствии с имеющимся спросом на электроэнергию, обеспечением требуемой надежности и оптимальными экономическими характеристиками [3].

Программа модернизации электроэнергетики страны была разработана под руководством Энергетического института имени Г. М. Кржижановского практически всеми ведущими научными и проектными институтами отрасли совместно с институтами РАН. Комплекс мер по изменению электроэнергетической ситуации является важной, состоящей из многих этапов главой с названием «Генеральная схема» в плане по развитию электроэнергетики России. Выбор модернизируемых энергоблоков и электростанций производился путем расчетов (надежности, балансовых, технико-экономических и расчетов устойчивости работы сетей) с увязкой выводимых из эксплуатации и модернизируемых мощностей, линий электропередач и показателей надежности энергоснабжения. Упорядочивание реализации мероприятий проводится на базе технологических и технико-экономических расчетов применительно к оптимальному функционированию ЕЭС России. Главное при этом не нарушить принципы обеспечения требуемой надежности энергоснабжения потребителей [1].

Исходя из вышеприведенного, новые технологии должны создаваться в области не только генерации электроэнергии, но и ее транспорта и распределения, поэтому развитие энергетической науки и технологической базы должно быть комплексным, при этом охватывать всю территорию страны. Следовательно, необходимо сплочение электроэнергетических активов, создание крупных региональных энергокомпаний, отвечающих за надежное и экономичное энергоснабжение регионов и развитие региональных энергосистем, и организация оптимального управления их совместной работой [4].

Первоочередные задачи, подлежащие решению в отрасли управления, заключаются в необходимости [5]:

- реализации программы модернизации и ускоренного развития тепловых электростанций и электрических сетей на базе передовых технологий;
- создания национального технологического центра для разработки новых прорывных технологий производства, транспорта и распределения электроэнергии;
- создания оптимальной структуры управления электроэнергетической отраслью, обеспечивающей минимизацию затрат на ее функционирование и развитие;
- создания системы государственного контроля за обеспечением надежности системы электроснабжения России;
- разработки и принятия системы энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- разработки новых принципов и нормативно-правовой основы для создания современной базы технического регулирования в электроэнергетике.

Отдельно стоит отметить, что создание системы целостного оптимального управления развитием и функционированием электроэнергетики России необходимо для правильной и продуктивной работы всей системы, иначе введение модернизаций и новые технологии не принесут ожидаемого результата. Развитие электроэнергетики страны на базе передовых технологий производства, переда-

чи и распределения электроэнергии как в процессе осуществления, так и после завершения станет серьезным фундаментом для модернизации и укрепления экономики страны.

Появление научных проектов по созданию и внедрению новых технологий, обеспечивающих приоритетное развитие отечественной электроэнергетики, переведет нас на новый этап ее использования, позволив взглянуть по-новому на вектор развития и эффективности электроэнергетики в стране.

### **Библиографический список**

1. Волков Э. П. Перспективы развития и модернизация электроэнергетики России на условиях повышения энергоэффективности и энергосбережения: докл. ВЭЛК-2011 Энергетический ин-т им. Г. М. Кржижановского (ЭНИН).
2. Волков Э. П. Шишкин А. Н. Перспективы развития и модернизация электроэнергетики России // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2012.
3. Гзирян В. Н. Электроэнергетика страны, проблемы и перспективы развития: автореф. студ-т. Ин-т приклад. экон. и менеджм. М., 2015. 16 с.
4. Волков Э. П. О концепции модернизации электроэнергетики // Электрические станции. № 9. 2010. С. 5–16.
5. Волков Э. П. Проблемы развития электроэнергетики страны: докл. Энергетический институт им. Г. М. Кржижановского (ЭНИН), 2012.

**УДК 004.912**

**В. А. Купеева**

студентка, факультет математики и информационных технологий  
Северо-Осетинский государственный университет им. К. Л. Хетагурова

### **ЛЕКСИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕКСТА НА ОСНОВЕ ИНСТРУМЕНТА «ТОМИТА-ПАРСЕР»**

Сегодня во всемирной сети генерируется огромное количество информации, которая представляется в различных форматах. Это могут быть как изначально структурированные данные (конкретные факты) так и (в большинстве случаев) неструктурированный текст на естественном языке. Особое внимание уделяется задаче «научить» компьютер понимать человеческую речь. Так, существуют системы распознавания естественного языка, которые используются поисковыми сайтами для интеллектуального поиска информации.

Целью исследования является изучение возможности создания приложения для извлечения структурированных данных (фактов) из неструктурированного контента, а также автоматизация процесса их поиска. Приложение по заданным пользователем параметрам отбирает среди определенного контента нужную информацию, анализирует ее и интерпретирует в факты. Инструментом для выполнения задачи извлечения фактов был выбран «Томита-парсер» – экстрактор, предоставленный компанией «Яндекс». В основе парсера лежит алгоритм GRL-парсинга (Generalized left-to-right algorithm), который позволяет проводить семантический анализ текстов, записанных на естественном языке. Также «Томита-парсер» в процессе своей работы выдает извлеченные факты в режиме реального времени, что, несомненно, является плюсом данного инструмента. Экстракция фактов в «Томита-парсере» реализуется путем создания газеттиров (словарей

ключевых слов), КС-грамматик (контекстно-свободных грамматик) и описаний типов фактов, которые формируют грамматики. Код парсера находится в открытом доступе и передается по лицензии, позволяющей его использование в коммерческих целях.

Несмотря на то что «Томита-парсер» самостоятельно способен практически безошибочно определять морфологические характеристики слова, он не является универсальным инструментом для проведения семантического анализа текста. Проблемы данного средства заключаются в следующем:

- 1) «непонимании» парсером большинства сленговых выражений;
- 2) зависимости от орфографии;
- 3) двойном смысле некоторых слов (например, оценочное слово «хорошо» можно употребить как в прямом значении, так и в ироничной форме, при которой смысл изменится на противоположный).

Но если проблемы сленга и орфографии можно разрешить при помощи расширения газеттиров и усложнения грамматик, то проблема двойного смысла требует как минимум расшифровки контекста и, соответственно, более серьезного подхода. Для этого разработано и протестировано приложение, обеспечивающее автоматический поиск фактов и определение отношения пользователя к продукту, исходя из заданного текста. В приложении реализованы методы чтения и записи данных с веб-страниц, их параллельная обработка «Томита-парсером», а также оценка отношения пользователей на основе выделенных фактов путем подсчета и качественного сравнения положительных, отрицательных и нейтральных характеристик продукта. Интерфейс и структура приложения реализованы средствами языка Java.

Для тестирования приложения был выбран веб-сайт [www.drom.ru](http://www.drom.ru). Данный ресурс позволяет отследить правильность работы программы, так как на сайте имеется собственная оценочная статистика отзывов на определенный продукт (автомобиль). Результаты тестирования показывают, что оценка, выдаваемая разработанным программным продуктом для проанализированных моделей, хорошо коррелирует с оценкой, полученной по этим моделям от пользователей (общим рейтингом модели).

Однако при анализе контента указанного сайта возникли определенные проблемы, которые на данном этапе разработки не были решены. Это, например, сравнение разных продуктов (часто пользователи в одном отзыве сравнивают похожие либо свои предыдущие автомобили), что негативно влияет на точность оценки.

Для устранения этой проблемы найдены следующие решения:

1. Из лексического анализа исключаются абзацы, имеющие в своем составе название автомобиля, отличное от анализируемой модели.
2. Разработка отдельного газеттира с наименованиями всех марок автомобилей и игнорирование при анализе предложений, содержащих данные ключевые слова.

Предложенные варианты являются лишь возможными решениями данной проблемы и не гарантируют абсолютной точности оценки, но при этом значительно снижают вероятность ошибки.

Приложение, разработанное на основе инструмента «Томита-парсер», является одним из подходов к структурированию данных, который также имеет свои преимущества и недостатки. Данный программный продукт реализует возможность автоматического поиска и структурирования данных в сети Интернет и является небольшим шагом вперед в изучении и машинном анализе естественного языка.

**Библиографический список**

1. Батура Т. В. Представление смысла текста на естественном языке и его лексический анализ, 2004. С. 88–90.
2. Технологии «Яндекса». «Томита-парсер» [Электронный ресурс]. URL: <http://tech.yandex.ru/tomita>.
3. Продажа автомобилей в России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.drom.ru>.
4. Рубайло А. В., Косенко М. Ю. Программные средства извлечения информации на естественном языке. 2016. № 12 (114). С. 87–92.
5. Ильвовский Д., Черняк Е. Системы автоматической обработки текстов, 2014. № 1. С. 51–53.
6. Артемов М. А., Владимиров А. Н., Селезнев К. Е. Обзор систем анализа естественного текста на русском языке, 2013. № 2. С. 189–194.

**УДК 621.8****Д. В. Лавринович**

студент кафедры управления в технических системах

**И. А. Салова**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

**ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ  
И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКРАНОВ  
МАГНИТНЫХ МУФТ**

В системах автоматики, таких как скважинные самоуправляемые насосы, системы жидкостного охлаждения радиоэлектронной аппаратуры, магнитные муфты, предназначенные для передачи крутящего момента от одного вала к другому, нашли широкое применение ввиду их надежности и эксплуатационных качеств [1]. Основной характеристикой муфт является вращающий момент. К другим важным показателям относятся габариты, масса, момент инерции относительно оси вращения. Скважинные электронасосные агрегаты предназначены для поднятия из глубины земли воды или нефти через специально обустроенные скважины.

В состав скважинных электронасосных агрегатов, используемых в настоящее время на нефтепромыслах и водозаборах, входят в качестве основных устройств трехфазный асинхронный электродвигатель и центробежный насос. Длительная эксплуатация электронасосов показала, что они имеют малый срок службы и высокую аварийность, вызванную проникновением скважинной жидкости внутрь электродвигателя. Слабым местом конструкции является узел сочленения валов электродвигателя и насоса, где полости насоса и электродвигателя могут сообщаться друг с другом. Герметизация электродвигателя осуществляется сплошным неподвижным экраном, непроницаемым для жидкостей и газов, который расположен между электродвигателем и насосом. Крутящий момент электродвигателя передается насосу через герметизирующий экран (стакан) бесконтактно синхронной магнитной муфтой на постоянных магнитах [2].

Поскольку главной задачей стакана является изолирование электродвигателя от агрессивной среды, то он должен выдерживать рабочее давление насоса без разрушения его структуры. Кроме того, он должен быть изготовлен из немагнитных материалов и быть достаточно тонкостенным для того, чтобы суммарный

зазор между полумуфтами был как можно меньше для повышения ее крутящего момента. Немаловажна и сама конструкция стакана. Так, одинарный монолитный стакан обеспечивает лучшую надежность, поскольку устраняются швы при использовании конструкции, состоящей из двух частей. Из других требований к материалу стакана следует указать низкое значение электропроводности для обеспечения малых потерь от вихревых токов, вызывающих потери мощности и снижение КПД насоса, а также его низкий коэффициент теплового расширения, особенно в условиях малых зазоров между полумуфтами.

Таким образом, важно подобрать геометрию и материал экрана, удовлетворяющий вышеперечисленным требованиям, и провести инженерный анализ его термомеханических и механических характеристик. В данной работе для анализа термомеханических и механических характеристик используется метод конечных элементов [3].

При выборе материала необходимо учитывать все условия эксплуатации, поэтому стакан должен удовлетворять следующим требованиям:

- при тепловом расширении не превышать зазор между полумуфтой и стаканом, чтобы избежать механического разрушительного взаимодействия;
- выдерживать давление, создаваемое перекачиваемой жидкостью;
- иметь стойкость к воздействию перекачиваемых химических веществ;
- иметь низкую электропроводность.

Коэффициент теплового расширения имеет немаловажную роль. Зазор между магнитами полумуфт должен стремиться к минимальному, чтобы достичь максимального момента, который муфта сможет выдержать.

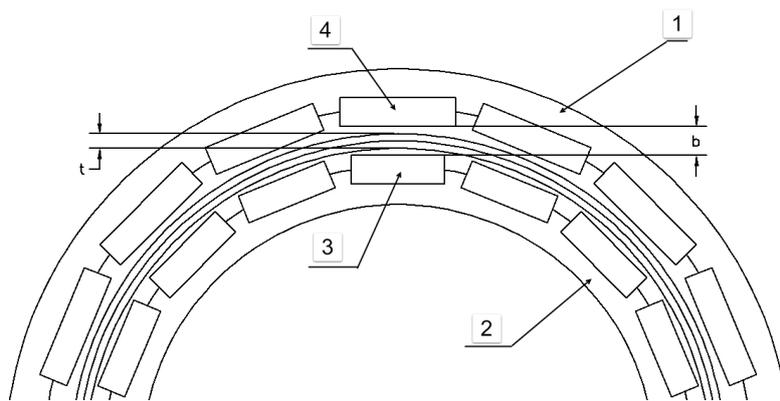


Рис. 1. Поперечная геометрия магнитной муфты

На рис. 1 приняты следующие обозначения: 1 – ведомая полумуфта, 2 – ведущая полумуфта, 3 – магнит ведущей полумуфты, 4 – магнит ведомой полумуфты,  $t$  – толщина стенки экрана,  $b$  – величина зазора.

Таким образом, задачей разработчика магнитной муфты является поиск компромисса между величиной зазора и толщиной стенки стакана. Чем меньше коэффициент теплового расширения, тем к меньшей величине стремится разница величин ( $b - t$ ). При выборе материала стакана необходимо правильно определить материал, чтобы избежать разрушительных последствий. В табл. 1 приведены физические и механические свойства различных материалов стаканов.

Немагнитные материалы, такие как Hastelloy (наименование группы сплавов на основе никеля, имеющих высокую стойкость к коррозии) или нержавеющей сталь 316SS, являются типичными для стаканов [9]. Вращение магнитного поля создает вихревые токи в материале стакана, которые производят тепло и должны быть удалены из технологической схемы рециркуляции жидкости. Вих-

ревые токи вызывают потери мощности, что в свою очередь снижает КПД насоса. Для этого следует применить материалы с низкой электропроводностью для достижения малых потерь от вихревых токов, обеспечивая наилучший КПД. Hastelloy имеет относительно низкую электропроводность и хорошую коррозионную стойкость, таким образом, является отличным выбором для металлических стаканов. В электротоконепроводящих материалах, таких как пластик и керамика, потери на вихревые токи полностью устранены. Нитрид кремния обладает превосходным сочетанием свойств. Он практически такой же легкий, как карбид кремния (SiC), но в то же время его микроструктура обеспечивает отличную устойчивость к тепловым ударам, а высокая ударная вязкость придает ему высокое сопротивление ударным нагрузкам [10]. Пластиковые стаканы, как правило, ограничены более низкими давлениями и температурами из-за ограниченной прочности пластмасс [11].

Таблица 1

Сравнительная таблица материалов

Параметр	Ед. измерения	Материал				
		Hastelloy (C-276) [4]	Сталь 316L [5]	Керамика (Нитрид кремния) [6]	ABS-пластик [7]	ПЭЭК-СА30 [8]
Максимальная рабочая температура	С	500	450	1300	90	120
Коэффициент теплового расширения	1/С 10 <sup>-6</sup>	11,75	15	3,3	87,7	106
Предел текучести	МПа	392	300	610	20	131
Плотность	г/см <sup>3</sup>	8,89	8	3,18	1,06	1,41
Модуль Юнга	Гпа	208	206	427,18	2,24	7,584
Коэффициент Пуассона	безразмерная	0,3	0,3	0,23	0,38	0,3
Магнитная проницаемость	Гн/м	1,002	1,005	1	1	1
Удельное объемное электрическое сопротивление	Ом·м	1,25 10 <sup>-6</sup>	0,75 10 <sup>-6</sup>	1 10 <sup>12</sup>	4 10 <sup>13</sup>	1 10 <sup>3</sup>

Одним из распространенных электротоконепроводящих материалов с физическими характеристиками близкими или превосходящими сталь является полиэфирэфиркетон марки KETRON PEEK-CA30. Одним из примеров продуктов конструкции с композитной неметаллической арматурой является стакан ZeroLoss компании Sundyne [12].

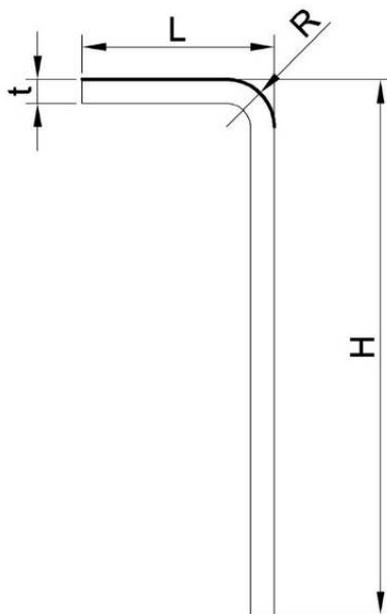
Лидером в практическом применении до сих пор остаются материалы из стали разных марок. Такими материалами являются марка Hastelloy (с-276) и «Сталь 316L». Отечественным аналогами являются соответственно ХН65МВУ и 08Х17Н13М2 [13]. Такие марки стали обладают близким к вакууму коэффициентом магнитной проницаемости и практически не создают вихревых токов, что способствует увеличению КПД муфты, устраняя тепловые потери и перегрев мате-

риала стакана. Типичными диэлектриками для материала стакана являются нитрид кремния, ABS-пластик и ПЭЭК (полиэфирэфиркетон) марки СА30 (70% полимер, 30% углеродное волокно). ABS-пластик наименее всего устойчив к высокому давлению и большим температурам, но очень дешев в производстве, поэтому выгоден при определенных технических условиях.

Особый интерес представляет ПЭЭК-СА30. Он имеет малую плотность, обладает достаточно неплохими характеристиками, вследствие чего масса стакана существенно уменьшается. Как заявляет производитель, данный материал имеет приблизительно вдвое меньший коэффициент расширения по сравнению со сталью со схожими свойствами [14].

Далее рассмотрим термомеханическую устойчивость экранов, изготовленных из разных материалов путем моделирования связанной (мультидисциплинарной) задачи в программном комплексе ELCUT 6.0 [15]. Анализ изменения геометрии экрана производится с учетом предварительно рассчитанного распределения температуры. На рис. 2 изображена геометрическая модель для проведения термомеханического анализа в постановке осесимметричной задачи. На нем жирной линией изображен контур, вдоль которого измеряются деформирующие смещения вследствие изменения температуры. Моделирование проводится в два этапа. Вначале решается задача стационарной теплопередачи при заданном значении температуры окружающей среды (40, 60, 80 °С). За базовую температуру, при которой смещения равны нулю, принята температура 20 °С. Затем результаты решения этой задачи передаются в механическую задачу деформации и напряжений.

На рис. 3, 4, 5 приведены результаты исследования на зависимость термомеханического расширения материала стакана от изменения температуры при трех значениях.



*Рис. 2. Профиль геометрии для моделирования в Elcut:  
 $L$  – высота стакана (22 мм);  $H$  – значение радиуса стакана (56, 25 мм);  
 $t$  – толщина стенки стакана (2, 5 мм);  $R$  – радиус фаски (5 мм)*

Как следует из графиков, керамика обладает наименьшим смещением, а ABS-пластик наибольшим.

При разрыве стакана или появлении микротрещин герметичность насоса пропадает, и устройство выйдет из строя. Поэтому очень важно провести статическое моделирование стакана. Также при достижении резонансных частот материал стакана может разрушиться, поэтому важно провести модальный анализ конструкции стакана. Результаты исследования приведены в табл. 2–5. Для проведения анализа запаса прочности материала стакана используется 3D-моделирование в AutoDesk Inventor [7]. 3D-модель изображена на рис. 6. Распределение давления показано на рис. 7. На рис. 8 представлены результаты распределения механических напряжений в детали.

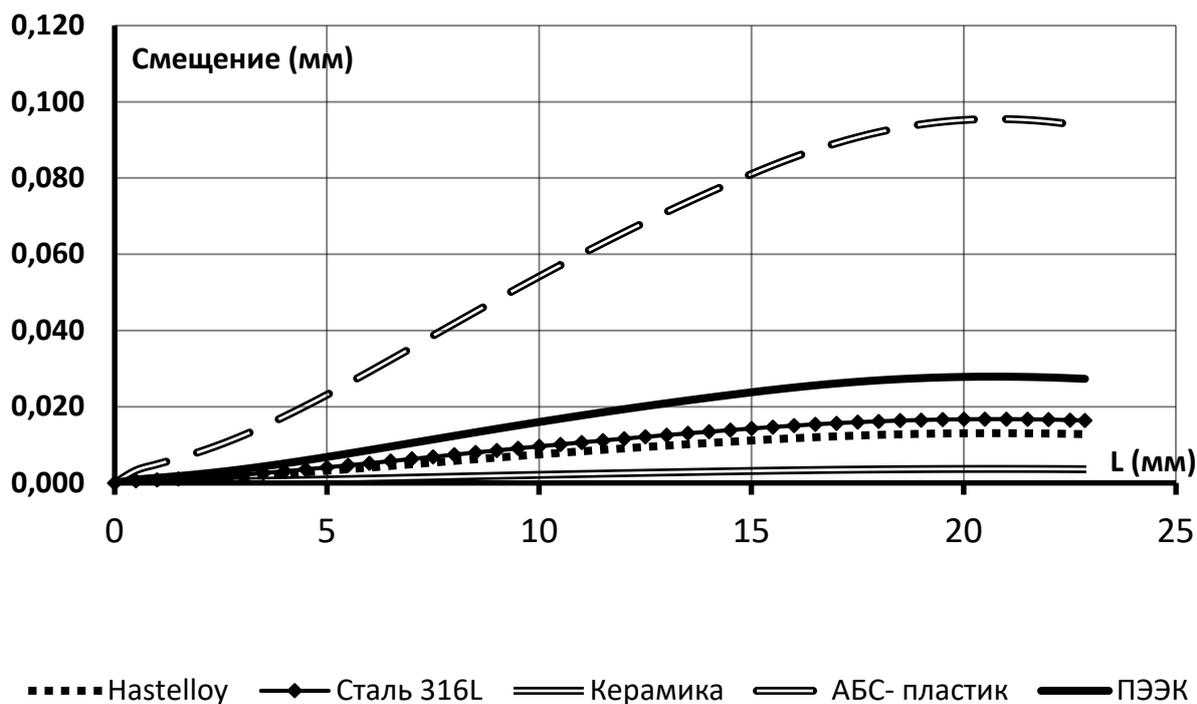


Рис. 3. Зависимость смещения от температуры при 40 °C

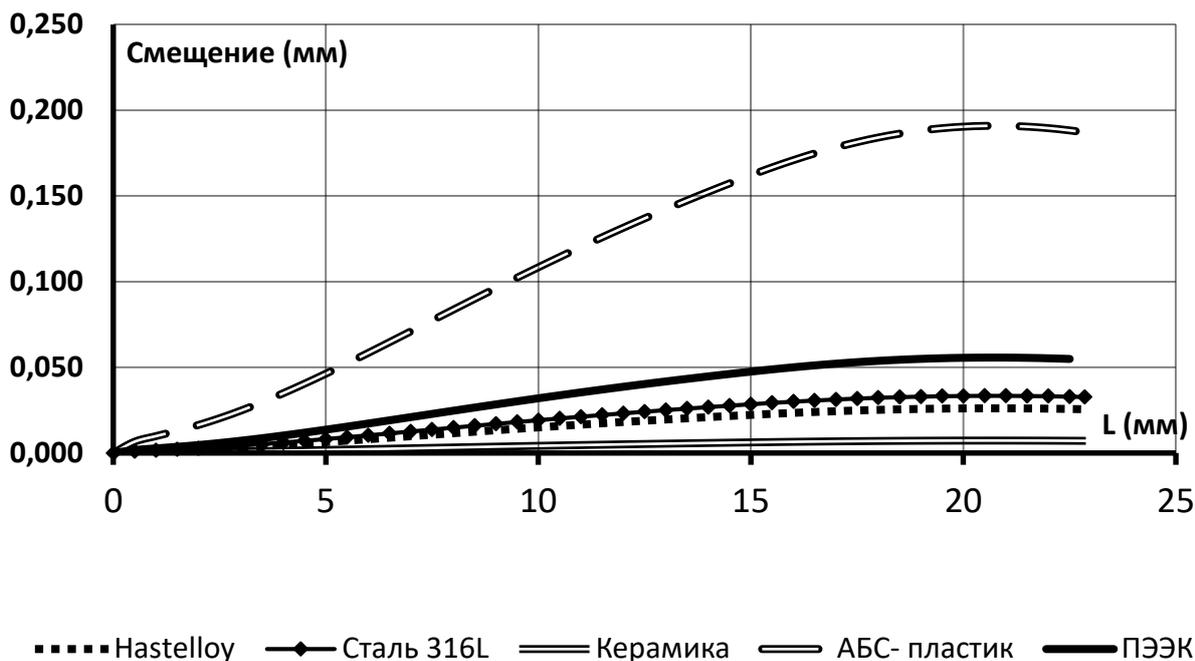
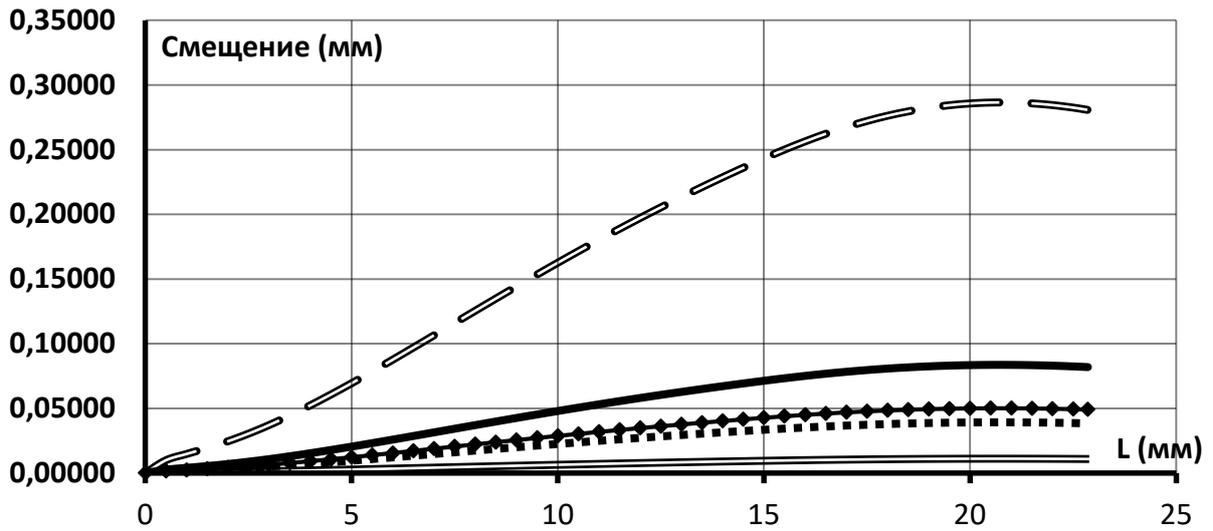


Рис. 4. Зависимость смещения от температуры при 60 °C



.....Hastelloy    ◆ Сталь 316L    ══════ Керамика    ══════ АБС- пластик    ══════ ПЭЭК

Рис. 5. Зависимость смещения от температуры при 80 °С

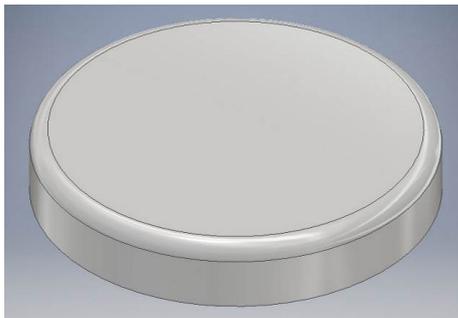


Рис. 6 Модель муфты 3D

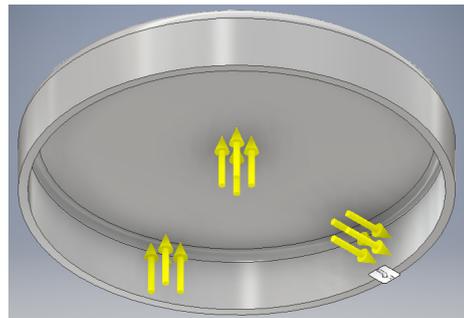


Рис. 7. Распределение давления

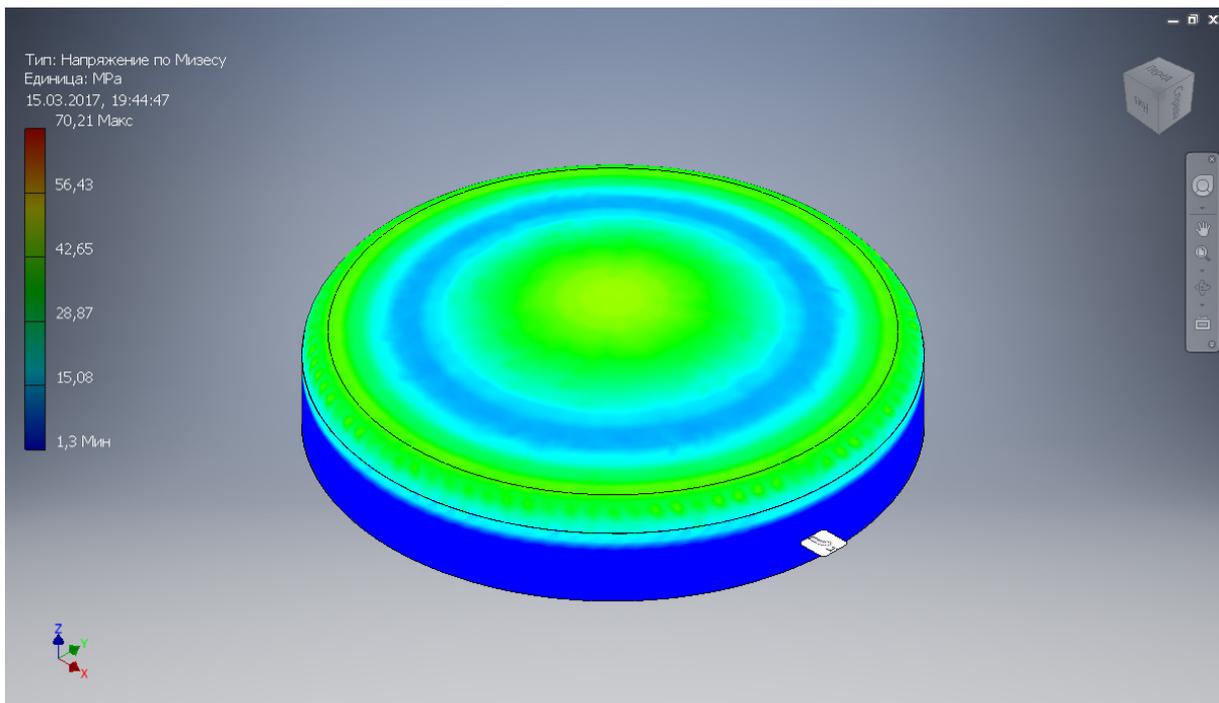


Рис. 8. Распределение механических напряжений в детали

На рис. 8 отчетливо видно, как распределяются нагрузки давления на стакан. Наибольшие нагрузки прилагаются к фаскам стакана.

Результаты модального анализа приведены в табл. 2. Также было проведено исследование на зависимость результата моделирования от точности разрешения сетки метода конечных элементов. Рекомендованным производителем ПО значение СРЭ (средний размер элементов) для моделирования является СРЭ = 0,05. При попытках увеличить точность до 0,08 программа значительно замедляла расчеты, однако точность получаемых результатов не увеличилась.

Результаты статического анализа приведены в табл. 3, 4. В табл. 3 представлены результаты исследования при приложении различного давления на стакан, при фиксированной СРЭ = 0,05. В табл. 4 показаны результаты исследования при приложении фиксированного давления, но при различной точности разрешения сетки.

Таблица 2

Модальный анализ при разной плотности сетки

Материал	Значение первой Моды (Гц)		
	СРЭ = 0,1	0,08	0,05
Hastelloy C-276	1862	1859	1827
«Сталь 361L»	1953	1950	1917
Керамика (нитрид кремния)	4363	4361	4289
ABS-пластик	581	587	567
ПЭЭК-СА30	892	891	876

Таблица 3

Статический анализ при разных значениях давления

Материал	Значение давления нагрузки при СРЭ = 0,05				
	P = 0,2 МПа	P = 0,25 МПа	P = 0,3 МПа	P = 0,4 МПа	P = 0,5 МПа
Hastelloy C-276	68	85	102	136	170
«Сталь 361L»	68	85	102	136	170
Керамика (нитрид кремния)	70,4	88,01	105,6	140,8	176
ABS-пластик	65,67	82,09	98,5	131	164
ПЭЭК-СА30	68	85	102	136	170

Таблица 4

Статический анализ при разной плотности сетки

Материал	Значение давления нагрузки по Мизесу при P = 0,4 МПа		
	СРЭ = 0,1	СРЭ = 0,08	СРЭ = 0,05
Hastelloy C-276	135,1	135,8	136
«Сталь 361L»	135,1	135,8	136
Керамика (нитрид кремния)	140	140,6	140,8
ABS-пластик	131,1	131,3	131,3
ПЭЭК-СА30	135,1	135,7	136

Зависимость коэффициента запаса прочности при различном давлении

Материал	КЗП				
	P = 0,2 МПа	P = 0,25 МПа	P = 0,3 МПа	P = 0,4 МПа	P = 0,5 МПа
Hastelloy C-276	5,76	4,61	3,84	2,88	2,31
«Сталь 361L»	4,41	3,53	2,94	2,21	1,76
Керамика (нитрид кремния)	8,66	6,93	5,78	4,33	3,47
ABS-пластик	0,30	0,24	0,20	0,15	0,12
ПЭЭК-СА30	1,93	1,54	1,28	0,96	0,77

В табл. 5 приведена зависимость коэффициента запаса прочности при различном давлении. На рис. 9 приведен график, который наглядно изображает отличие коэффициентов запаса прочности для различных материалов.

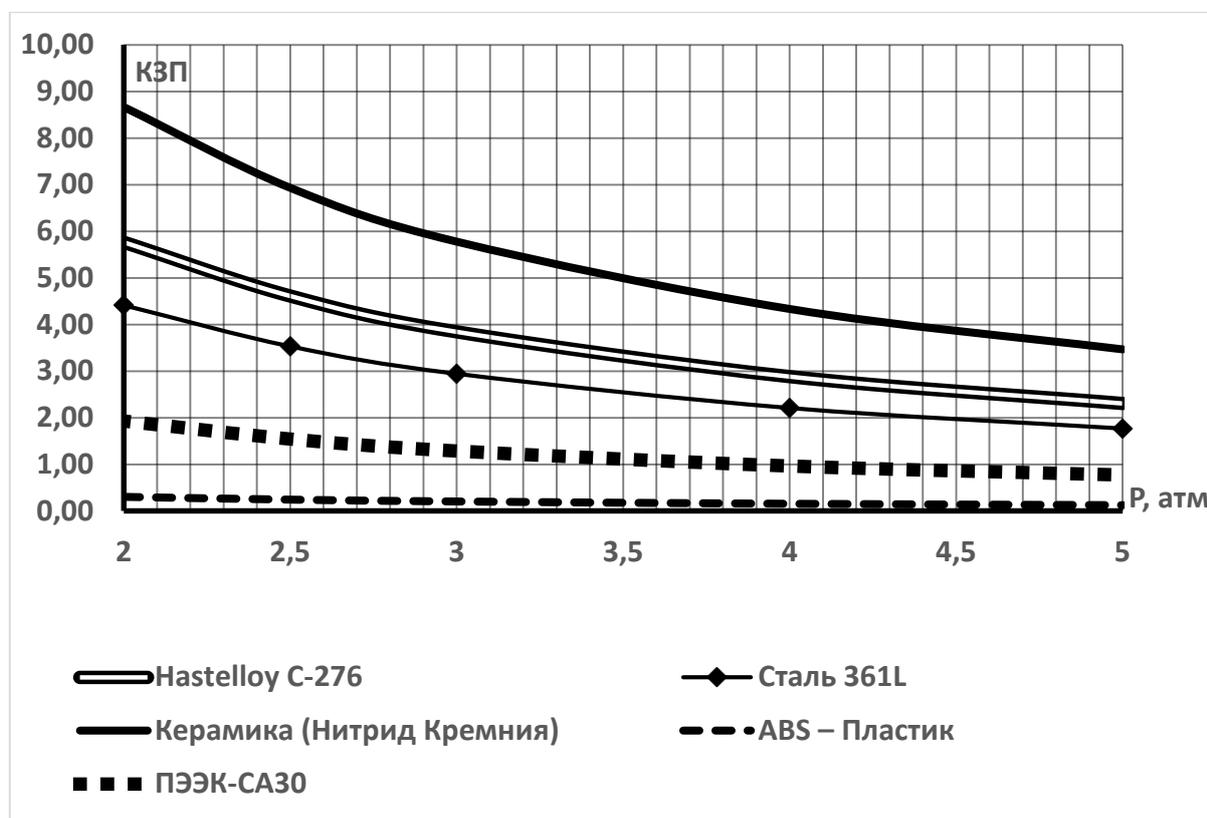


Рис. 9. График зависимости КЗП при различном давлении

**Выводы:** на основе результатов, проведенных исследований термомеханического расширения, анализа прочности стакана предпочтительным материалом является керамика (нитрид кремния). Он обладает наилучшими механическими и термомеханическими характеристиками, хорошей устойчивостью к химической коррозии и неорганическим кислотам. Из-за трудностей технологического процесса изготовления деталей из данного материала имеет высокую цену. Поэтому наиболее востребованными для большинства технических решений являются материалы стакана из сталей Hastelloy и 316L.

**Библиографический список**

1. Петров А. И., Арувелли С. В. Современные тенденции развития насосов для систем жидкостного охлаждения бортового и наземного радиоэлектронного оборудования // Инженерный Вестник. ФГБОУ МГТУ им. Н.Э. Баумана. № 11. 2015. С. 1–6.
2. Лавринович Д. В. Автоматизация расчетов магнитных муфт: сб. докл. Заваалишинские чтения. СПб., 2016. С. 84–91.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. С. 538.
4. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lasmet.ru/steel/mark.php?s=54>.
5. [Электронный ресурс]. URL: [http://markistali.ru/aisi\\_316\\_aisi\\_316t\\_aisi\\_316l/](http://markistali.ru/aisi_316_aisi_316t_aisi_316l/).
6. [Электронный ресурс]. URL: [http://c-component.ru/PRODUCTS/Ceramic\\_Substrates/Si3N4](http://c-component.ru/PRODUCTS/Ceramic_Substrates/Si3N4).
7. Autodesk Inventor Professional v.14 (библиотека материалов).
8. Product Datasheet Quadrant Engineering Plastic Products.
9. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хастеллой>.
10. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ceramtec.com.ua/ceramic-materials/silicon-nitride/>.
11. [Электронный ресурс]. URL: [www.fluidbusiness.ru](http://www.fluidbusiness.ru).
12. Композитные стаканы ZeroLoss™ для герметичных насосов с магнитным приводом [Электронный ресурс]. URL: <http://intohandel.ru/wp-content/uploads/2016/12/Germetichnyy-stakan-ZeroLoss.pdf>.
13. [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Нержавеющая\\_сталь\\_AISI\\_316](https://ru.wikipedia.org/wiki/Нержавеющая_сталь_AISI_316).
14. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.intohandel.ru/> – Композитные стаканы ZeroLoss™ для герметичных насосов с магнитным приводом, стр. 3.
15. ELCUT v.6.0. Комплекс программ для моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач. Руководство пользователя. СПб.: Производственный кооператив TOP, 2014.

**УДК 681.51**

**С. Ю. Лач, А. И. Казаков, А. В. Рысин, В. В. Шевцов**

студенты кафедры электромеханики и робототехники

**С. В. Солёный**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

**СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ**

В современном обществе все более распространенными являются интеллектуальные системы «умный дом». Уже сейчас имеются различные варианты подобной домашней автоматизации («Эктострой», BeSmart, A. P. Technology и др.) [1, 2]. Данные разработки призваны решать задачи контроля и согласованного действия различных инженерных систем всего дома: вентиляции, отопления, охраны, освещения и др. Кроме слаженной работы система должна иметь простой и понятный интерфейс для более легкого взаимодействия с человеком.

С резким скачком технического прогресса, который взаимодействует с большими затратами энергии, для сохранения баланса между естественной и искусственной составляющими земли человечество должно уделять большое внимание неисчерпаемым ресурсам, особенно это касается солнечной энергии. Равномерное и разумное использование естественного света влечет за собой сокращение лишних затрат и, соответственно, экономическую выгоду [3].

В данной статье рассмотрен проект автоматизации освещения на базе микроконтроллера Intel Edison [4], который позволяет создать оптимальное освещение в помещении за счет рационального использования электрической и солнечной энергии. Такой подход позволит наполнить организм человека необходимым ему витамином D3, при этом получится снизить расходы на электричество. Автоматический контроль за жалюзи поможет освободить человека от лишних действий, а также создать оптимальное попадание ультрафиолета в помещение, что будет способствовать снижению вредных вирусов и бактерий.

Прототип проекта (рис. 1) состоит из: сервопривода, который имитирует более мощный привод для жалюзи (роль ставней); датчика света в виде фоторезистора, который регистрирует величину светового потока; светодиода, который имитирует источник света в помещении; кнопки для принудительного управления освещением в помещении; двустрочного LCD-дисплея, на котором отображаются различные параметры системы.

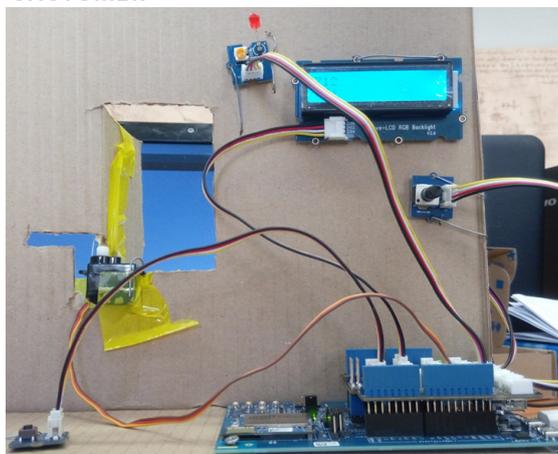


Рис. 1. Система автоматизации освещения в помещении

Для задания граничного уровня освещения в помещении, при котором происходит открытие/закрытие окон, введено регулируемое сопротивление. Управление всеми компонентами происходит при помощи вычислительного модуля Intel Edison с платой расширения. Модуль обладает достаточной мощностью, в нем содержится двухъядерный процессор Intel Atom с частотой 500 МГц, оперативной памятью 1 ГБ и флеш-памятью 4 ГБ. Это позволяет использовать микроконтроллер как отдельный компьютер с собственной операционной системой. Наличие Bluetooth и Wi-Fi делает управление системой достаточно удобным. Контроль состояния системы достигается использованием облака Intel IoT Analytics, предназначенного для сбора данных и управления устройствами.

Для реализации адекватной работы системы был разработан алгоритм управления (рис. 2).

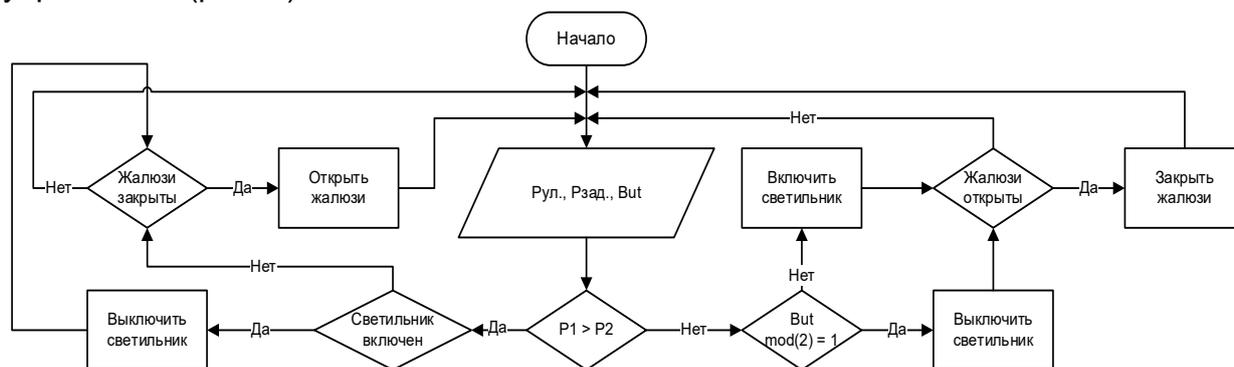


Рис. 2. Алгоритм управления системой

Алгоритм состоит из одного цикла, в начале которого считываются показания с датчиков: с фоторезистора – освещенность на улице Рул.; с регулируемого сопротивления – заданная освещенность Рзад. Также создается переменная But, в которую записывается количество нажатий кнопки. Затем происходит сравнение освещенности на улице Рул и заданной освещенности Рзад. В результате формируются два условия  $\text{Рул} > \text{Рзад}$  и  $\text{Рул} < \text{Рзад}$ .

В первом случае количество света снаружи достаточно для нормальной работы человека в помещении. Соответственно, если включены световые приборы, то их необходимо отключить, а жалюзи открыть, если они находятся в закрытом положении.

В том случае, если освещения на улице недостаточно, то необходимо закрыть жалюзи, а после включить освещение. При необходимости можно отключить искусственное освещение нажатием кнопки.

Для того чтобы узнать, какая задана пороговая освещенность и количество света снаружи, используется вышеупомянутый дисплей. В нашем случае он является аналогом облака. Наличие самого облака помогает избавиться от LCD-дисплея и регулируемого сопротивления путем их замены приложением на смартфоне.

Программный код для данной системы разработан в среде программирования Arduino IDE:

```
#include <rgb_lcd.h> #include "rgb_lcd.h" #include <Servo.h>
rgb_lcd lcd; Servo servo;
int led = 4; int ldrOUT = A0; int SensorValue = 0; int serv = 3; int vol = A2;
int Lumen = 0; int but = 5; int knop = 0; int flag = 0; int sum = 0;
int colorR = 0; int colorG = 150; int colorB = 150;
boolean buttonWasUp = true; boolean ledEnabled = false;
void setup() { pinMode(led, OUTPUT); pinMode(but, INPUT_PULLUP);
servo.attach(serv);
Serial.begin(9600); lcd.begin(16, 2);
lcd.setRGB(colorR, colorG, colorB); }
void loop() {
SensorValue = analogRead(ldrOUT); Lumen = analogRead(vol);
knop = digitalRead(but);
if (SensorValue > Lumen) { servo.write(90); digitalWrite(led, LOW); }
if (SensorValue < Lumen){
if (knop==LOW&&sum==0){ servo.write(0); digitalWrite(led, HIGH); }
if (knop==HIGH){ sum++; }
if (sum==1) { servo.write(0); digitalWrite(led, LOW); }
if (sum==2) { servo.write(0); digitalWrite(led, HIGH); sum=0; } }
lcd.setCursor(0, 0); lcd.print(Lumen); lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(SensorValue); delay(200); lcd.clear(); }
```

Данный код подключает библиотеки для управления сервоприводом и LCD-дисплеем. Далее задаются порты входов. Считывание освещенности произво-

дится с фоторезистора, сопротивление которого изменяется в зависимости от плотности светового потока. Аналоговый сигнал принимает значения от 0 до 1023. В данном случае фоторезистор подключен к аналоговому входу А0.

На аналоговый вход А2 подключается потенциометр для задания порога освещенности на улице и дальнейших операций сравнения. При освещенности на улице ниже пороговой освещенности, выставленной потенциометром, подается сигнал поворота сервопривода на 90 градусов и включение светодиода внутреннего освещения. Сервопривод подключается к пину 3, а светодиод к пину 4. Для выключения лампочки (светодиода), но не открывания жалюзи (сервопривод остается в своем положении) подключена кнопка к пину 5. При нажатии кнопки программа ведет счет количества нажатий. При одном нажатии лампочка гаснет, при повторном нажатии лампочка загорается, и счетчик обнуляется. На дисплей выводится два показания освещенности: освещенность на улице и пороговая освещенность.

В дальнейшем система может быть модернизирована заменой кнопки на датчик касания, а для обеспечения большего момента сервопривод заменится двигателем. Количество светодиодов следует увеличивать и подобрать под тип помещения. Несомненные достоинства данной системы в том, что ее можно модернизировать, добавлять при необходимости разные компоненты, совмещать с различными системами автоматизации, т. е. использовать ее как самостоятельную систему или в совокупности с иными средствами автоматизации.

### **Библиографический список**

1. Официальный сайт компании Эктострой. Производство и продажа GSM-систем [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ectostroy.ru/>.
2. Официальный сайт компании А. Р. Technology [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aptech.ru/>.
3. Солёный С. В., Овчинников А. Ю., Белай В. Е., Николаенко В. А. Система привода солнечной батареи. Материалы Республиканской научно-практической конференции «Электроэнергетика, гидроэнергетика, надежность и безопасность» / Таджикский технический ун-т им. академика М. С. Осими. Душанбе: Промэкспо, 2016. С. 241–245.
4. Массальский М. Введение в технологию Intel Edison. Книга новичка, или освоение образовательного набора по электронике и программированию. Набор Роботов А1 от Maxxlife Robot. Первое изд., 2015. 142 с.

**УДК 62.503.55**

**А. А. Мельникова**

студентка

Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ПРОГРАММНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТАНКОВ С ПРОГРАММНОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ**

Как часто мы сталкиваемся с таким понятием, как система программного регулирования оборудования? Какую часть эти системы занимают в производственных аспектах жизни людей? Насколько они являются эффективными? Си-

стемы программного регулирования, или же системы с программной конфигурацией, предназначены для различного вида оборудования. В своей реализации они используют специальные программные коды, устанавливающиеся на оборудование, с последующим исполнением заданных в программе конфигураций, для корректной работы всей системы.

Современные автоматизированные системы, базирующиеся на программной конфигурации, занимают огромное место в различных производственных процессах, таких как: автоматическая стабилизация, системы слежения, а также системы программного регулирования, каждая из этих разновидностей служит людям средством точных измерений, проверки состояния объекта и изменения его свойств и поведения. Как правило, чаще всего такие программные системы используются для различного оборудования в промышленных организациях. Попробуем разобраться, насколько программная системная реализация рабочего процесса является качественней и эффективней, чем обычная автоматическая реализация, на примере работы со станками в промышленных масштабах.

В настоящее время на предприятиях станки с программным управлением находят все большее применение. Нужно учитывать, что для обслуживания такого современного оборудования необходима квалифицированная подготовка программистов, которые умеют работать с такими системами. В связи с этим появляется проблема со сложностью ремонта оборудования и необходимость в проведении типизации изделий для обработки и изготовления. Несмотря на это, оборудование, использующее такие системы, имеет много достоинств, их можно проследить во многих аспектах работы:

- человек освобождается от работы на станке, что позволяет увеличить большую занятость людей другими видами деятельности на предприятии;
- данные станки способствуют увеличению производительности труда, а также обеспечивают оборудование гораздо более плотной загрузкой; повышение эффективности оборудования: один станок, имеющий управление, основанное на программных средствах, может заменить до восьми обыкновенных станков;
- автоматизированное программное управление может сделать доступной и централизовать подготовку программ для различных отраслей промышленности;
- использование данных станков во многом повышает качество обработки изделий и уменьшает процент брака.

Аппаратные устройства с системами программного регулирования во многом улучшают производство. Если сравнить их с оборудованием, которое основывается на обычных системах управления, то можно сделать вывод, что реализация его на предприятии обходится гораздо дороже в плане рабочих кадров и ресурсов, затрачиваемых на содержание такого оборудования. Поэтому компании, которые могут позволить себе использовать современное аппаратное обеспечение, базирующееся на программных кодах и способное свободно конфигурировать без вмешательства человека, являются наиболее эффективными и производительными. Организации, стремящиеся достичь максимальной выгоды от производства, должны стараться обеспечивать свою промышленность именно таким оснащением для повышения результативности, качества и доходов организации.

### **Библиографический список**

1. Глушков В. М. Энциклопедия кибернетики // Система программного управления. 1974. С. 341–342.

УДК 62.503.55

**А. А. Мельникова**

студентка

Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ

## ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ ПРОГРАММНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В статье рассматриваются системы программного регулирования, основные части таких систем, их применение, а также способы программного осуществления программирования оборудования.

Чем являются системы автоматизированного управления в настоящее время? В чем заключается понятие программных систем регулирования и чем они отличаются от других? Автоматизированная система является систематизированной совокупностью данных об объекте контроля, использующей собственные, заложенные в нее алгоритмы для изменения его поведения при необходимости, без какого-либо вмешательства человека в структуру системы.

В основе же систем программного регулирования лежит совокупность известных языков программирования, трансляторов и программ. Системы, в которых используются программные средства управления, обеспечивают корректное функционирование приборов и оборудования. Задачей таких систем является обработка заранее написанного программного кода и последующее его выполнение. Любая система, использующая программное управление, подразделяется на следующие части:

- программноноситель, он содержит в себе код программы работы основных команд исполнителей и механизмов оборудования;
- устройство программы ввода;
- устройство считывания, которое преобразует код программы в особенные электрические сигналы, используемые для конфигурации системы;
- устройство преобразования, которое превращает полученные сигналы в определенные рабочие команды, а далее занимается подачей этих сигналов на привод исполнительных органов оборудования для конфигурации системы.

Рассмотрим работу систем программного регулирования на примере промышленных станков. Под программой для определенного оборудования подразумевается подробное и корректное описание всего технологического процесса по обработке изделия или детали в активированном режиме станка автоматической работы. Из этого следует, что обладателем, то есть носителем информации, выступает в данном случае сама программа или же программный код, связанный напрямую со станком. Существует два способа осуществления программирования таких станков.

Первый способ базируется на чертеже детали, в дальнейшем он преобразуется, а затем кодируется и принимает вид определенной таблицы либо аналитического уравнения. При этом следование инструмента по траектории и рабочих частей станка разбивается на упрощенные участки. Программный код внедряется в универсальную или специализированную вычислительную машину. Программа, имеющая большой размер, встраивается в систему управления станком.

Второй способ образования программы заключается в «обучении» главной, то есть управляющей машины. Отпадает необходимость составления таблицы или уравнения траектории движения инструмента или детали. В таком случае на нужный станок помещается заготовка и подключается основное программное устройство. Рабочий выпускает по чертежу первую деталь с управлением вруч-

ную, а данные об обработке и нужном изготовлении детали автоматически заносятся на магнитную ленту от станка.

Итак, можно сказать, что оборудование, базирующееся на системах с программным управлением, необходимо в настоящее время на каждом автоматизированном производстве, компании стараются использовать их повсеместно, и это правильно, ведь оснащенные таким оборудованием предприятия переводят свою работу на новый, более эффективный, модернизированный и прибыльный уровень.

### **Библиографический список**

1. Глушков В. М. Энциклопедия кибернетики // Система программного управления. 1974. С. 341–342.

### **УДК 004.3 (4)**

**Л. В. Михеев, А. В. Перфильев**

студенты кафедры управления в технических системах

**С. В. Соленьий**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## **СЕНСОРЫ ИЗГИБА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ АНТРОПОМОРФНЫМИ РОБОТАМИ**

При создании систем управления робототехническими объектами зачастую используется широкий набор сенсоров, различной конфигурации и конструкции. На сегодняшний день в 80% случаев робототехнические системы оснащаются следующими типами сенсоров: расстояния (оптические и инфракрасные); вибрации (механические); видеообработки (камеры); распознавания цвета (оптические), положения (гироскопы и акселерометры) и др. В качестве каналов передачи информации применяется технологии Bluetooth, Wi-Fi, GSM и др.

Однако существуют антропоморфные робототехнические системы для управления, которыми необходимо считывать или повторять движения человеческого тела. Зачастую это касается таких частей человеческого тела, как руки, ноги и особенно пальцы как наиболее тонкий инструмент, созданный природой. Для построения подобных систем управления применяются самые разные подходы, однако наиболее распространенным является способ считывания информации с резистивного сенсора изгиба или Flex-сенсора (рис. 1). Такие сенсоры обладают рядом механических и электрических недостатков: ограниченный цикл изгибов; жесткость и невозможность повторения следования и интерпретирования мелких изгибов; ступенчатое изменение внешней характеристики [1].

В статье представлен способ создания и интеграции оптических сенсоров изгиба, которые предназначены для управления пальцами механической рукой.

Принципиальная электрическая схема оптического сенсора изгиба представлена на рис. 2.

Конструктивно оптический сенсор изгиба представляет собой силиконовую трубку диаметром 5 мм и длиной 100–120 мм. Она зависит от того, для какого пальца человеческой руки предназначен сенсор. С одной стороны трубки вваривается светодиод VD1 (красного цвета, диаметром 5 мм), а с другой – фоторезистор R3 (диаметром 5 мм). После проведения всех электрических соединений согласно принципиальной электрической схеме (рис. 2) вся конструкция вставляется в черную термоусадочную трубку диаметром 10 мм (рис. 3).

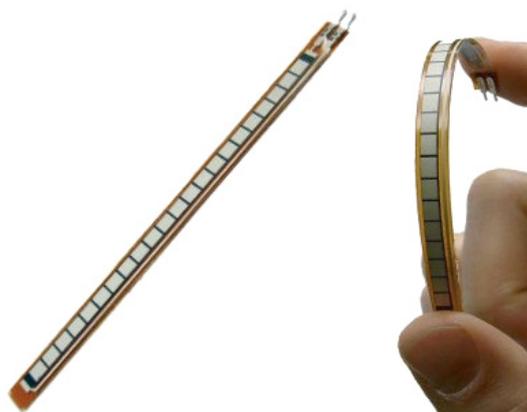


Рис. 1. Резистивный Flex-сенсор изгиба

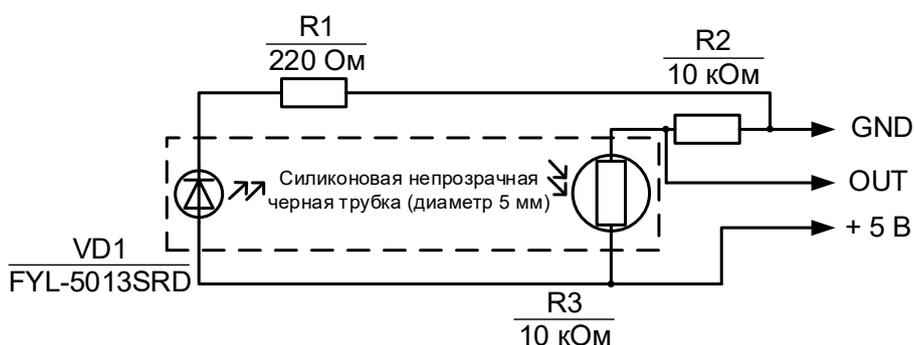


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема оптического сенсора изгиба

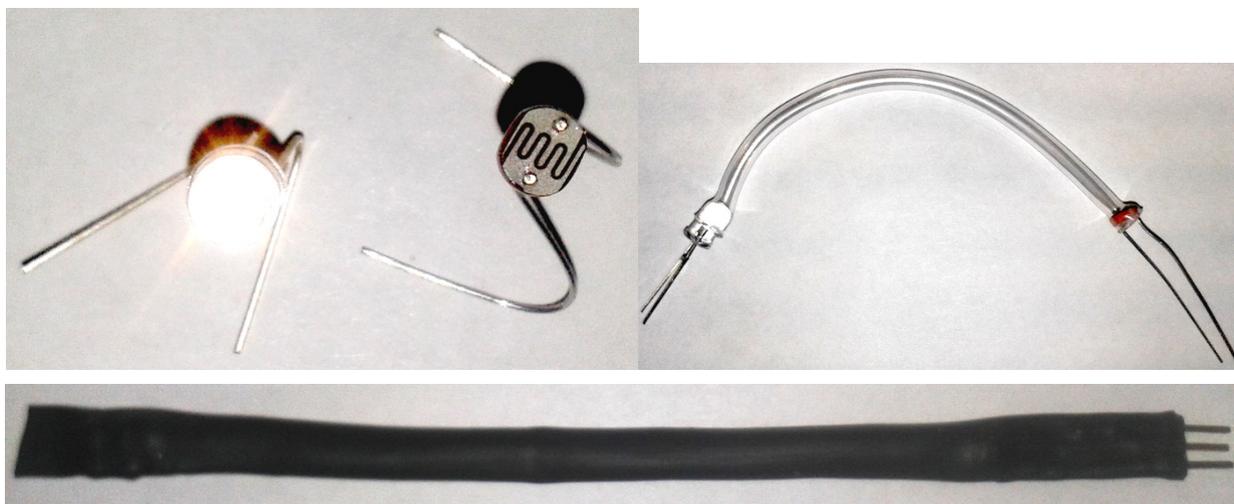
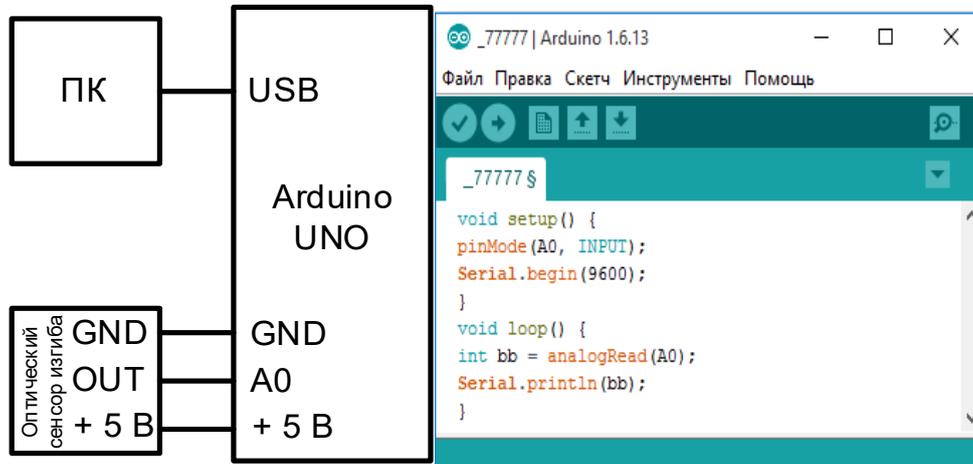


Рис. 3. Этапы изготовления оптического сенсора изгиба

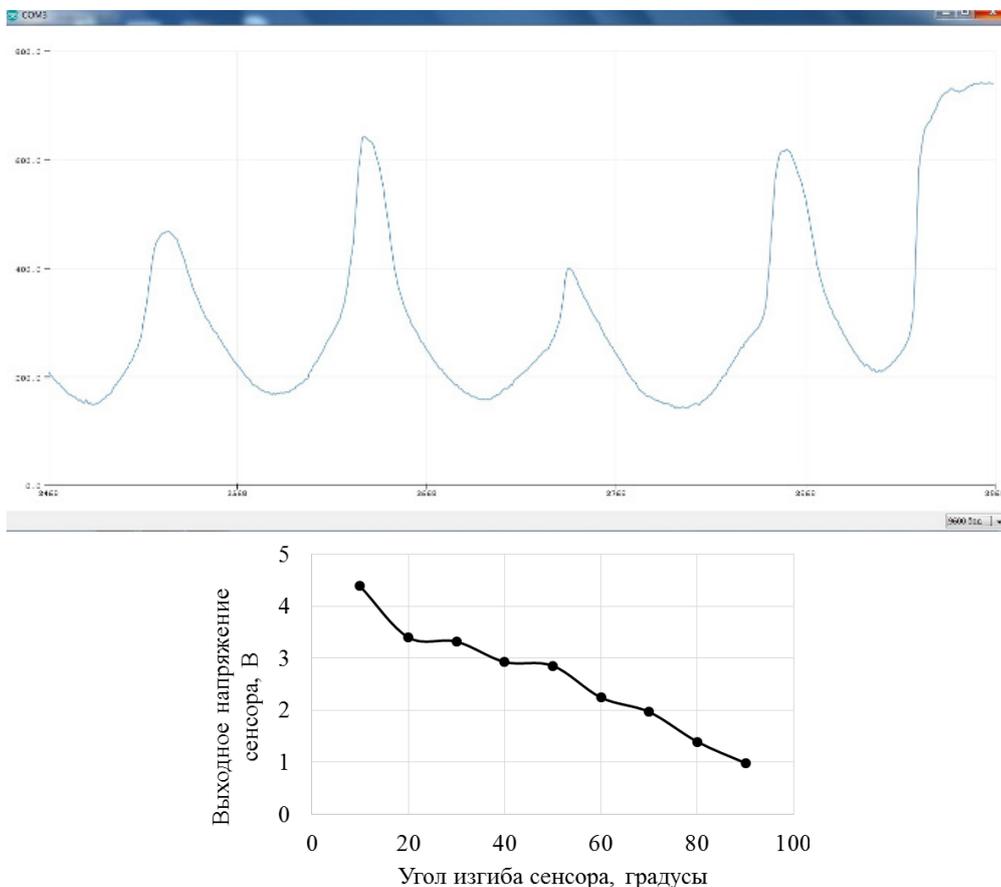
Для снятия характеристики выходного напряжения оптического сенсора изгиба от угла его изгиба применялась принципиальная электрическая схема на базе микроконтроллера Arduino UNO [2] и алгоритм, который написан в программном обеспечении Arduino IDE [3] (рис. 4).

Для построения зависимости выходного напряжения оптического сенсора изгиба от угла его изгиба в программном обеспечении Arduino IDE использовался «Монитор порта» (Ctrl+Shift+M) и «Плоттер по последовательному соединению» (Ctrl+Shift+L). Зависимости представлены на рис. 5.

Анализ зависимостей (рис. 5) показал достаточный, а главное плавный диапазон изменения выходного напряжения оптического сенсора изгиба от угла его изгиба в диапазоне 0,98–4,38 В. Таким образом, полученный оптический сенсор изгиба после закрепления на одном из пяти пальцев перчатки можно применять для управления сервоприводом Futaba S3003, который будет приводить в движение пальцы механической руки через металлические тросы (рис. 6).



*Рис. 4. Принципиальная электрическая схема на базе микроконтроллера Arduino UNO и алгоритм в Arduino IDE для снятия характеристики выходного напряжения оптического сенсора изгиба от угла его изгиба*



*Рис. 5. Зависимость выходного напряжения оптического сенсора изгиба от угла его изгиба*

Для управления сервоприводом Futaba S3003 [4] при помощи оптического сенсора изгиба применялась принципиальная электрическая схема на базе микроконтроллера Arduino UNO и алгоритм, который написан в программном обеспечении Arduino IDE (рис. 7).

Испытания принципиальной электрической схемы и алгоритма (рис. 7) показали достаточную чувствительность, плавность и работоспособность изготовленного оптического сенсора изгиба при управлении сервоприводом Futaba S3003. В процессе экспериментов была выявлена необходимость доработки алгоритма управления сервоприводом Futaba S3003, так как оптический сенсор изгиба может изгибаться в диапазоне 0–90 градусов. Необходимо адекватно спроецировать данный диапазон на угол поворота сервопривода, который изменяется в диапазоне 0–180 градусов. Дальнейшая работа будет направлена на совершенствование алгоритма управления.

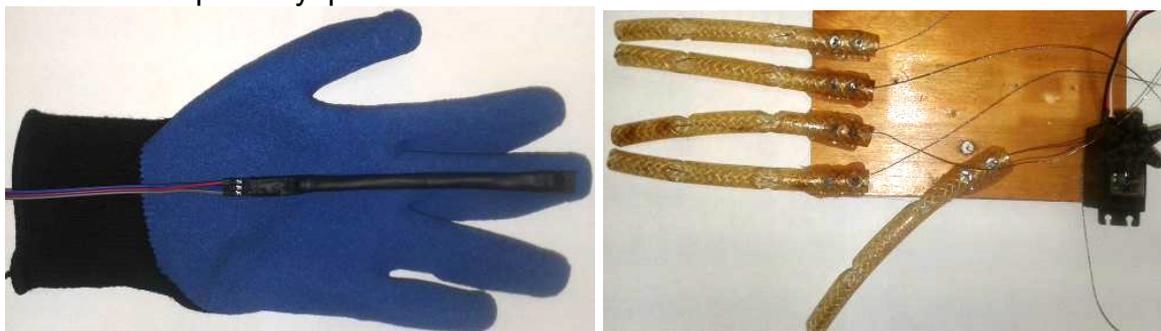


Рис. 6. Схема закрепления оптического сенсора изгиба на одном из пяти пальцев перчатки и механическая рука с сервоприводом и металлическими тросами

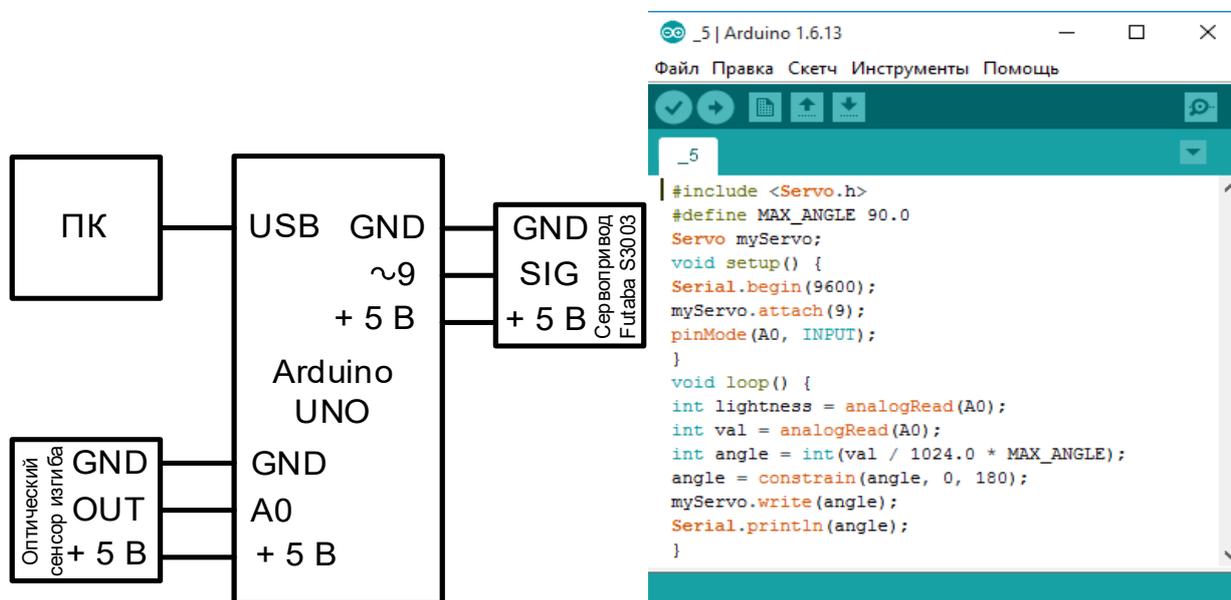


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема на базе микроконтроллера Arduino UNO и алгоритм в Arduino IDE для управления сервоприводом Futaba S3003

### Библиографический список

1. Официальный сайт Sparkfun Start Something [Электронный ресурс]. URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/FLEXSENSORREVA1.pdf>.

2. Сомер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 256 с.

3. Петин В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 400 с.

4. Солёный С. В., Солёная О. Я. Методическое пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Программное обеспечение мехатронных и робототехнических систем». СПб.: ГУАП, 2016. 81 с.

**УДК 629.735.33**

**И. С. Назойкина**

студентка факультета компьютерных информационных технологий и автоматике  
Донецкого национального технического университета

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СТЕРИЛИЗАЦИИ В АВТОКЛАВЕ

**Постановка проблемы.** Составление математической модели процесса стерилизации обладает рядом особенностей. Так, уравнение теплового баланса составляют на основании закона сохранения энергии, в соответствии с которым количество теплоты, введенное в систему, равно количеству выделившейся теплоты.

Тепловой поток от воды к стерилизуемым банкам можно определить, используя следующие соотношения (1):

$$Q_{\delta} = \alpha f (Q_{\epsilon} - Q_{\delta}). \quad (1)$$

Автоклав описывается математической моделью, входными переменными являются расход  $G_{\epsilon}(t)$  и температура  $T_{\epsilon}(t)$  греющей воды, температура окружающей среды  $T_{окр}(t)$  и масса загружаемых консервов в автоклав  $M_{к}(t)$ , а выходными – температура воды  $T_{\epsilon}^a(t)$  и консервов  $T_{к}^a(t)$  внутри автоклава:

$$V_{\epsilon} c_{\epsilon} \frac{dT_{\epsilon}^a}{dt} = G_{\epsilon} c_{\epsilon} (T_{\epsilon} - T_{\epsilon}^a) + \alpha_1 F_{к} (T_{к}^a - T_{\epsilon}^a) + k_m F_a (T_{окр} - T_{\epsilon}^a), \quad (2)$$

$$(m_{\epsilon} c_{\epsilon} + m_{к} c_{к}) \frac{dT_{к}^a}{dt} = q_{\text{пар}} r_{к} - \alpha_2 F_{к} (T_{\epsilon}^a - T_{к}^a), \quad (3)$$

где  $c_{\epsilon}$ ,  $c_{к}$  – теплоемкость воды и консервов, кДж/(м<sup>3</sup> °С);  $\alpha_{1,2}$  – коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup> °С);  $F_a$  – поверхность теплообмена автоклава с окружающей средой, м<sup>2</sup>;  $F_{к}$  – поверхность теплообмена консервов с водой, м<sup>2</sup>;  $M_{к}$  – масса консервов, кг;  $\rho_{к}$  – плотность консервов, кг/м<sup>3</sup>;  $q_{\text{пар}}$  – массовый расход пара при полностью открытом регулирующем органе;  $r_{к}$  – удельная теплота парообразования;  $V_a$  – объем автоклава, м<sup>3</sup>.

Реализуем в пакете Simulink уравнение (2) (рис. 1).

Проведено моделирование работы автоклава с параметрами: максимальная температура горячей воды, поступающей в автоклав, 60 °С, а минимальная тем-

пература охлажденной воды 17 °С. Средняя температура горячей воды 55 °С, а охлажденной – 19 °С.

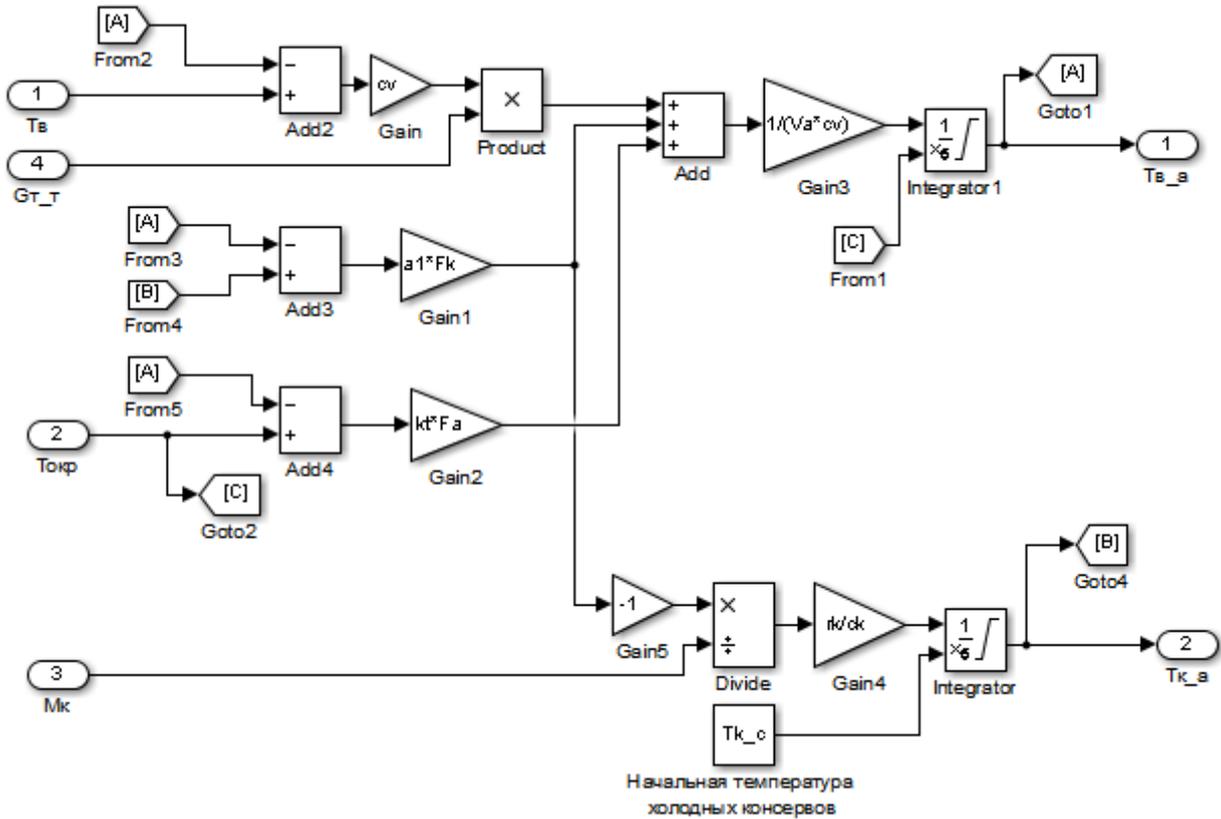


Рис. 1. Схема моделирования автоклава в Simulink

Получим графики переходных процессов, описывающих зависимости заданных, регулируемых и выходных величин от времени. Нагрев консервов (рис. 2) происходит по принципу плавно, без скачков.

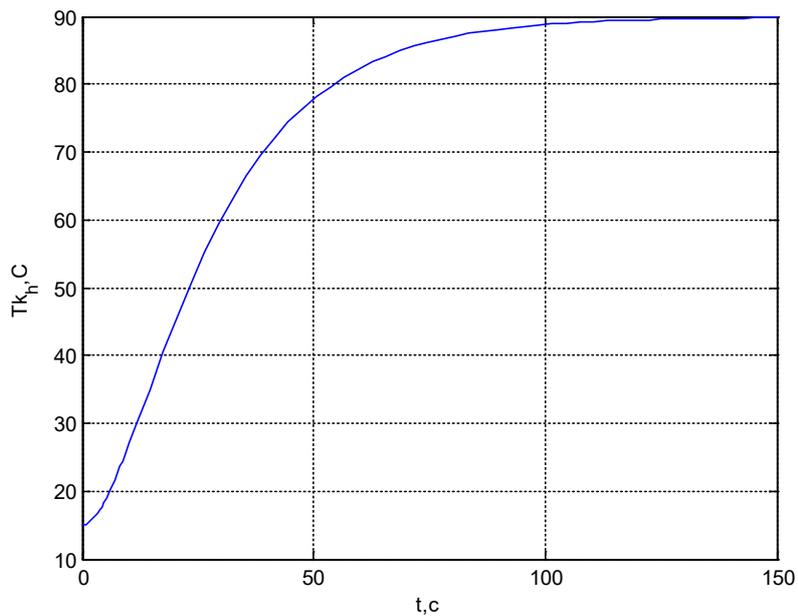
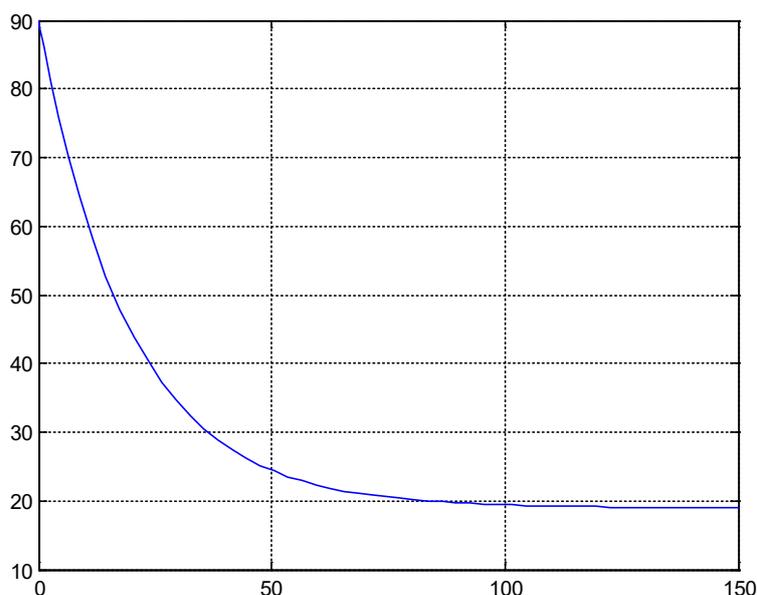


Рис. 2. График зависимости нагрева консервов от времени

График на (рис. 3) показывает плавное охлаждение консервов на последнем этапе стерилизации.



*Рис. 3. График зависимости температуры консервов на этапе охлаждения от времени*

Кривые переходного процесса подтверждают правильность построения модели. Консервы не могут нагреться больше температуры воды в автоклаве. Время нагрева консервов в автоклаве с начальной температурой, равной температуре окружающей среды, до температуры, при которой происходит процесс стерилизации, составляет 1 минуту.

#### **Выводы.**

1. Построена модель автоклава, позволяющая исследовать различные законы управления при построении современной системы автоматического управления автоклава периодического действия.

2. Составлена система дифференциальных уравнений, которая имеет неизвестные параметры – коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи.

3. Анализ результатов моделирования подтверждает соответствие качественного поведения модели основным характеристикам исследуемого технологического процесса.

#### **Библиографический список**

1. Власов А. В. Повышение эффективности стерилизации консервов паром в автоклавах: автореф. дис. канд. техн. наук. Мурманск: МГТУ, 2010. 20 с.

2. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. СПб.: Питер, 2005. 230 с.

3. Чернышев Н. Н. Математическое описание процесса теплообмена в противоточных теплообменных аппаратах / Н. Н. Чернышев, В. В. Турупалов, А. А. Прядко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 21 (183). Донецьк: ДонНТУ. 2011, С. 55–60.

4. Зайцев В. А. Система автоматического управления противоточным теплообменным аппаратом / В. А. Зайцев, Н. Н. Чернышев // XV Междун. молодежная науч. конф. «Севергеозкотех-2014»: матер. конф. (26–28 марта 2014 г.). В 5 ч. Ч. 1. Ухта: УГТУ, 2014. С. 36–39.

УДК 621.316.925

**П. С. Никулин**

магистрант кафедры электромеханики и робототехники

**С. В. Соленьй**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## **РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА НА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ БАЗЕ**

Релейная защита является основным видом электрической автоматики, без которой невозможна нормальная и надежная работа современных энергетических систем. Она производит автоматическую ликвидацию аварий при возникновении ненормальных режимов или отключение поврежденного элемента. В настоящее время микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ), так называемые цифровые реле (ЦР), являются основным направлением развития релейной защиты. При реконструкции или проектировании новых подстанций и распределительных пунктов повсеместно предусматривается установка цифровых защит вместо защит на базе электромеханических реле [1].

Внедрение ЦР на электроэнергетических объектах обосновывается следующими техническими и экономическими достоинствами:

- в случае неисправности ЦР за счет непрерывной самодиагностики мгновенно выдается сигнал о неисправности и возможна оперативная замена этого реле или неисправного блока. Самодиагностика ЦР также позволяет в несколько раз уменьшить период плановых проверок или вообще от них отказаться, что позволяет уменьшить численность ремонтного персонала и экономить расходы на заработную плату [2];

- многофункциональность ЦР. При малых габаритах одно ЦР заменяет от 10 до 20 аналоговых реле, а также несколько измерительных приборов, которые в совокупности выполняют такие же функции (экономия рассчитывается по стоимости реле, приборов и монтажных работ);

- высокое быстродействие защиты. При использовании ЦР существенно уменьшаются ступени селективности, то есть повышается быстродействие защит и повышается точность срабатывания ЦР, что позволяет применять провода линий или кабелей меньшего сечения при выборе их по условию термической стойкости;

- возможность реализации более сложных и совершенных алгоритмов защиты и управления электроэнергетического объекта, удобство наладки, настройки и эксплуатации;

- возможность измерения, индикации режимов и регистрации в памяти параметров аварийных режимов.

Однако стоит учесть то, что затраты на обслуживание электромеханических реле, возможно, будут меньше затрат на замену вышедших из строя и не подлежащих ремонту дорогостоящих электронных блоков ЦР.

На рис. 1 представлена классическая структурная схема МУРЗ, в его состав входит программируемый логический контроллер, который обеспечивает взаимодействие между всеми входящими в состав устройства блоками [3, 4]. Питание устройства осуществляется от преобразовательного блока питания, который обеспечивает необходимые уровни напряжения питания для функционирования блоков.

Напряжение от трансформаторов подается через клеммные колодки на блок входных трансформаторов. В блоке трансформаторов производится гальваническое разделение внутренних цепей устройства от цепей измерительных транс-

форматоров напряжения и преобразование входных сигналов до необходимых для работы аналого-цифрового преобразователя (АЦП) уровней. Преобразованные сигналы со вторичных обмоток подаются на элементы нагрузки вторичных цепей, обеспечивающие необходимые уровни сигналов для АЦП, далее производится их обработка. Блок входных дискретных сигналов обеспечивает прием внешних сигналов и их гальваническую развязку от внутренней схемы устройства. Подача входных сигналов производится через отдельный разъем.

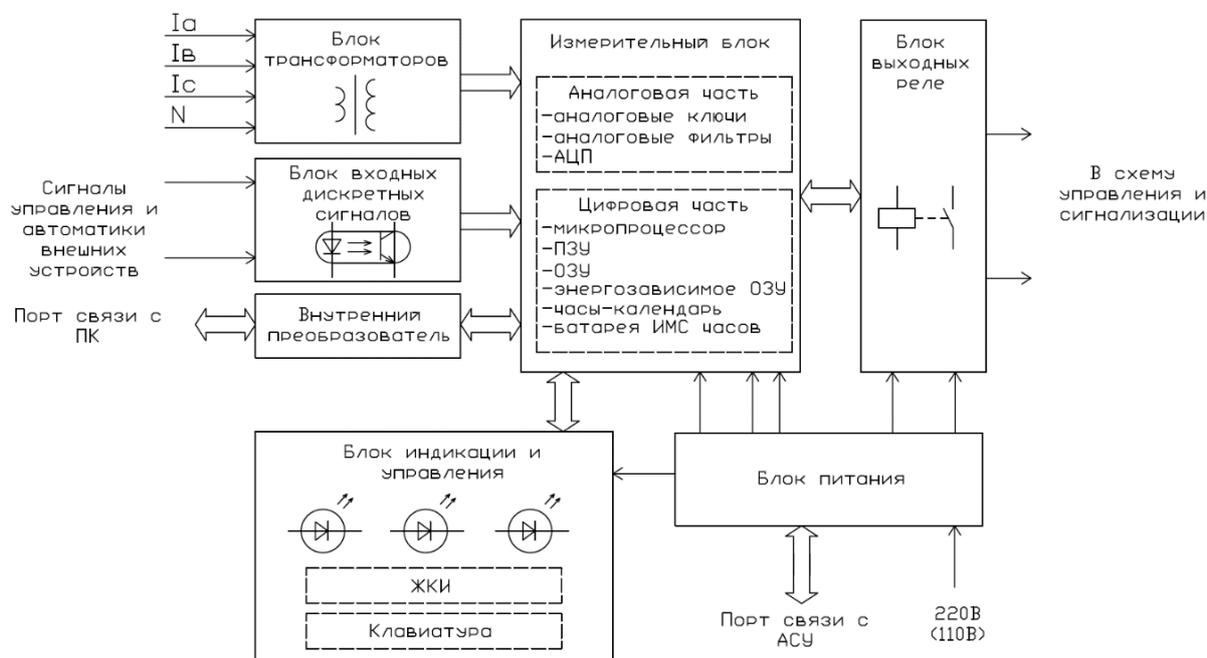


Рис. 1. Блок-схема микропроцессорного устройства релейной защиты

Измерительный блок выполнен на микропроцессорной элементной базе. Он имеет развитую систему самодиагностики для контроля исправности программной и аппаратной части устройства (блока выходных реле, АЦП, уровней питающих напряжений операционных усилителей и т. д.), которая обеспечивает высокую готовность к действию и надежность устройства. Блок обеспечивает преобразование и обработку аналоговых сигналов, а также функцию логического контроллера. При этом обеспечивается взаимодействие и обработка сигналов между всеми составными блоками, прием/передача сигналов по последовательной связи и др.

Блок выполняет преобразование сигналов от промежуточных трансформаторов напряжения в последовательность двоичных кодов, а также выделение максимального значения контролируемых напряжений за полпериода и сравнение их с уровнем уставок. В случае превышения уставки в регистры памяти записываются параметры аварийного режима, а также формируется логический сигнал для действия на цепи отключения, сигнализации, автоматики. Результаты обработки поступающей информации выдаются на выходные реле, на элементы индикации, а также передаются по запросам в автоматизированную систему управления технологическим процессом.

Информация в микропроцессорных системах хранится в памяти. Существует два основных вида устройств памяти: постоянное запоминающее устройство, в котором постоянно хранится рабочая программа, управляющая работой микропроцессора, и оперативное запоминающее устройство, предназначенное для временного хранения результатов промежуточных вычислений.

С помощью блока индикации и управления осуществляется выставление уставок, просмотр измеренных и зарегистрированных величин, состояния дискретных входных сигналов и выходных реле устройства. Блок индикации обеспечивает отображение сработанных защит и функций автоматики, типов неисправности устройства, выявленных системой самодиагностики.

На вход измерительного блока поступают также логические сигналы от блока входных дискретных сигналов. Блок производит обработку поступающих сигналов по определенному алгоритму. Алгоритм обработки определяется пользователем с помощью программных переключателей, которые определяют различное действие входных воздействующих сигналов на выходные цепи (действие на сигнализацию или отключение и т. д.). Измерительный блок формирует сигналы срабатывания выходных реле сигнализации и отключения и отображение на дисплее сработавших каналов защит и автоматики.

Проведенный анализ доступной на сегодняшний день микропроцессорной релейной защиты позволяет сделать вывод об актуальности построения новых схем релейной защиты на базе ЦР, а также проведение переоснащения уже находящихся в эксплуатации систем защиты электрооборудования, поскольку это, безусловно, благоприятно скажется на решении вопросов бесперебойности и надежности систем электроснабжения в целом.

### **Библиографический список**

1. Арцишевский Я. Л. Принципы противоаварийного управления в системах электроснабжения. М., 2010. 33 с.
2. Кужеков С. Л., Оклей П. И., Нудельман Г. С. Анализ совокупностей требований к релейной защите с целью оценки ее эффективности. М., 2010. 43 с.
3. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2008. 639 с.
4. Гуревич В. И. Микропроцессорные реле защиты. Устройство, проблемы, перспективы // Пром. энергетика. 2011. 324 с.

**УДК 004.771(021)**

**А. Д. Очередин**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**С. В. Солёный**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### **ПЕРЕДАЧА ИНТЕРНЕТА ПО СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА**

В современном мире люди все чаще пытаются сократить количество проводных устройств до минимума, что обусловлено удобством и повышением надежности любой киберфизической системы. Если в масштабах промышленности есть примеры решения подобной задачи, то в домашних сетях сокращение проводных сетей передачи данных наблюдается крайне редко и в основном сводится к применению Wi-Fi-технологий, что, безусловно, удобно, однако до конца не изучено влияние излучения Wi-Fi-роутеров на биологические системы, в том числе и на человека.

В работе [1] описаны принципы передачи цифровых данных по классической системе электроснабжения. Это технология Power Line Communication (PLC), то

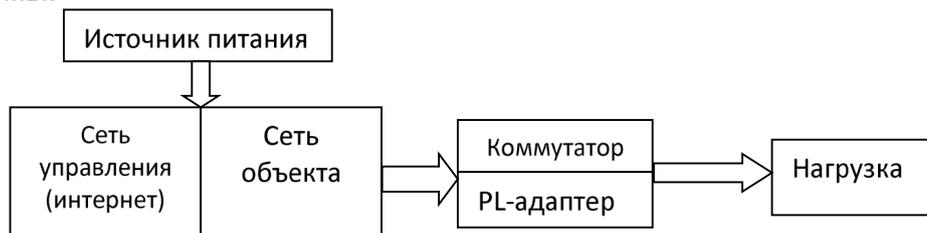
есть передача данных по электрическим проводам, что весьма удобно и экономически выгодно, так как система электроснабжения на сегодняшний день есть практически в каждом объекте, связанном с жизнедеятельностью человека. Таким образом, появляется возможность совместить сеть интернет и электрическую силовую сеть, отойдя от применения оптоволокну, которое также требует использования кабельных каналов, муфт и др. Данный подход позволит расширить применение технологии Smart Grid и вывести его на новый технологический уровень.

На схеме (рис. 1) представлен один из способов соединения в один канал сети интернет и электрической сети. Данный тип подключения является менее энергозатратным с точки зрения оборудования и человеко-часов, необходимых для монтажа. Он предполагает подключение на выходе сетевого powerline-адаптера, что позволит параллельно подключать различные электрические нагрузки.



*Рис. 1. Схема подключения интернета по низковольтной электрической сети*

Существенным недостатком подобного способа передачи данных является значительное падение скорости интернета, а также чрезмерный перегрев адаптеров. Эти проблемы можно решить путем ввода в систему передачи данных и энергии коммутатора, который будет отвечать за распределение нагрузки (увеличение или уменьшение), а также равномерное распределение электрической энергии. В свою очередь перегрев можно устранить при помощи сетевых заградительных фильтров. На рис. 2 представлен общий принцип компоновки подобной системы.



*Рис. 2. Блок-схема «Принцип подключения»*

Данная система является удобной для домашнего использования, особенно в условиях «умного дома», такое решение может намного упростить удаленный доступ, а также предоставить временный доступ в сеть интернет в нужной зоне.

### **Библиографический список**

1. Многофункциональный сайт (специализированная пресса) Geektimes: <https://geektimes.ru>. Вайфай мне в розетку: прокидываем интернет нестандартным путем [Электронный ресурс]. URL: <https://geektimes.ru/company/ulmart/blog/252458>.

2. Официальный сайт «Википедия. Свободная энциклопедия»: <https://ru.wikipedia.org>. [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5\\_%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8\\_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%B0%D0%B1%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%B0%D0%B1%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F).

**УДК 67.014**

***В. П. Панчак***

студент кафедры конструирования и технологии электронных средств

***Ю. С. Николаев***

кандидат химических наук, доцент – научный руководитель

## **РОЛЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОБЛАСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ПРИМЕРЕ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ**

Объектами профессиональной деятельности инженера-конструктора-технолога электронных средств являются радиоэлектронные средства и электронно-вычислительные средства, технологические процессы производства и технологическое оборудование, конструкторская и технологическая документация, методы и средства настройки и испытаний, контроля качества и обслуживания электронных средств.

В целом технология – это наука, изучающая взаимосвязи физических и химических процессов с целью получения конкретной продукции [4]. Изготовление же любого изделия связано с реализацией целого комплекса взаимосвязанных технологических процессов. Современные радиоэлектронные изделия характеризуются функциональной, конструктивной и технологической сложностью. Химия принадлежит к числу фундаментальных естественно-научных дисциплин. Она, наряду с физикой, математикой и экологией, является базисной дисциплиной современного инженерного образования.

Применение химических процессов можно рассмотреть на примере выращивания монокристаллов кремния для конструирования, проектирования и дальнейшего производства микросхем, микропроцессоров.

В производстве интегральных микросхем (ИМС) обычно используются полупроводниковые материалы в виде монокристаллических слитков, имеющих форму, близкую к цилиндрической. Размеры слитков зависят от метода их выращивания и типа полупроводникового материала [1].

В настоящее время большинство полупроводниковых ИМС изготавливают на основе монокристаллического кремния, хотя в отдельных случаях используют

германий. Это объясняется тем, что кремний по сравнению с германием обладает рядом физических и технологических преимуществ, важных для создания элементов ИМС. Физические преимущества кремния по сравнению с германием проявляются в следующем:

– кремний имеет большую ширину запрещенной зоны и меньшие обратные токи переходов, что уменьшает паразитные связи между элементами ИМС, позволяет создавать микросхемы, работоспособные при повышенных температурах (до +120 °С) и микромощные схемы, работающие при малых уровнях рабочих токов (менее 1 мкА);

– кремниевые транзисторы имеют более высокое пороговое напряжение, а, следовательно, логические схемы на этих транзисторах характеризуются большой статической помехоустойчивостью;

– кремний характеризуется меньшей диэлектрической проницаемостью, что обуславливает меньшие значения барьерных емкостей переходов при той же их площади и позволяет увеличить быстродействие ИМС.

Кремний – прочный и жесткий материал, в монокристаллическом состоянии пригодный для изготовления чувствительных элементов прецизионных широкодиапазонных датчиков в виде консолей, мембран очень малой толщины – вплоть до 1...3 мкм [2].

Сырье для получения кремния имеется всюду в неограниченных количествах, так как в качестве исходного материала используется кварцевый песок с высоким массовым содержанием диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ), содержание в земной коре которого превышает 26%. Он проходит многоступенчатую очистку, чтобы избавиться от кислорода. Кремний нетоксичен в большинстве своих химических соединений, и его производство не сопровождается получением загрязняющих окружающую среду отходов, тем более что благодаря низкой материалоемкости микроэлектроники объем его производства будет всегда очень малым, несопоставимым с масштабами металлургических и химических производств.

Производство монокристаллического кремния происходит в два этапа:

- 1) получение кремния полупроводниковой чистоты;
- 2) выращивание монокристаллов.

Получение кремния полупроводниковой чистоты также проходит ряд этапов:

- 1) восстановительная плавка сырья;
- 2) перевод технического кремния в соединения, удобные для глубокой очистки;

- 3) глубокая очистка;

- 4) восстановление с помощью водорода и пиролиз.

Материалом для выращивания стержней служит высококачественный поликристаллический кремний. Поверхность стержней – основ подвергают ультразвуковой очистке, травлению в смеси кислот (например,  $\text{HF} + \text{HNO}_3$ ), отмывке и сушке. Из стержней изготавливают электронагреватели (U и П-образной формы), и их нагрев осуществляют пропусканием электрического тока. По мере роста диаметра стержней силу тока постепенно увеличивают.

Количество стержней, устанавливаемых в различных промышленных реакторах, колеблется от 2 до 16, длина каждого стержня составляет до 2 м, конечный диаметр 150–250 мм. Для повышения чистоты получаемого кремния производят тщательную очистку водорода, реакторы делают из специальных сталей, а также защищают их поверхность от взаимодействия с газовой средой путем введения дополнительных кварцевых (кремниевых) колпаков, отделяющих реакционный объем от стенок реактора. Хорошей защитой стенок реактора является покрытие их защитными пленками, например полихлорсиланом.

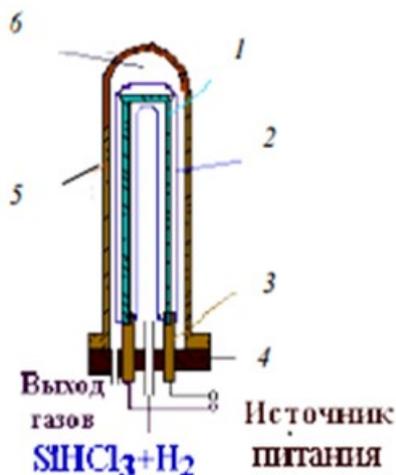


Схема получения поликристаллического кремния путем разложения силана  $\text{SiH}_4$  высокой чистоты: 1 – кремниевый стержень; 2 – поликремниевый стержень; 3 – графитовый пьедестал; 4 – изоляция; 5 – колпак; 6 – реактор

Через кремниевые стержни-заготовки пропускается электрический ток. Благодаря этому реакция локализуется на поверхности кремния и происходит постепенное наращивание их диаметра от исходных 8... 10 мм до 50... 100 мм. Для восстановления и разбавления газовых смесей как в хлоридном, так и моносилановом процессах используются большие количества водорода [3].

После очистки кремния начинается процесс выращивания монокристаллов, который производится несколькими способами, одним из них является метод Чохральского.

Этот метод позволяет заведомо задавать геометрическую форму растущего монокристалла путем варьирования температуры расплава и скорости вытягивания.

1. Подготовка исходных материалов – компоновка.
2. Загрузка материалов в тигель, вакуумирование рабочей камеры и плавление.
3. Затравление – соприкосновение монокристаллической затравки с расплавом – меняет тепловые условия в системе.
4. Выращивание шейки.
5. Разращивание и «выход на диаметр» – увеличение диаметра до заданного номинала – осуществляется за счет снижения скорости подъема затравки.
6. Выращивание цилиндрической части.
7. Оттяжка на конус и отрыв кристалла от остатков расплава завершают процесс выращивания.

Ограничения метода Чохральского состоят в следующем:

1. Растворение в кремнии материала кварцевого тигля происходит с заметной скоростью.
2. Вследствие непрямого и непостоянного по длине слитка фронта кристаллизации и изменения гидродинамических условий наблюдается сложная неоднородность в распределении примеси и удельного сопротивления по площади кристалла.
3. Неравномерное распределение дефектов, а также примесей по длине слитка [5].

Другим методом выращивания монокристаллов является метод бестигельной зонной плавки.

Метод бестигельной зонной плавки (БЗП) позволяет получать высококачественные, чистые монокристаллические материалы, прежде всего – полупроводниковые.

Метод основан на плавлении небольшой зоны поликремниевой цилиндрической заготовки, находящейся в вертикальном состоянии.

Применение бестигельной зонной плавки наиболее целесообразно для моносиланового кремния, свободного от кислорода и углерода. Далее производится калибровка монокристаллов полупроводниковых материалов, которая обеспечивает придание им строго цилиндрической формы и заданного диаметра. Калибровку монокристаллов полупроводников проводят чаще всего методом круглого шлифования на универсальных круглошлифовальных станках.

После калибровки на поверхности монокристалла образуется нарушенный слой глубиной 50...250 мкм в зависимости от скорости продольной подачи. Для снятия нарушенного слоя прошедшие операции калибровки монокристаллы полупроводников подвергают операции химического травления.

После химического травления торцевой поверхности слитка на ней образуются ямки травления, форма которых определяется кристаллографической ориентацией поверхности.

Ориентацию полупроводников проводят рентгеновскими или оптическими методами.

Рентгеновский метод ориентации слитка основан на использовании известного уравнения Брегга – Вульфа для дифракции рентгеновских лучей.

Метод оптической ориентации более прост и приемлем в производственных условиях. Он основан на различии скоростей травления полупроводниковых материалов в различных кристаллографических направлениях.

Наглядным примером использования процесса выращивания монокристаллов в конструкторско-технологической сфере может служить изготовление процессора. Современный процессор является самым сложным готовым продуктом на Земле. Вкратце процесс изготовления процессора выглядит так: из расплавленного кремния на специальном оборудовании выращивают монокристалл цилиндрической формы. Получившийся слиток охлаждают и режут на «блины», поверхность которых тщательно выравнивают и полируют до зеркального блеска. Затем в «чистых комнатах» полупроводниковых заводов на кремниевых пластинах методами фотолитографии и травления создаются интегральные схемы. После повторной очистки пластин специалисты лаборатории под микроскопом производят выборочное тестирование процессоров, затем готовые пластины разрезают на отдельные процессоры, которые позже заключают в корпуса [3].

В заключение можно сказать, что в технологии электронных средств трудно выделить чисто физические или чисто химические процессы. Обычно на химические процессы накладываются физические (адсорбция, диффузия, тепло- и массоперенос и др.), а на физические процессы влияют химические (межмолекулярное взаимодействие, хемосорбция, реактивная диффузия, реактивное испарение, химико-кинетические механизмы захвата частиц). Данные процессы представляются в виде определенных закономерностей и уравнений, в которых решающую роль играют химический потенциал и такие параметры состояния, как температура, давление, состав, поверхностная энергия, а также электрические, магнитные, электромагнитные потенциалы [7].

К современным технологическим процессам производства электронных средств предъявляются высокие требования к точности и стабильности их протекания. Элементы изделий современных электронных средств формируются с точностью от микронных и субмикронных размеров до нанометровых, причем используются супергрупповые методы обработки, когда в одном процессе или операции, на одной установке или позиции обрабатываются или формируются одновременно миллионы приборов или их элементов. Применение большого числа

(нескольких сотен) сложных операций, на каждую из которых влияет ряд технологических факторов, обуславливающих результаты обработки полуфабрикатов, приводит к необходимости привлечения для анализа технологического процесса вероятностных и статистических методов. Однако при любом случае основой является физико-химическая сущность процесса, так как каждый элементарный технологический процесс в первом приближении можно с достаточной степенью достоверности рассматривать как процесс, не осложненный возмущающим влиянием случайных факторов. Поэтому использование теории физико-химических процессов оказывается эффективным при анализе технологического процесса, разрабатываемых или реализуемых в промышленной практике производства электронных средств.

Без учета физико-химического механизма технологического процесса формирования рабочих структур РЭА невозможно правильно описать и оптимизировать процессы производства. Важно отметить, что затраты на исследования и совершенствование экспериментальной техники, как правило, быстро окупаются за счет роста эффективности усовершенствованных процессов производства изделий [6].

### **Библиографическая список**

1. Березин А. С., Мочалкина О. Р. Технология и конструирование интегральных микросхем. М.: Радио и связь, 1983. 232 с.
2. Остроушко А. А., Могильников Ю. В. Физико-химические основы получения твердофазных материалов электронной техники, 1998.
3. Современная кристаллография. Образование кристаллов: Т. 3 / А. А. Чернов, Е. И. Гиваргизов, Х. С. Багдасаров и др. М.: Наука, 1980. 407 с.
4. Большой энциклопедический словарь. М.: АСТ, 2005. 1248 с.
5. Томилин В. И. Физико-химические основы технологии электронных средств: учебник для вузов. М.: Академия, 2010. 416 с.
6. Барыбин А. А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 424 с.
7. Черняев В. Н. Физико-химические процессы в технологии РЭА: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1987. 376 с.

**УДК 621.3.051**

***В. А. Пархоменко***

магистрантка кафедры электромеханики и робототехники

***О. Я. Соленая***

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### **ПРИМЕНЕНИЕ ГИБКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (FACTS) В СОВРЕМЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ**

Для удовлетворения все более растущих потребностей электросетевые компании вынуждены постоянно модифицировать существующие сети, применяя следующие классические методы:

- строительство дополнительных воздушных линий электропередач (ВЛЭП);
- замена существующих проводов на провода с большими поперечными сечениями;

- повышение питающего напряжения;
- расщепление фазы ЛЭП.

Несмотря на то что эти методы иногда можно применить, у всех них есть существенные недостатки. Первое решение требует значительных вложений, времени и получения разрешений на установку новых линий. Второе оказывается не всегда возможным, поскольку сталеалюминиевый провод большего сечения обладает такой массой, на которую старые опоры часто не рассчитаны, что в конечном итоге приводит к необходимости установки новых опор ЛЭП большего размера. Организация строительства новых опор может обернуться серьезными проблемами в густонаселенных районах, районах частных земель, в национальных парках, заповедниках и других зонах с запретом на строительство. Третье и четвертое решения почти всегда приводят к необходимости перестраивать всю линию.

Наряду с этим в современных системах электроснабжения также существуют ограничения по способу и устройствам компенсации реактивной мощности (УКРМ):

- ограниченная возможность управления потоками мощности и повышения пропускной способности ЛЭП;
- невозможность быстрого изменения мощности в линиях при различного рода аварийных режимах;
- перераспределение потоков мощности по параллельным линиям электропередачи в ограниченных пределах и только в стационарном режиме.

Отсюда возникает актуальная необходимость существенного повышения передаваемой мощности ВЛЭП, по возможности без строительства новых линий, полной перестройки существующих линий, подвески новых цепей и т. д.

Научно-технический прогресс в области систем передачи электроэнергии развивается в направлении повышения их управляемости, устойчивости и надежности при обеспечении высокого качества энергоснабжения потребителей. В современных энергосистемах всего мира широкое распространение получают устройства FACTS – управляемое оборудование для электрических сетей переменного тока, которые позволяют быстро и оперативно управлять сетями и перераспределять потоки активной и реактивной мощности.

Управляемые (гибкие) системы электропередачи переменного тока – Flexible Alternative Current Transmission System (FACTS) являются одной из наиболее перспективных электросетевых технологий, суть которой состоит в том, что электрическая сеть из пассивного устройства транспорта электроэнергии превращается в устройство, активно участвующее в управлении режимами работы электрических сетей [1]. Благодаря этому удается в режиме реального времени управлять значением пропускной способности линии электропередачи, перераспределять между параллельными линиями электропередачи потоки активной мощности, оптимизируя их в установившихся режимах, и перенаправлять их по сохранившимся после аварий линиям электропередачи, не опасаясь нарушения устойчивости, тем самым обеспечивая повышение надежности электроснабжения потребителей.

К устройствам FACTS первого поколения (FACTS-1) относят устройства, обеспечивающие регулирование напряжения (реактивной мощности) и требуемую степень компенсации реактивной мощности в электрических сетях (статический компенсатор реактивной мощности (СТК), реактор с тиристорным управлением, стационарный последовательный конденсатор с тиристорным управлением, фазосдвигающий трансформатор и др.) [2].

К новейшим FACTS второго поколения (FACTS-2) относят устройства, обеспечивающие регулирование режимных параметров на базе полностью управляе-

мых приборов силовой электроники (IGBT транзисторы, IGCT тиристоры и др.). FACTS-2 обладают новым качеством регулирования – векторным, когда регулируется не только величина, но и фаза вектора напряжения электрической сети (синхронный статический компенсатор (СТАТКОМ), синхронный статический продольный компенсатор реактивной мощности на базе преобразователя напряжения (ССПК), объединенный регулятор потоков мощности (ОРПМ), асинхронизированный синхронный компенсатор, в том числе с маховиком (АСК), асинхронизированный синхронный электромеханический преобразователь частоты (АС ЭМПЧ), фазовращающий трансформатор (ВФТ) и др.

СТАТКОМ – статический компенсатор реактивной мощности. Он предназначен для регулирования реактивной мощности в широких пределах (плюс-минус 100%). СТАТКОМ отличается от традиционных статических компенсаторов реактивной мощности (СКРМ) иным устройством, увеличенным набором функций и улучшенными характеристиками. Упрощенно СТАТКОМ – это преобразователь напряжения на управляемых силовых тиристорах (или транзисторах), включенный параллельно линии в узле сети, к которому подключена ЛЭП (рис. 1). Принцип работы СТАТКОМ идентичен принципу работы агрегатов бесперебойного питания: из напряжения источника постоянного тока за счет широтно-импульсной модуляции и использования фильтра гармоник формируется синусоидальное напряжение частотой  $50 \pm 3$  Гц. Главное свойство СТАТКОМ – способность генерировать ток любой фазы относительно напряжения сети и таким образом обеспечивать регулирование значения выходного напряжения и его фазы. Регулирование происходит за счет изменения реактивной мощности, потребленной или выданной в сеть [3].

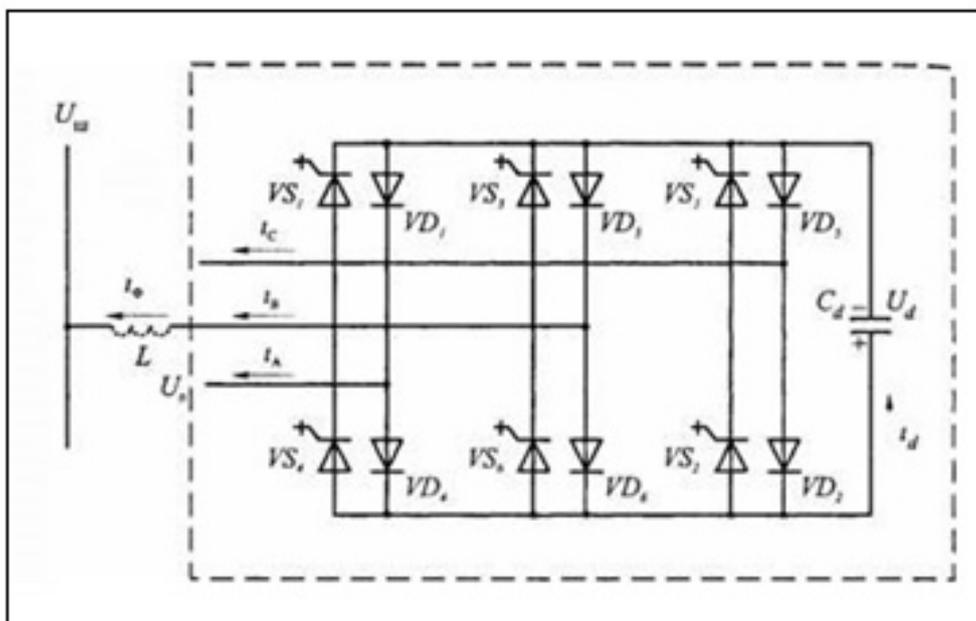


Рис. 1. Электрическая схема СТАТКОМ

Специалисты считают, что сегодня СТАТКОМ – наиболее совершенное статическое устройство FACTS. Он обладает высоким быстродействием, малым содержанием высших гармоник, малыми габаритами, может использоваться в любых электрических сетях. Использование СТАТКОМ позволяет не только регулировать напряжение, но и увеличивать пропускную способность сети, оптимизировать потоки мощности, улучшать форму кривой напряжения и т. д.

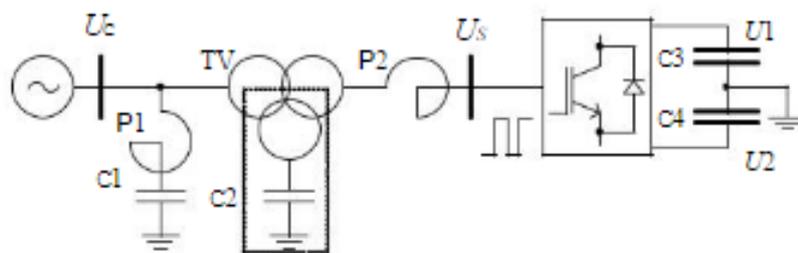
Устройство СТАТКОМ в общем случае содержит (рис. 2):

- статический преобразователь, способный работать в различных режимах потребления и генерации активной и реактивной мощности и обычно располагающийся в закрытом помещении (красный);
- согласующий трансформатор для подключения к шинам высокого напряжения (желтый);
- звено постоянного тока (выпрямленного напряжения), обеспечивающее стабильность тока (напряжения) для реализации модуляции синусоидальных токов (напряжений) (голубой);
- пассивные фильтры (зеленый).



*Рис. 2. Вставка постоянного тока на базе двух СТАТКОМ на трансформаторной подстанции*

Существуют различные схемы реализации СТАТКОМ. Один из возможных вариантов СТАТКОМ с преобразователем напряжения представлен на рис. 3.



*Рис. 3. Принципиальная схема СТАТКОМ с преобразователем напряжения*

Для определения функциональных возможностей СТАТКОМ необходимо согласование с напряжением сети и режимом работы основного силового оборудования на подстанции.

Векторные диаграммы напряжений и токов, поясняющие принцип действия СТАТКОМ в различных режимах работы, приведены на рис. 4.

Длительное потребление или генерация активной мощности СТАТКОМ возможна только в случаях, если он является составляющей комбинированного устройства компенсации или вставки постоянного тока, либо в случае, когда на стороне выпрямленного напряжения установлен накопитель энергии, например, аккумуляторная батарея.

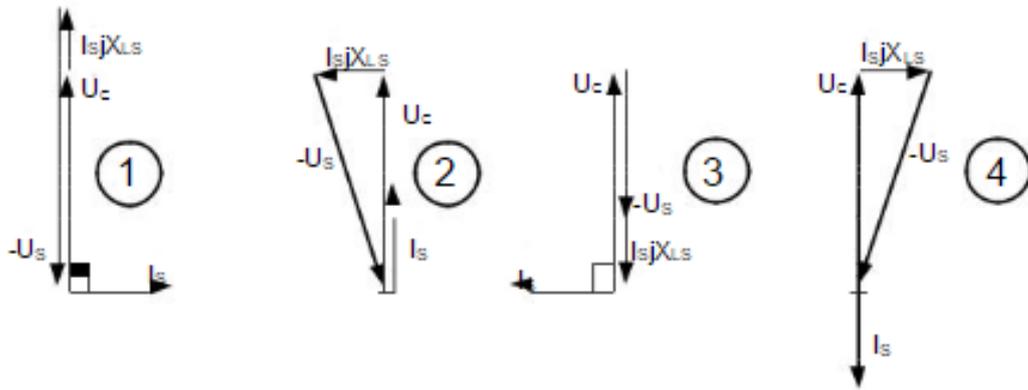


Рис. 4. Векторные диаграммы напряжений и токов СТАТКОМ:  
 1 – генерация реактивной мощности; 2 – потребление активной мощности;  
 3 – генерация активной мощности; 4 – потребление реактивной мощности

С учетом вышесказанного диаграмма мощности, определяющая области допустимой работы СТАТКОМ, – степень участия СТАТКОМ в управлении режимами, приведена на рис. 5.

Область допустимой длительной работы СТАТКОМ ограничена номинальным значением тока и напряжения на стороне выпрямленного напряжения статического преобразователя. В кратковременных режимах допускается превышение тока выше номинального вплоть до двукратного, что положительно сказывается на влиянии СТАТКОМ на режим энергосистемы в аварийных и послеаварийных режимах ее работы [3].

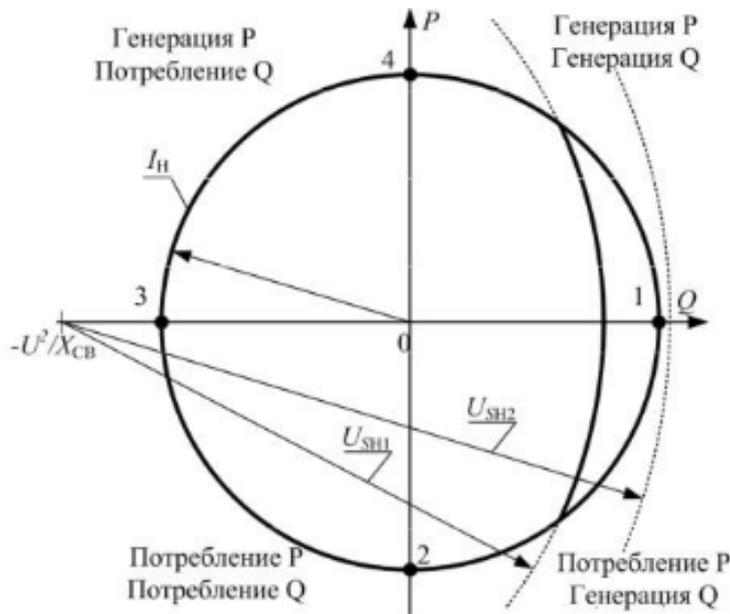


Рис. 5. Области допустимой работы СТАТКОМ и вставки постоянного тока на его базе

Статические характеристики работы СТАТКОМ показывают независимость генерируемого или потребляемого реактивного тока относительно напряжения сети, что является преимуществом при возникновении глубоких провалов напряжения сети. Динамические свойства СТАТКОМ характеризуют плавное изменение напряжения, сформированного на выводах статического преобразователя, в течение нескольких периодов. Таким образом, при провале

напряжения СТАТКОМ работает в режиме перегрузки, поддерживая напряжение в точке присоединения.

Следовательно, СТАТКОМ может применяться для решения следующих задач:

- стабилизация и регулирование напряжения;
- компенсация реактивной мощности;
- симметрирование нагрузки путем потребления активной мощности из одной фазы и выдачи ее в другую;
- демпфирование колебаний в энергосистеме, поскольку СТАТКОМ обладает высоким быстродействием;
- активная фильтрация напряжения, что объясняется возможностью формирования не только напряжения гармонической формы, но и полигармонической, требуемой для компенсации возникающих гармонических искажений в сети;
- сглаживание графиков нагрузок при наличии накопителя энергии большой емкости на стороне выпрямленного напряжения.

Поскольку устройства FACTS могут выполнять все функции существующих регулируемых средств компенсации реактивной мощности и в определенных случаях являются альтернативой сооружению дополнительных ЛЭП при выполнении заданных требований по надежности, решение об их применении формируется с учетом принципов, которые используются для выбора СКРМ традиционного исполнения. В «Руководящих указаниях по выбору средств компенсации реактивной мощности и регулируемых трансформаторов в электрических сетях 110–1150 кВ» (РАО «ЕЭС России», 1997 г.) разработана методика оценки технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в ЕНЭС России [4]. Областью применения методики является проведение технико-экономической оценки эффективности применения устройств FACTS для нормализации напряжения, повышения пропускной способности и целенаправленной коррекции потокораспределения в системообразующих и распределительных сетях ЭЭС, ограничение токов к. з. при проектировании новых, расширении, модернизации и реконструкции действующих подстанций и электрических сетей.

Настоящей методикой следует руководствоваться:

- при выполнении ТЭО на стадиях проектирования при реконструкции, расширении и новом строительстве подстанций и линий электропередач;
- при разработке проектов схем развития ЕНЭС России;
- при анализе эффективности режимов работы электрических сетей и энергосистем в условиях эксплуатации.

### Библиографический список

1. *Narain G. Hingorani, Laszlo Gyugyi.* Understanding FACTS. Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems. John Wiley & Sons Ltd., Publication, 1999. 428 с.
2. *Suresh Maturu, U. Jayachandra Shenoy.* Impact of STATCOM and SSSC Based Compensation on Transmission Line Protection // 16<sup>th</sup> National Power Systems Conference, 2010. P. 480–485.
3. *Васильев А. С., Прохоров А. В.* Устройства управления режимами на базе силовой электроники. учеб. пособия. М.; Томск. 104 с.
4. Методика оценки технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в ЕНЭС России. СТО 56947007-29.240.019-2009. РАО «ЕЭС России». М.: 2009. 35 с.

УДК 629.735.33

**Н. Д. Пищалкина**

студентка кафедры электромеханики и робототехники

**О. Я. Солена**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

**SMART GRID – «УМНЫЕ» СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ****Введение**

Человечество нуждается в постоянном развитии, поэтому люди, занимающиеся научной деятельностью, стараются расширить свой круг компетенций для получения нового толчка технической революции. За последние десятилетия произошел колоссальный скачок в развитии энергетики. Для того чтобы энергетическая отрасль стала более эффективной, необходимо было пересмотреть мировое энергоснабжение, проанализировать работу всех электростанций, чтобы найти новые способы передачи электроэнергии, которые основывались бы на распределенной генерации. Развитие техники и технологий привело к термину «умные сети», которые подразумевали управляемое потребление.

**История развития энергетики**

Начало развития будущих мировых энергосистем можно отнести ко второй половине XIX века. В это время были основаны такие компании, как General Electric, Westinghouse, Siemens, явившиеся впоследствии локомотивами мировой энергетики. Интенсивно растущий спрос на рынке электроэнергетики, государственное регулирование при растущих частных инвестициях способствовали возникновению в отрасли крупных компаний, многие из которых превратились в межотраслевые концерны. В дальнейшем энергосистемы развивались как совокупность региональных энергоструктур [1].

Начало становления российской энергетики тесно связано с именем Вернера фон Сименса – основателя немецкого концерна Siemens. После ознакомительного визита Сименса в Россию в 1852 г. было учреждено дочернее предприятие компании Siemens & Halske, которое возглавил брат Вернера – Карл Фридрих фон Сименс. На рис. 1 представлена первая эмблема этой компании.



*Рис. 1. Эмблема Siemens & Halske*

Накануне Первой мировой войны энергетика России серьезно отставала от зарубежных – энергопотребление на душу населения было в 10 раз меньше, чем в Германии, и в 60 раз меньше, чем в США. Россия размещалась на восьмом месте в мире по выработке электроэнергии, что, учитывая степень электрификации

мирового сообщества, являлось весьма низким показателем. Еще больше усугубили ситуацию Первая мировая война и революция. В 1917 г. компания Сименса была национализирована, но спустя три года возобновила работу, выполняя контракты в рамках реализации плана электрификации страны – ГОЭЛРО (Государственная комиссия по электрификации России). Это был орган, созданный 21 февраля 1920 г. для разработки проекта электрификации России после революции 1917 г. Тем не менее, к 1990 г. целевые показатели плана ГОЭЛРО в 80 раз превосходили первоначальные по производству электроэнергии и в 50 раз по установленной мощности электростанций, определив тем самым место российской энергетики среди мировых лидеров [2].

Таким образом, российская энергосистема, получив в самом начале становления позитивный зарубежный опыт, развивалась под чутким руководством государства как единая централизованная система.

### Понятие «умные сети»

Термин «умная сеть» (Smart Grid) стал известен с 2003 года, когда он появился в статье «Спрос надежности будет управлять инвестициями» Майкла Т. Берра. В этой работе перечислено несколько функциональных и технологических определений «умной сети», обоснованы ее преимущества.

Интеллектуальные энергосистемы – это системы передачи электроэнергии от производителя к потребителю. Используя современные информационные и коммуникационные технологии, все оборудование сетей Smart Grid взаимодействует друг с другом, образуя единую интеллектуальную систему энергоснабжения. Собранные с оборудования информация анализируется, а результаты анализа помогают оптимизировать использование электроэнергии, снизить затраты, увеличить надежность и эффективность энергосистем.

Smart Grid – это автоматизированная система, которая самостоятельно отслеживает и распределяет потоки электричества для достижения максимальной эффективности использования энергии. На рис. 2 наглядно представлен принцип работы «умных сетей» [3].

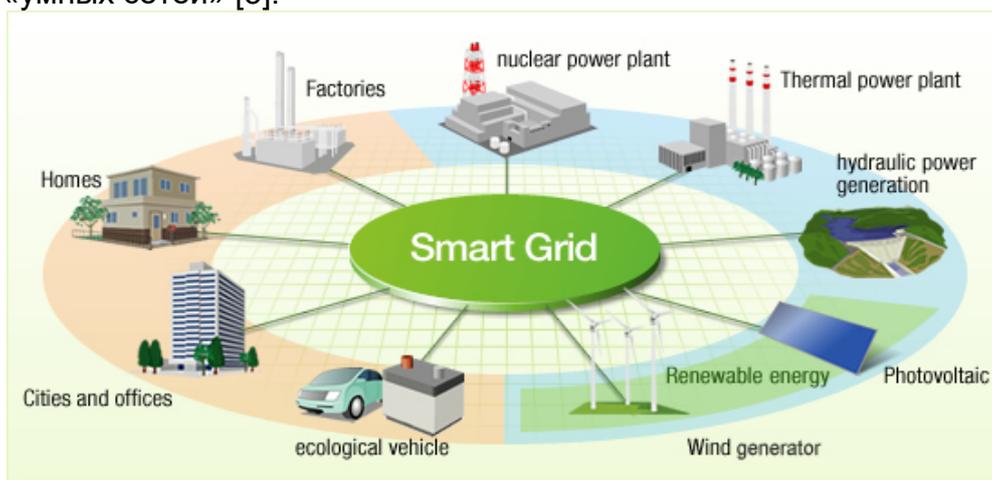


Рис. 2. Принцип работы Smart Grid

В мире, где защита природных ресурсов стала одним из главных приоритетов, очень важно найти дешевые и эффективные пути снижения их использования.

Технологические решения Smart Grid могут быть разделены на пять ключевых областей:

– измерительные приборы и устройства, включающие в первую очередь smart-счетчики и smart-датчики;

- усовершенствованные методы управления;
- усовершенствованные технологии и компоненты электрической сети: гибкие системы передачи переменного тока FACTS, сверхпроводящие кабели, полупроводниковая, силовая электроника, накопители;
- интегрированные интерфейсы и методы поддержки принятия решений, технологии управления спросом на энергию, распределенные системы мониторинга и контроля, распределенные системы текущего контроля за генерацией, автоматические системы измерения протекающих процессов, а также новые методы планирования и проектирования как развития, так и функционирования энергосистемы и ее элементов;
- интегрированные средства коммуникации.

Рынок технологий Smart Grid в мире находится на этапе становления. При этом непрерывно продолжающееся развитие и модернизация энергетической инфраструктуры в каждом регионе имеет свои особенности и подходы. В последние годы к осуществлению программ и проектов в направлении Smart Grid приступило подавляющее большинство индустриально развитых государств, а также многие развивающиеся страны. Интеллектуальным сетям Smart Grid присущи следующие атрибуты:

- способность к самовосстановлению после сбоев в подаче электроэнергии;
- возможность активного участия в работе сети потребителей;
- устойчивость сети к физическому и кибернетическому вмешательству злоумышленников;
- обеспечение требуемого качества передаваемой электроэнергии;
- обеспечение синхронной работы источников генерации и узлов хранения электроэнергии;
- появление новых высокотехнологичных продуктов и рынков;
- повышение эффективности работы энергосистемы в целом.

Европейская комиссия в области энергетики описывает понятие Smart Grid следующими аспектами функционирования [4]:

1. Гибкость. Сеть должна подстраиваться под нужды потребителей электроэнергии.
2. Доступность. Сеть должна быть доступна для новых пользователей, причем в качестве новых подключений к глобальной сети могут выступать пользовательские генерирующие источники, сеть должна использоваться в различных инфраструктурах (рис. 3).
3. Надежность. Сеть должна гарантировать защищенность и качество поставки электроэнергии в соответствии с требованиями потребителей.
4. Экономичность. Наибольшую ценность должны представлять инновационные технологии в построении Smart Grid совместно с эффективным управлением и регулированием функционирования сети.



Рис. 3. Применение технологий Smart Grid в различных инфраструктурах

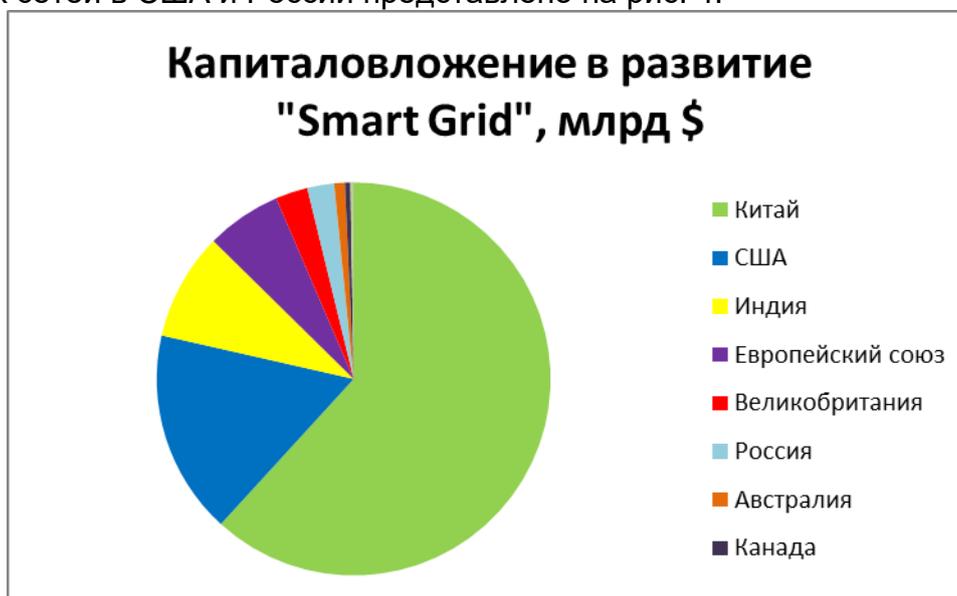
### «Умные сети» в России

В России идея Smart Grid в настоящее время выступает в качестве концепции интеллектуальной активно-адаптивной сети, которую можно описать следующими признаками [5]:

- насыщенность сети активными элементами, позволяющими изменять топологические параметры сети;
- большое количество датчиков, измеряющих текущие режимные параметры для оценки состояния сети в различных режимах работы энергосистемы;
- система сбора и обработки данных (программно-аппаратные комплексы), а также средства управления активными элементами сети и электроустановками потребителей;
- наличие необходимых исполнительных органов и механизмов, позволяющих в режиме реального времени изменять топологические параметры сети, а также взаимодействовать со смежными энергетическими объектами;
- средства автоматической оценки текущей ситуации и построения прогнозов работы сети;
- высокое быстродействие управляющей системы и информационного обмена.

На основе указанных признаков можно сформулировать достаточно четкое определение интеллектуальной сети как совокупности подключенных к генерирующим источникам и электроустановкам потребителей программно-аппаратных средств, а также информационно-аналитических и управляющих систем, обеспечивающих надежную и качественную передачу электрической энергии от источника к приемнику в нужное время и в необходимом количестве [6].

Наглядное сравнение суммарных капиталовложений на развитие интеллектуальных сетей в США и России представлено на рис. 4.



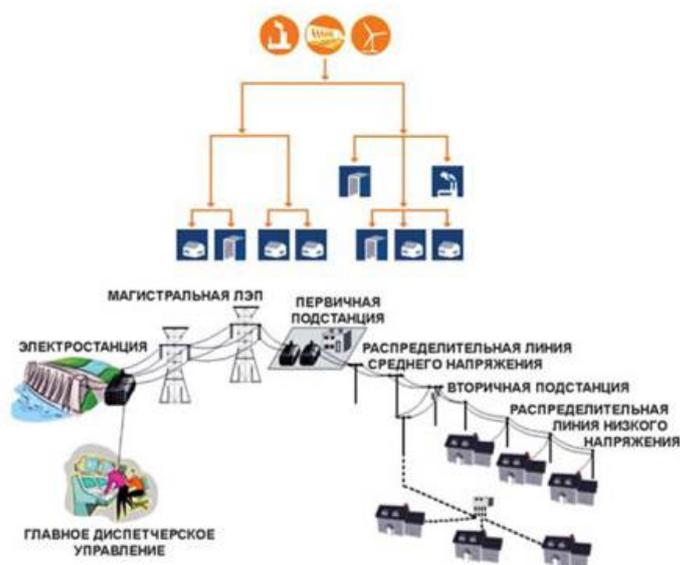
*Рис. 4. Распределение суммарных капиталовложений в развитие интеллектуальной энергетики в странах мира*

Данная гистограмма показывает, что экономические подходы Китая и США к развитию интеллектуальной системы энергоснабжения имеют значительные превосходства над планируемыми выделенными средствами Россией для поддержания энергоэффективных технологий Smart Grid.

На уровне концептуальных отечественных документов можно определить предпосылки к развитию отечественной интеллектуальной энергетики. Структура

традиционной в России электрической сети, построенной по иерархическому принципу, приведена на рис. 5. Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» в качестве приоритетных направлений научно-технического прогресса в электроэнергетике выделяются следующие [7, 8]:

- создание высокоинтегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей нового поколения в Единой энергетической системе России (интеллектуальные сети Smart Grid);
- использование низкотемпературных сверхпроводниковых индукционных накопителей электрической энергии для электрических сетей и гарантированного электроснабжения ответственных потребителей;
- широкое развитие распределенной генерации;



*Рис. 5. Структура традиционной электрической сети, построенная по иерархическому принципу*

- создание высокоинтегрированного информационно-управляющего комплекса оперативно-диспетчерского управления в режиме реального времени с экспертно-расчетными системами принятия решений;
- создание высоконадежных магистральных каналов связи между различными уровнями диспетчерского управления и дублированных цифровых каналов обмена информацией между объектами и центрами управления;
- создание и широкое внедрение централизованных систем противоаварийного управления, охватывающих все уровни Единой энергетической системы России;
- создание автоматизированных систем управления спросом на электроэнергию;
- создание водородных систем аккумулирования энергии и покрытия неравномерностей графика нагрузки.

Следовательно, понятие Smart Grid определяет некую концепцию организации энергетической системы нового поколения. В работе такой системы задействованы компьютерные и другие современные технологии для сбора и обработки информации, например, о поведении поставщиков и потребителей энергии. Эта система, работающая в автоматическом режиме, способна повысить эффективность, надежность энергопоставок, улучшить экономическую составляющую, а также наладить устойчивое производство и распределение электроэнергии (рис. 6).

Суть энергетической системы, построенной на принципах Smart Grid, состоит в том, что она передает не только энергию, но и информацию. В этом случае потребитель, помимо энергии, получает ряд возможностей по взаимодействию с энергосистемой – в частности, более гибко выбирать тарифы, планировать свое энергопотребление и, как следствие, снижать затраты на электроэнергию [9].

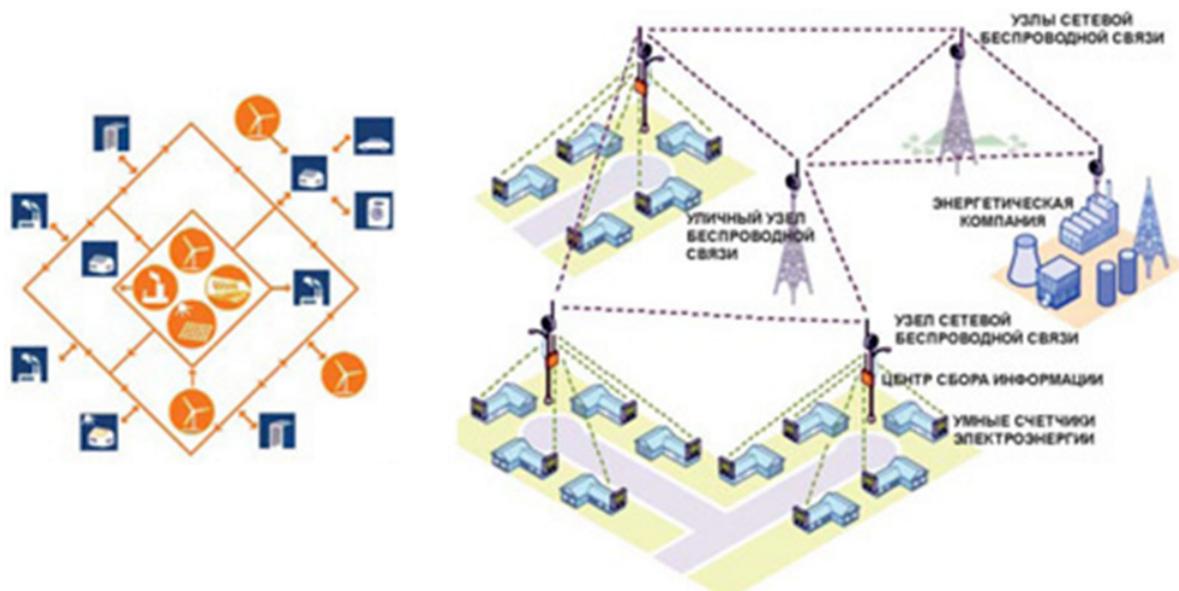


Рис. 6. Распределение энергии по принципу Smart Grid

Несмотря на существенные риски, концепция Smart Grid включает в себя значительный потенциал для развития не только отрасли, но и экономики страны в целом. Воплощение новой концепции требует создания инновационных технологий, проведения масштабных научных исследований в энергетике, в сфере информационных технологий, подготовки кадров соответствующей квалификации.

### Библиографический список

1. Элсенпитер Р. К., Велт Т. Дж. «Умный дом». Строим сами. М.: Кудиц-Образ, 2004. 362 с.
2. Харке В. «Умный дом». Объединение в сеть бытовой техники и систем коммуникаций в жилищном строительстве. М.: Техносфера, 2006. 287 с.
3. Датчики полупроводниковые: официальный сайт компании «Радиотех-Трейд» [Электронный ресурс]. URL: <http://gas-sensor.ru/parts-semiconductor-gas-sensors/>.
4. Электроэнергетика России 2030: Целевое видение / под ред. Б. Ф. Вайзихера. М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. 360 с.
5. Агентство городского развития «Умный город» [Электронный ресурс]. URL: <http://city-smart.ru/info/39.html>.
6. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью [Электронный ресурс]. URL: [http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies\\_aas.pdf](http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf).
7. Smart Grid Solutions [Электронный ресурс]. URL: [/enterprise/Service/internet-of-things/smart-cities/iot-smart-grid/](http://www.fsk-ees.ru/enterprise/Service/internet-of-things/smart-cities/iot-smart-grid/).
8. Интеллектуальные сети Smart Grid – будущее российской энергетики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sicon.ru/about/articles/?base=&news=16>.
9. Мелентьев Л. А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. М.: Высш. шк., 1982. 319 с.

УДК 681.5

**А. К. Платонов**

магистрант кафедры управления в технических системах

**М. В. Бураков**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМ РЕАКТОРОМ

### Актуальность данной работы

В последнее время нечеткая логика установила себя как мощная альтернатива для классического (ПИД) управления. Но когда дело доходит до работы ядерных реакторов, строгие правила техники безопасности создают дополнительные сложности инженерам для разработки и реализации новых методов управления. Таким образом, использование управления с применением нечеткой логики все еще является довольно неизученной областью. В свою очередь, новый взгляд на нечеткую логику в использовании ядерных реакторов может послужить началом для свежих разработок.

### Применение

Главная проблема состоит в том, как управлять выходной мощностью ядерного реактора самым безопасным и эффективным способом. Описание ниже основывается на поведении Бельгийского реактора 1 (БР1), который является графитомодерируемой системой с воздушным охлаждением, заправленной ураном (рис. 1, а).

Ядерные реакторы имеют три ключевых элемента:

1. Радиоактивное топливо.
2. Модератор.
3. Управляющие стержни.

Когда топливо бомбардируется свободными низкоэнергетическими нейтронами, атомы топлива разделяются на два главных фрагмента расщепления и освобождают высокоэнергетические нейтроны, а также выделяют энергию в виде тепла. Свободные высокоэнергетические нейтроны не побуждают другие атомы к расщеплению. Поэтому модератор в виде углерода (графит) или водорода (в форме воды) необходим, таким образом, высокоэнергетические нейтроны теряют энергию от столкновений и отталкиваний от атомов модератора. Теперь же свободные нейтроны замедлились и с большей вероятностью будут инициировать другие атомы топлива к расщеплению, вызывая цепную реакцию (рис. 1, б).

Для управления цепной реакцией управляющие стержни вставляются внутрь или же вытаскиваются из реакторного ядра. Эти стержни сделаны из материала, который поглощает нейтроны, поэтому чем дальше вставляют стержень, тем больше свободных нейтронов забирается с цепной реакции и процесс останавливается. Чтобы повысить выходную мощность, управляющие стержни ненадолго вытаскивают для сохранения большего количества свободных нейтронов, увеличив число расщеплений, и, таким образом, выходную мощность. Когда мощность достигает желаемого уровня, стержни заново вставляются для получения установленного состояния, оставляя один свободный нейтрон от каждого расщепления. Есть три типа управляющих стержней:

1. Компенсирующие стержни (известные как С-стержни) предназначены для грубой регулировки.
2. Регулирующие стержни (известные как А-стержни) предназначены для точной настройки.

3. Предохранительные стержни предназначены для быстрого отключения.

а)



б)

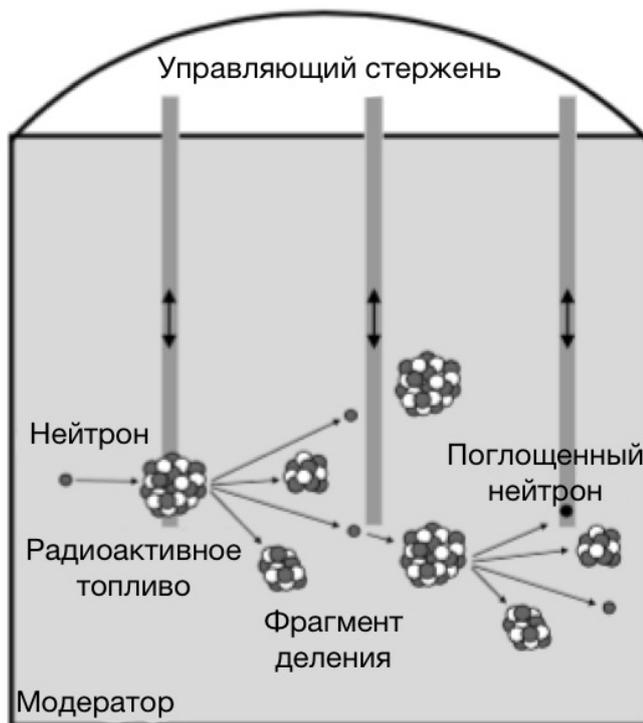


Рис. 1. Схема работы ядерного реактора:

а) общий вид; б) процесс расщепления

Для нормального контроллера только первые два типа представляют собой интерес, потому что управление предохранительными стержнями будет осуществляться вручную либо же наблюдательным контроллером. Обычно только регулирующие стержни активны для выравнивания малых изменений у выходной мощности. Такие изменения могли, например, быть вызваны изменением в реактивности из-за повышения температуры ядра реактора. Когда регулирующие стержни почти полностью вставлены или же вытащены, компенсирующие стержни плавно смещаются, позволяя регулирующим стержням переместиться к центральному положению. Далее компенсирующие стержни используются только при запуске, отключении и при изменении установок.

Ядерным реактором БР1 в настоящее время управляет стандартный простой контроллер включения-отключения, который управляет только регулируемыми стержнями. Компенсирующие стержни должны быть перемещены вручную, таким образом, контроллер может только поддерживать установившийся уровень мощности. Ранние исследования управления с использованием нечеткой логики для реактора БР1 привели к 1-летней работе контроллера, который комбинировал управление компенсирующими и регулируемыми стержнями.

### Управление моделью

Поскольку создание точной математической модели ядерного реактора довольно тяжело, то было принято решение использовать схожую модель. Данная модель состоит из бака с водой, который постоянно опустошается через маленькое отверстие в нижней части и заполняется одновременно двумя потоками воды. Заполняющимися потоками управляют вентили, таким образом, уровень воды в корпусе может быть отрегулирован.

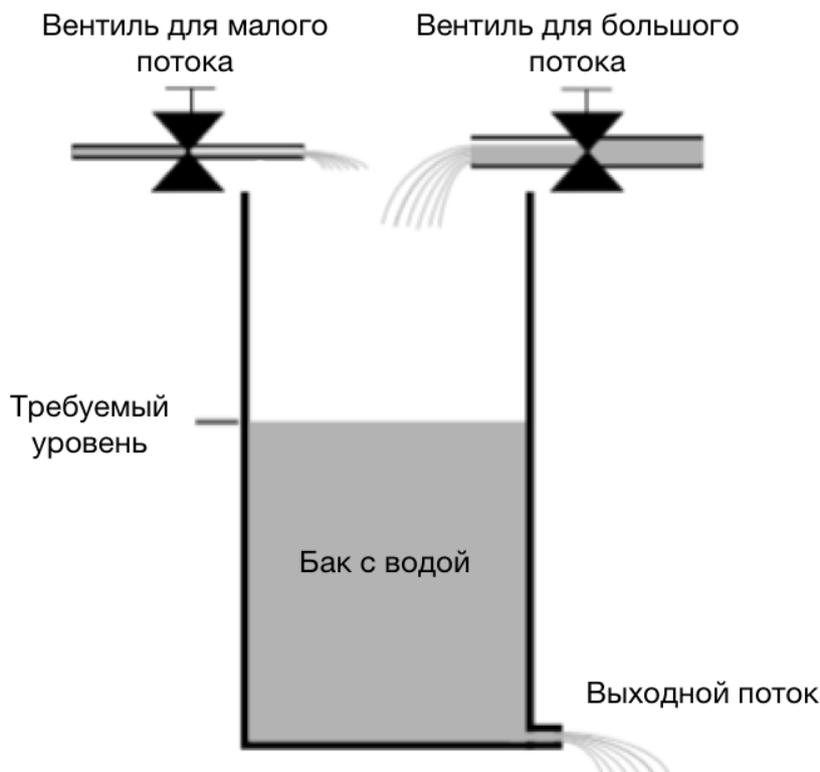


Рис. 2. Модель бака с водой

В этой модели уровень воды в баке отображает выходной параметр ядерного реактора. Скорость открытия или закрытия клапанов соответствует скорости вставки или удаления управляющих стержней. Один из заполняющих потоков спроектирован значительно больше, чем другой, для демонстрации различия между компенсирующими стержнями и управляющими стержнями. Контролируемые параметры входа – различие между текущим уровнем воды и заданным значением, а также уровень изменения воды.

### Моделирование системы в пространстве состояний

Модель реактора разработана с использованием кинетических уравнений с шестью группами задержанных нейтронов. Параметры взяты из пособия Эдвардса Р. М. «Устойчивое оптимальное управление ядерными реакторами», 2001 г.

#### Нейтронно-кинетическая модель реактора

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\rho - \beta}{\Lambda} n + \sum_{i=1}^G \lambda_i c_i$$

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{\beta_i}{\Lambda} n - \lambda_i c_i, i = 1, 2, \dots, G$$

#### Модель температуры топлива

Энергетическое уравнение баланса атомов топлива подразумевает, что повышение температуры атомов равняется разнице произведенной энергии от расщепления и тепла, рассеянного конвекцией от топлива.

$$m_f c_{pf} \frac{dT_f}{dt} = P \cdot n - Ah \left( T_f - \frac{T_i + T_e}{2} \right)$$

### Модель температуры охладителя

Атом топлива окружен циркалой (сплав циркония с оловом) и опускается в воду, которая используется для охлаждения. Основным же методом теплообмена является конвекция. Уравнение баланса энергии теплоносителя показывает нам, что повышение температуры охладителя равняется разности конвективного теплообмена с атомом топлива и изменению теплосодержания охладителя между входом и выходом:

$$m_c c_{pc} \frac{dT_c}{dt} = \Omega \left( T_f - \frac{T_i + T_e}{2} \right) - (w_c c_{pc} T_e - w_c c_{pc} T_i)$$

### Полная модель реактивности

Изменение реактивности может быть вызвано влиянием движения управляющего стержня или тепловым эффектом на реактивность:

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_{rod} + \alpha_f (T_f - T_{f0}) + \alpha_c (T_c - T_{c0}) \\ &= \rho_{rod} + \alpha_f (T_f - T_{f0}) + \frac{\alpha_c}{2} (T_i - T_{i0}) + \frac{\alpha_c}{2} (T_e - T_{e0}) \end{aligned}$$

### Линеаризация и разработки модели в пространстве состояний

Рассматривая малое возмущение вокруг устоявшегося состояния, нелинейную систему уравнений можно линеаризовать и получить четыре набора связанных линейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \delta \dot{n}_r &= \frac{\rho_0 - \beta}{\Lambda} \cdot \delta n_r + \lambda \cdot \delta c_r = f_1 \\ \delta \dot{c}_r &= \frac{\beta}{\Lambda} \cdot \delta n_r - \lambda \cdot \delta c_r = f_2 \\ \delta \dot{T}_f &= \frac{P_0}{\mu_f} \cdot \delta n_r - \frac{\Omega}{\mu_f} \cdot \delta T_f + \frac{\Omega}{2\mu_f} \cdot \delta T_i + \frac{\Omega}{2\mu_f} \cdot \delta T_e = f_3 \\ \delta \dot{T}_e &= \frac{2\Omega}{\mu_c} \cdot \delta T_f + \left( \frac{2M_c - \Omega}{\mu_c} \right) \cdot \delta T_i - \left( \frac{2M_c + \Omega}{\mu_c} \right) \cdot \delta T_e = f_4 \end{aligned}$$

Используя все известные значения, мы получаем обычную SISO-модель для пространства состояний:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) \end{aligned}$$

Далее мы получаем системные матрицы, исходя из предыдущих вычислений:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \frac{\partial f_1}{\partial x_3} & \frac{\partial f_1}{\partial x_4} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_3} & \frac{\partial f_2}{\partial x_4} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x_1} & \frac{\partial f_3}{\partial x_2} & \frac{\partial f_3}{\partial x_3} & \frac{\partial f_3}{\partial x_4} \\ \frac{\partial f_4}{\partial x_1} & \frac{\partial f_4}{\partial x_2} & \frac{\partial f_4}{\partial x_3} & \frac{\partial f_4}{\partial x_4} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u} \\ \frac{\partial f_2}{\partial u} \\ \frac{\partial f_3}{\partial u} \\ \frac{\partial f_4}{\partial u} \end{bmatrix}.$$

Подставим наши выражения и получим привычные матрицы для пространства состояний:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{\beta}{\Lambda} & \lambda & \frac{n_{r0}\alpha_f}{\Lambda} & \frac{n_{r0}\alpha_c}{2\Lambda} \\ \frac{\beta}{\Lambda} & -\lambda & 0 & 0 \\ \frac{P_0}{\mu_f} & 0 & -\frac{\Omega}{\mu_f} & \frac{\Omega}{2\mu_f} \\ 0 & 0 & \frac{2\Omega}{\mu_c} & -\frac{2M_c + \Omega}{\mu_c} \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} \frac{n_{r0}}{\Lambda} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0]; D = [0].$$

Параметры реактора при различных уровнях мощности представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры реактора при различных уровнях мощности

Power (%)	$T_c$	$n_{r0}$	$\alpha_f$	$\alpha_c$	$\mu_f$	$\mu_c$	$\Omega$	$M_c$
100	302	1.0	$-2.9 \times 10^{-5}$	$-6.3 \times 10^{-4}$	$2.25 \times 10^7$	$6.9 \times 10^7$	$3.94 \times 10^6$	$7.08 \times 10^7$
80	298.6	0.8	$-3.2 \times 10^{-5}$	$-5.59 \times 10^{-4}$	$2.21 \times 10^7$	$6.8 \times 10^7$	$4.16 \times 10^6$	$6.89 \times 10^7$
60	295	0.6	$-3.3 \times 10^{-5}$	$-5.56 \times 10^{-4}$	$2.18 \times 10^7$	$6.7 \times 10^7$	$4.38 \times 10^6$	$6.87 \times 10^7$
40	291.8	0.4	$-3.5 \times 10^{-5}$	$-5.22 \times 10^{-4}$	$2.14 \times 10^7$	$6.61 \times 10^7$	$4.61 \times 10^6$	$6.79 \times 10^7$
20	288.4	0.2	$-3.8 \times 10^{-5}$	$-4.86 \times 10^{-4}$	$2.10 \times 10^7$	$6.53 \times 10^7$	$4.85 \times 10^6$	$6.7 \times 10^7$

Модели пространства состояний могут быть преобразованы в соответствующие передаточные функции, используя известное соотношение:

$$G(s) = C(sI - A)^{-1} B + D$$

Таким образом, мы получаем передаточные функции, соответствующие работе реактора при различных уровнях мощности:

$$G_{100} = \frac{5681.8182(s + 2.114)(s + 0.17)(s + 0.0759)}{(s + 43.52)(s + 2.096)(s + 0.1979)(s + 0.01682)}$$

$$G_{80} = \frac{4545.4545(s + 2.094)(s + 0.1822)(s + 0.0759)}{(s + 43.52)(s + 2.08)(s + 0.2066)(s + 0.0137)}$$

$$G_{60} = \frac{3409.0909(s + 2.123)(s + 0.1941)(s + 0.0759)}{(s + 43.52)(s + 2.112)(s + 0.2137)(s + 0.01044)}$$

$$G_{40} = \frac{2272.7273(s + 2.132)(s + 0.2076)(s + 0.0759)}{(s + 43.53)(s + 2.124)(s + 0.2217)(s + 0.007051)}$$

$$G_{20} = \frac{1136.3636(s + 2.135)(s + 0.2219)(s + 0.0759)}{(s + 43.53)(s + 2.132)(s + 0.2296)(s + 0.003624)}$$

### Система управления с нечетким ПИД-регулятором

После получения всех необходимых данных мы можем собрать нашу систему управления с использованием нечеткого ПИД-регулятора.

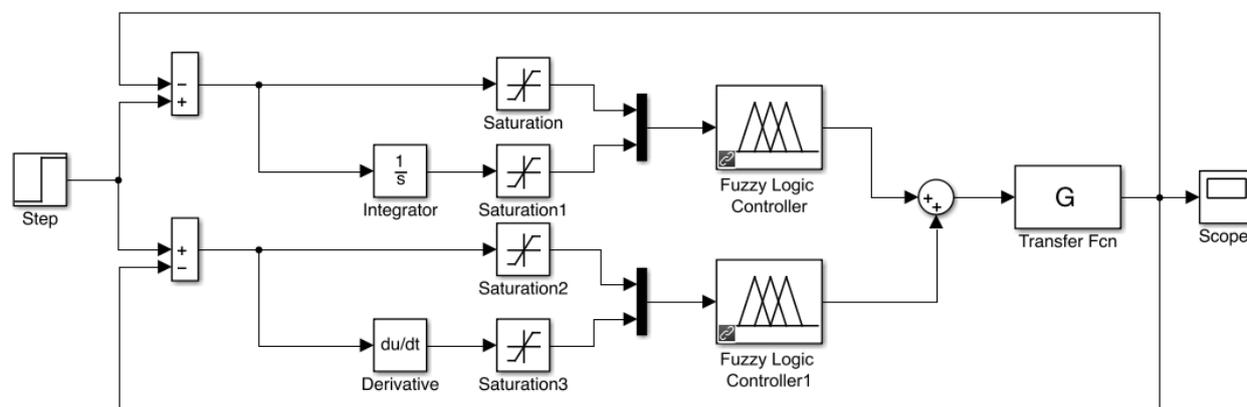


Рис. 3. Система управления  
с использованием нечеткого ПИД-регулятора

### Библиографический список

1. Бураков М. В. Нечеткие регуляторы: учеб. пособие, 2010. 56 с.
2. Бураков М. В., Полякова Т. Г., Подзорова А. В. Теория автоматического управления: метод. указ. к вып. лаб. работ. № 1–9, 2006. 72 с.
3. Эдвардс Р. М. Устойчивое оптимальное управление ядерными реакторами, 2001. 11 с.
4. Адда Ф. М., Ларбс С. В. Разработка искусственного нечеткого регулятора для исследований ядерного реактора, 2005. 19 с.

УДК 004.23 (623)

**Д. Е. Попков**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**С. В. Соленьй**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕКОДИРОВАНИЯ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СЖАТЫХ АУДИОДАНЫХ ЧЕРЕЗ ЦАП

При создании компактных автономных устройств, одной из задач которых является воспроизведение записи голоса небольшой длительности, возникает необходимость в компактном хранилище этих данных. Сжатие – это одно из решений данной проблемы на программном уровне. При использовании данного способа не требуются большие объемы памяти для хранения аудиозаписи, поэтому это не только существенно удешевляет себестоимость конечного продукта, но и уменьшает его размеры. Так, например, вместо обычного флеш- или sd-накопителя можно использовать последовательную энергозависимую память EEPROM, стоимость которой значительно ниже. А для сжатия звуковых данных может быть использован аудиокодек Speex.

Speex – это открытый аудиокодек, предназначенный для сжатия звука. Этот кодек был адаптирован для STM32 [1]. Использование Speex дает достаточно высокую степень сжатия звука. Для реализации разборчивой речи достаточно использовать частоту дискретизации 8 кГц и битрейт 8 кбит/сек. Практически это означает, что 1 секунда 16-битного звука с частотой дискретизации 8 кГц в закодированном виде занимает 1000 байт. Таким образом, получается сжатие в 16 раз по сравнению с несжатым звуком. Декодер кодака требует 30 Кб Flash и 5 Кб ОЗУ, поэтому его можно реализовать на STM32f-Discovery с микроконтроллером STM32F407GT.

У компании STMicroelectronics существует документ AN2812 Application note, в котором реализована возможность записи и воспроизведения звука, но сам код программы достаточно сложен [1]. Нас же интересует лишь воспроизведение заранее записанного и сжатого звука. При этом для вывода звука вместо широтно-импульсной модуляции (ШИМ) будет использоваться цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), встроенный в STM32F407GT. В итоге для вывода звука нам потребуется задействовать ЦАП и TIM2 для генерации прерываний.

ЦАП является модулем, который преобразовывает некоторые цифровые данные в их аналоговое представление. Таким образом, ЦАП позволяет нам относительно плавно изменять напряжение на выводе контроллера и используется для генерации звука или сигналов произвольной формы.

TIM2 является таймером общего назначения, который имеет 4 независимых канала, которые могут использоваться для захвата сигнала, сравнения, генерации ШИМ, генерации одиночного импульса. Шестнадцатитбитные таймеры могут работать с инкрементальными энкодерами и датчиками Холла. Несколько таймеров можно синхронизировать между собой. Существует процедура прерывания на разные события, а именно: переполнение, захват сигнала, сравнение, событие-триггер. При наступлении любого из них таймеры могут генерировать запрос.

### Описание принципа построения алгоритма программы

Таймер TIM2 настраивается на генерирование прерывания с частотой 8 кГц (рис. 1). Создается два буфера, в которые декодер помещает декодированные данные (рис. 2). В то время, пока данные из одного буфера в прерывании запи-

сываются в ЦАП, другой буфер заполняется новыми. При заполнении буфера начинается воспроизведение из другого буфера, и начинается новый цикл декодирования. Для начала воспроизведения звука необходимо вызвать функцию инициализации декодера, после чего выполняется функция воспроизведения звука. В качестве аргументов в нее передается указатель на начало массива аудиоданных и размер аудиоданных во фреймах. Стоит отметить, что звук хранится во фреймах (блоках) по 20 байт, и данные из массива аудиоданных тоже считываются блоками по 20 байт. Вся задача функции воспроизведения состоит в том, чтобы при запросе декодирования заполнить буфер `input_bytes[i]` данными и произвести декодирование (при этом декодированные данные в соответствии со значением `Start_Decoding` помещаются в необходимый буфер `OUT_Buffer`).

```

void TIM2_IRQHandler(void)
{
    /* USER CODE BEGIN TIM2_IRQn 0 */
    HAL_NVIC_ClearPendingIRQ(TIM2_IRQn); //сбрасываем флаг прерывания
    uint16_t tmp; //объявляем tmp
    tmp = (uint16_t)((*(outBuffer>>5)) + 0x200); //Читаем из текущего буфера значение
    //понижаем его разрядность и прибавляем 512, поскольку
    //в буфере число со знаком
    HAL_DAC_SetValue(&hdac, DAC_CHANNEL_1, DAC_ALIGN_12B_R, tmp); //отправляем данные в ЦАП
    //Если дошли до конца буфера, изменяем указатель на другой буфер
    //и начинаем декодировать данные
    if(outBuffer == &OUT_Buffer[1][159])
    {
        outBuffer = OUT_Buffer[0];
        Start_Decoding = 2;
    }
    else if(outBuffer == &OUT_Buffer[0][159])
    {
        outBuffer++;
        Start_Decoding = 1;
    }
    else
    {
        outBuffer++;
    }
}

```

Рис. 1. Обработчик таймера прерываний

```

for(i=0;i<ENCODED_FRAME_SIZE; i++)
{
    input_bytes[i] = array[sample_index];
    sample_index++;
}

speex_bits_read_from(&bits, input_bytes, ENCODED_FRAME_SIZE);
speex_decode_int(dec_state, &bits, (spx_int16_t*)OUT_Buffer[1]);

NB_Frames++;

```

Рис. 2. Пример заполнения одного из буферов (`OUT_Buffer`)

Переменная `sample_index` инкрементируется при каждом считывании байта из массива аудиоданных. Переменная `NB_Frames` инкрементируется при каждом считывании фрейма из массива аудиоданных. Декодирование идет до тех пор, пока не будут считаны все фреймы.

В результате выполненных исследований был получен удобный и простой способ воспроизведения записи голоса, который можно применять в различных компактных автономных системах.

**Библиографический список**

1 Официальный сайт компании STMicroelectronics [Электронный ресурс]. URL: [http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/56/2f/7a/13/d6/cc/45/b2/CD00204907.pdf/files/CD00204907.pdf/jcr:content/translations/en.CD00204907.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/56/2f/7a/13/d6/cc/45/b2/CD00204907.pdf/files/CD00204907.pdf/jcr:content/translations/en.CD00204907.pdf).

**УДК 621.039.5**

**Х. Е. Пржевальский, М. В. Медведев**

студенты кафедры управления в технических системах

**О. Я. Солена**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

**ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ**

Все стадии функционирования ядерного топливно-энергетического комплекса, такие, как производство топлива для ядерных реакторов, подготовка его к использованию, сжигание топлива в реакторе, утилизация отработанного топлива, промежуточное хранение и т. п., вместе взятые составляют так называемый топливный цикл. Ядерный топливный цикл (ЯТЦ) – путь, по которому топливо попадает в ядерный реактор, и по которому его покидает. Различают замкнутый и разомкнутый топливные циклы.

В разомкнутом (открытом) ЯТЦ отработанное ядерное топливо считается высокоактивными радиоактивными отходами и вместе с остаточными делящимися изотопами исключается из дальнейшего использования – поступает на хранение или захоронение. Поэтому разомкнутый ЯТЦ характеризуется низкой эффективностью использования природного урана (до 1%). Этот процесс представлен на рис. 1.



*Рис. 1. Разомкнутый ядерный топливный цикл*

Схема открытого варианта ЯТЦ значительно короче и проще, чем в замкнутом варианте. Отсутствует основной источник загрязнения окружающей среды радионуклидами – радиохимический завод, то есть отсутствует наиболее радиационно опасное производство. Радиоактивные вещества постоянно находятся в твердом состоянии в герметичной упаковке, не происходит их «размазывание» по огромным площадям в виде растворов, газов при «штатных» и нештатных выбросах и т. д. Исчезают все проблемы, связанные со строительством и будущим выводом из эксплуатации радиохимического завода, исчезает необходимость закачивания под землю трития, устраняются проблемы с утилизацией йода, жидких и газообразных отходов, выбросов и т. д. И, наконец, «вечное» захоронение объема отработавших тепловыделяющих сборок (в дальнейшем – ОТВС) не означает полное и вечное исключение из оборота ядерных материалов. Ибо «могильник»

для отработанного топлива – это искусственное компактное месторождение урана и плутония, к «разработке» которого всегда можно вернуться в случае крайней необходимости – когда появятся новые принципы подхода к использованию ядерных материалов, новые технологии по переработке отработанного ядерного топлива (ОЯТ), снизится активность осколочных радионуклидов и т. д. [1].

К недостаткам открытого цикла следует отнести большую стоимость долгосрочных хранилищ и полигонов для захоронения, трудности обеспечения долговременной изоляции ТВС от биосферы, необходимость постоянной вооруженной охраны захоронений (возможность хищения делящихся нуклидов из захоронений террористами также представляется реальной) и постоянного контроля состояния хранимых материалов.

Замкнутый ядерный топливный цикл – ядерный топливный цикл, в котором отработавшее ядерное топливо, выгруженное из реактора, перерабатывается для извлечения урана и плутония для повторного изготовления ядерного топлива. Этапы замкнутого ЯТЦ включают выдержку отработанного ядерного топлива на территории АЭС в течение 3–10 лет; временное контролируемое хранение ОЯТ в автономных хранилищах при радиохимическом заводе (сроком до 40 лет), переработку ОЯТ с выделением из него отдельных (или суммы) делящихся нуклидов и продуктов деления, представляющих коммерческий интерес, отверждение и захоронение отходов. Переработка отработанного ядерного топлива дает определенные экономические выгоды, восстанавливая неиспользованный уран и вовлекая в энергетику наработанный плутоний. При этом уменьшается объем высоко-радиоактивных и опасных отходов, которые необходимо надлежащим образом хранить, что также имеет определенную экономическую целесообразность. В отработанном ядерном топливе содержится примерно 1% плутония. Это очень хорошее ядерное топливо, которое не нуждается ни в каком процессе обогащения, оно может быть смешано с обедненным ураном и поставляться в виде свежих топливных сборок для загрузки в реакторы. Этот процесс представлен на рис. 2.

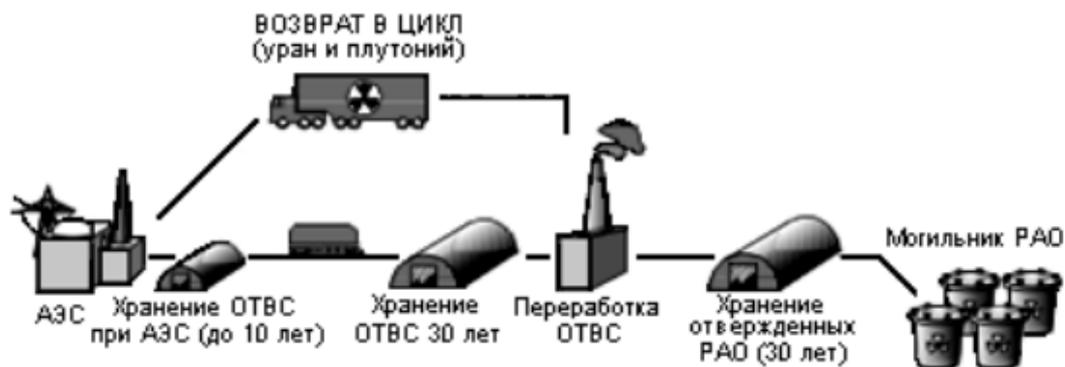


Рис. 2. Разорванный ядерный топливный цикл

Франция, Германия, Великобритания, Россия и Япония продолжают развитие технологий закрытого топливного цикла для оксидных топлив. Сейчас в Европе 35 реакторов способны частично использовать МОКС-топливо (от 20 до 50%), содержащее до 7% пригодного для реакторов плутония. В настоящее время лишь Великобритания, Франция и Россия перерабатывают ОЯТ других государств.

### Этапы ЯТЦ

#### 1. Добыча и переработка урана.

Уран широко распространен в природе. В довольно значительных концентрациях он обнаружен во многих горных породах, океанах и морях, в лунном грун-

те, в метеоритах. Почти повсеместное присутствие урана объясняется высокой химической активностью, хорошей растворимостью его солей, способностью принимать участие в разнообразных химических реакциях и образовывать соединения со многими другими элементами. Среднее содержание урана в земной коре составляет  $(2-4) \cdot 10^{-4} \%$ , то есть в 1 тонне содержится около 3 грамм урана. Содержание урана в мантии земли примерно  $10^{-6} \%$ . По распространенности уран опережает такие элементы, как серебро, кадмий и ртуть. В тонне гранита содержится до 25 грамм урана. Полная энергия этих 25 граммов эквивалентна по теплотемпературе 125 т каменного угля. Энергия всего земного урана оценивается астрономической цифрой в  $2 \cdot 10^{24}$  кВт·ч. Это в миллионы раз больше, чем могут дать все горючие ископаемые.

Основной задачей технологии урана является получение урана в форме, пригодной для использования его в ядерных реакторах. Такими формами могут быть: уран металлический, диоксид урана, тетрафторид урана. В каждом конкретном случае (в зависимости от вида конечного продукта) выбирается своя технологическая схема переработки урановых руд. Важным фактором, определяющим выбор технологической схемы, является требование ядерной чистоты урана, предназначенного для использования в ядерных реакторах. Содержание некоторых элементов в ядерном топливе (Cd, В) не должно превышать  $10^{-6}-10^{-5} \%$  масс. Для достижения такой чистоты ядерных материалов требуются специальные методы очистки. Таким образом, химико-технологические схемы переработки урановых руд, с учетом вышеперечисленных условий, представляют собой довольно сложные и многостадийные процессы.

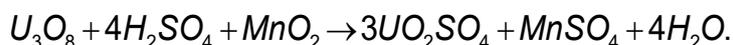
Химический состав нерудной составляющей имеет решающее значение при выборе способа их химической переработки. Из силикатных руд уран выщелачивают кислотами; из карбонатных – содовыми растворами; сульфидные руды предварительно подвергают обжигу; железо-окисные руды подвергают переплавке, а затем уран выщелачивают из шлака и т. д.

Урановые руды добывают либо открытым способом, либо шахтным. С рудников на дальнейшую переработку поступают куски руды размером до 1 метра. В исходной руде минералы урана очень сильно рассеяны. В большинстве случаев размер зерен урановых минералов в руде составляет от 0,01 до 1 мм. Минералы в руде практически полностью экранированы минералами пустой породы. Поэтому первой стадией переработки руд является их дробление. В зависимости от специфики последующей переработки руды дробятся и измельчаются до определенных размеров частиц:

- для радиометрического обогащения – до 25–300 мм;
- для гравитационного обогащения – до 1–10 мм;
- для флотационного обогащения – до 0,07–0,13 мм;
- для выщелачивания – до 0,07–0,6 мм.

Основная масса урана из добываемых руд выщелачивается серной кислотой. Основным недостатком серной кислоты при вскрытии урановых руд является необходимость добавления окислителя. В качестве окислителя можно применять  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{KClO}_3$  и др. [2].

При выщелачивании урана из руд, содержащих минералы группы уранинита – настурана, серной кислотой в присутствии  $\text{MnO}_2$  протекает следующая реакция:



Выщелачивание – это гетерогенный процесс, то есть процесс, протекающий с участием твердого минерала и жидкого химического реагента (выщелачивателя). Скорость процесса выщелачивания будет определяться либо скоростью хи-

мической реакции взаимодействия минерала с химическим реагентом, либо скоростью диффузионного массопереноса выщелачивателя к поверхности взаимодействия и удаления с поверхности продуктов реакции. Скорость химической реакции в большинстве случаев больше, чем скорость диффузионных процессов. Поэтому скорость выщелачивания может быть описана уравнением диффузии 1:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{DFdC}{dx}, \quad (1)$$

где  $dN/dt$  – количество реагента, продиффундировавшего к реагирующей поверхности в единицу времени;  $D$  – коэффициент диффузии;  $F$  – величина поверхности соприкосновения фаз;  $dC/dx$  – градиент концентраций.

Важным фактором при выщелачивании является температура. Зависимость константы скорости химической реакции от температуры определяется уравнением Аррениуса 2:

$$\frac{d \ln K}{dT} = -\frac{A}{RT^2}, \quad (2)$$

где  $K$  – константа скорости реакции;  $A$  – энергия активации;  $T$  – абсолютная температура;  $R$  – универсальная газовая постоянная.

## 2. Аффинаж.

Конечными продуктами урановорудных заводов являются химические концентраты с содержанием урана 60–95% масс в зависимости от состава руды и способа их переработки в пересчете на  $U_3O_8$ . Количество примесей достигает 20%. Применение таких продуктов в качестве реакторного топлива недопустимо. Для достижения ядерной чистоты необходима более тонкая очистка урана от примесей.

Допустимое содержание примесей в уране определяется исходя из величины их эффективного поперечного сечения захвата тепловых нейтронов. По этой величине можно судить, насколько уменьшается нейтронный поток реактора за счет поглощения нейтронов примесями. Наибольшее влияние на величину нейтронного потока оказывают так называемые нейтроноактивные элементы, сечения захвата нейтронов  $\sigma$  которых более 100 (табл. 1).

Таблица 1

Эффективное поперечное сечение захвата тепловых нейтронов

элемент	Hf	V	Dy	Cd	Eu	Sm	Gd <sup>156</sup>	Gd <sup>157</sup>
$\sigma$ , барн	115	753	1100	2400	4500	6500	4400	160000

В ядерно-чистом уране содержание нейтроноактивных примесей допускается не более  $10^{-5}$ – $10^{-6}\%$ . Если сопоставить влияние различных примесей на уменьшение нейтронного потока реактора, то окажется, например, что одна часть кадмия будет в такой же степени поглощать нейтроны, как 1000 частей железа ( $\sigma = 2,43$  барн) или 10 000 частей алюминия ( $\sigma = 0,215$  барн). Из этого следует, что при содержании кадмия в уране  $5 \cdot 10^{-6}\%$  равный эффект нейтронного поглощения получится для железа при его содержании порядка  $5 \cdot 10^{-3}\%$ ; дальнейшее понижение содержания железа уже в существенной степени не будет сказываться на уменьшении нейтронного потока реактора. Примерно в таком же количестве ( $10^{-3}$ – $10^{-4}\%$ ) допускается содержание в уране таких примесей, как V, Ti, Cr, Ni, Cu ( $1 < \sigma < 10$ ). Еще большее количество допускается Al, Si, P, S, Ca ( $\sigma < 1$ ). Поступающий с урановорудного завода концентрат в виде  $U_3O_8$  (либо в виде диураната) растворяется в азотной кислоте. Концентрация урана в полученном растворе со-

ставляет 200–250 г/л. Для очистки урана от примесей используются осадительные и экстракционные способы. В качестве реагентов в осадительном аффинаже урана используются перекись водорода  $H_2O_2$ , щавелевая кислота  $H_2C_2O_4$  и карбонаты или бикарбонаты аммония. Для получения хорошо фильтрующихся осадков пероксида урана процесс осаждения проводят с интенсивным перемешиванием при температуре 20–35 °С. В настоящее время наибольшее распространение получила экстракционная очистка химических концентратов с применением в качестве экстрагента трибутилфосфата (ТБФ). Осадительные методы играют второстепенную роль. Основные закономерности процесса экстракционной очистки те же, что и при переработке растворов после выщелачивания руд.

### 3. Обогащение урана.

На заре создания ядерных вооружений одной из основных ключевых проблем стало разделение изотопов урана. Этот тяжелый радиоактивный металл встречается в природе в виде смеси двух основных изотопов. Основную долю (чуть меньше 99,3%) составляет уран-238. Содержание более легкого изотопа – урана-235 – составляет всего 0,7%, но именно он необходим для создания ядерного оружия и работы реакторов.

Разделить изотопы совсем не просто. Их химические свойства идентичны (в конце концов, это один и тот же химический элемент), а разница в атомной массе составляет чуть более 1%, так что физические методы для разделения должны иметь очень высокую избирательность. Этот вопрос в 1950-х стал одним из решающих моментов, которые определили успех советской ядерной отрасли и заложили основу для современной конкурентоспособности российской ядерной промышленности на мировом рынке.

Один из способов разделения изотопов урана представлен на рис. 3 [3].

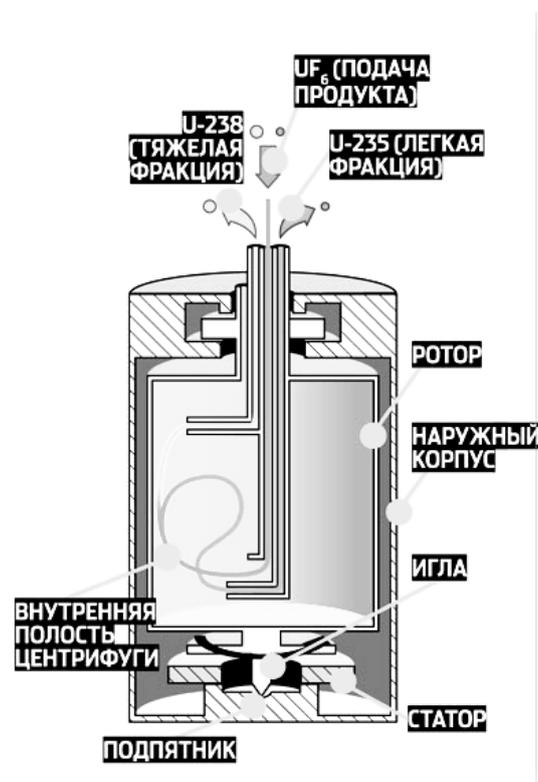


Рис. 3. Способ разделения изотопов урана

При центрифужном методе разделения за счет высокой скорости вращения создается центробежная сила. За счет этого более тяжелые молекулы гексафторида урана-238 «сбиваются» на периферии вращающегося цилиндра, а более

легкие молекулы гексафторида урана-235 концентрируются возле оси ротора. Через отдельные выводные трубопроводы газ, содержащий изотопы U-238, выводится «в отвал», а обогащенная фракция с возросшим содержанием урана-235 перетекает в следующую центрифугу. Каскад таких центрифуг, содержащий сотни и тысячи машин, позволяет быстро увеличивать содержание легкого изотопа. Для использования топлива в реакторе необходимо довести содержание урана-235 до 4–5%. Можно довести обогащение до 45–60%, чтобы использовать в качестве топлива в реакторах подлодок и на исследовательских установках. Для изготовления атомной бомбы необходим уран со степенью обогащения по делящемуся изотопу (уран-235) выше 90%. Уран с такой степенью обогащения называют оружейным [4].

Газовая центрифуга, используемая для обогащения урана, вращается с огромной скоростью – более 1500 оборотов в секунду, не останавливаясь в течение всего срока действия – 30 лет (рекорд составляет 32 года). Для сравнения: барабан стиральной машины вращается со скоростью около 1000 оборотов в минуту. Если прекратить подачу электричества на газовую центрифугу, используемую для обогащения урана, то она будет вращаться по инерции еще пару месяцев. Ротор газовой центрифуги, используемой для обогащения урана, тонкой иглой опирается на корундовое основание. Эта игла должна быть очень острой, и рабочие пользуются проверенным способом: определяют остроту иглы щекой.

Реализуемая сегодня в России технология газоцентрифужного обогащения урана требует в 50 раз меньше энергии, чем газодиффузионная технология (которая используется в Европе и США). Благодаря этому конечная цена на российский топливный уран в 3 раза ниже, чем на американский аналог [5].

#### **4. Изготовление топлива.**

Конструкционной основой ядерного топлива в реакторе является тепловыделяющий элемент – ТВЭЛ. Основным продуктом производства является ядерное топливо на основе диоксида урана  $UO_2$ , формируемое в виде цилиндрических прессовок на мощных прессах. Установка производит прессование топливных таблеток. Первичные компоненты топливных сборок прессованного диоксида урана после прессования направляются на спекание. Таблетки отжигаются в печах при температуре не менее 1750 °С в водородной восстановительной среде в течение 20 с лишним часов. Спеченные таблетки шлифуются, поскольку они должны быть строго определенного размера. И на выходе контролеры проверяют каждую таблетку, чтобы не было ни сколов, ни трещин, ни других дефектов. Одна таблетка весом 4,5 г по энерговыделению эквивалентна 640 кг дров, 400 кг каменного угля, 360 м<sup>3</sup> газа, 350 кг нефти. Далее таблетками диоксида урана заполняют циркониевые трубки. На выходе имеем готовые тепловыделяющие элементы ТВЭЛы (около 4 м в длину). Из ТВЭЛов уже собирают тепловыделяющие сборки ТВС, иначе говоря ядерное топливо. Рабочие сваривают каркас тепловыделяющей сборки. В этот каркас затем установят 312 циркониевых трубок с ТВЭЛами.

Финальный контроль: готовые ТВС проверяют специальными щупами, чтобы расстояние между ТВЭЛами было одинаковое [6].

#### **5. Утилизация топлива.**

Начальная стадия послереакторного этапа ЯТЦ одинакова для открытого и закрытого циклов ЯТЦ. Она включает в себя извлечение ТВЭЛов с отработанным ядерным топливом из реактора, хранение его в пристанционном бассейне («мокрое» хранение в бассейнах выдержки под водой) в течение нескольких лет и затем транспортировку к заводу переработки.

В открытом варианте ЯТЦ отработанное топливо помещают в специально оборудованные хранилища («сухое» хранение в среде инертного газа или возду-

ха в контейнерах или камерах), где выдерживают несколько десятилетий, затем перерабатывают в форму, предотвращающую хищение радионуклидов и подготавливают к окончательному захоронению. В закрытом варианте ЯТЦ отработавшее топливо поступает на радиохимический завод, где перерабатывается с целью извлечения делящихся ядерных материалов.

Облученные тепловыделяющие элементы, извлеченные из реактора после их отработки, обладают значительной накопленной активностью. Различают два вида ОЯТ:

1) ОЯТ промышленных реакторов, которое имеет химическую форму как самого топлива, так и его оболочки, удобную для растворения и последующей переработки;

2) ОЯТ энергетических реакторов.

ОЯТ промышленных реакторов перерабатывают в обязательном порядке, тогда как ОЯТ энергетических реакторов перерабатывают далеко не всегда. Энергетическое ОЯТ относят к ценному энергетическому сырью, если подвергают переработке, или к высокоактивным отходам, если этого не делают.

После извлечения из активной зоны реактора ТВС с отработанным ядерным топливом хранят в бассейне выдержки на АЭС в течение 5–10 лет для снижения в них тепловыделения и распада короткоживущих радионуклидов. Поэтому свежевыгруженное топливо выдерживают в специальных хранилищах в течение времени, достаточного для распада основного количества короткоживущих радионуклидов. Это значительно облегчает организацию биологической защиты, снижает радиационное воздействие на химические реагенты и растворители в процессе переработки обработавшего ядерного топлива и уменьшает набор элементов, от которых должны быть очищены основные продукты. Так, после двух-трех лет выдержки активность облученного топлива определяют долгоживущие продукты деления: Zr, Nb, Sr, Се и другие РЗЭ, Ru и  $\alpha$ -активные трансурановые элементы. 96% ОЯТ – это уран-235 и уран-238, 1% – плутоний, 2–3% – радиоактивные осколки деления.

При хранении ОЯТ в пристанционном хранилище его активность монотонно уменьшается (примерно на порядок за 10 лет). Когда активность упадет до норм, определяющих безопасность транспортировки ОЯТ по железной дороге, его извлекают их хранилища и перемещают либо в долговременное хранилище, либо на завод по переработке топлива. На перерабатывающем заводе сборки ТВЭЛов с помощью погрузочно-разгрузочных механизмов перегружается из контейнеров в заводской буферный бассейн-хранилище. Здесь сборки хранят до тех пор, пока их не направят на переработку. После выдержки в бассейне в течение срока, выбранного на данном заводе, ТВС выгружают из хранилища и направляют в отделение подготовки топлива к экстракции на операции вскрытия отработавших ТВЭЛов.

Переработку облученного ядерного топлива проводят с целью извлечения из него делящихся радионуклидов (прежде всего U-233, U-235 и Pu-239), очистки урана от нейтронопоглощающих примесей, выделения нептуния и некоторых других трансурановых элементов, получения изотопов для промышленных, научных или медицинских целей. Радиохимическая переработка ОЯТ – основная стадия закрытого варианта ЯТЦ и обязательная стадия наработки оружейного плутония.

В настоящее время количество ОЯТ постоянно увеличивается, и его регенерация – основная задача радиохимической технологии переработки отработавших ТВЭЛов.

Среди радиоактивных продуктов деления содержится большое количество ценных радионуклидов, которые можно использовать в области малой ядерной

энергетики (радиоизотопные источники тепла для термогенераторов электроэнергии), а также для изготовления источников ионизирующего излучения. Применение находят трансурановые элементы, получающиеся в результате побочных реакций ядер урана с нейтронами. Радиохимическая технология переработки ОЯТ должна обеспечивать извлечение всех нуклидов, полезных с практической точки зрения или представляющих научный интерес.

Процесс химической переработки отработавшего топлива связан с решением проблемы изоляции от биосферы большого количества радионуклидов, образующихся в результате деления ядер урана. Эта проблема – одна из наиболее серьезных и труднорешаемых проблем развития ядерной энергетики.

Первая стадия радиохимической переработки включает подготовку топлива, то есть освобождение его от конструкционных деталей сборок и разрушение защитных оболочек ТВЭЛов. Следующая стадия связана с переводом ядерного топлива в ту фазу, из которой будет производиться химическая обработка: в раствор, в расплав, в газовую фазу. Перевод в раствор чаще всего производят растворением в азотной кислоте. При этом уран переходит в шестивалентное состояние и образует ион уранила,  $UO_2$ , а плутоний – частично в шести- и в четырехвалентное состояние,  $PuO_2$  и  $Pu_4O_7$  соответственно. Перевод в газовую фазу связан с образованием летучих галогенидов урана и плутония. Далее проводят выделение, разделение и очистку урана, плутония и нептуния тремя экстракционными циклами. В первом цикле осуществляют совместную очистку урана и плутония от основной массы продуктов деления, а затем проводят разделение урана и плутония. На втором и третьем циклах уран и плутоний подвергают дальнейшей отдельной очистке и концентрированию. Полученные продукты – уранилнитрат и нитрат плутония – помещают в буферные емкости до передачи их в конверсионные установки. В раствор нитрата плутония добавляют щавелевую кислоту, образующую суспензию оксалата фильтруют, осадок кальцинируют. Порошкообразную окись плутония просеивают через сито и помещают в контейнеры. В таком виде плутоний хранят до того, как он поступит на завод по изготовлению новых ТВЭЛов.

В настоящее время прорабатывается вариант организации АЭС, при котором на станции строятся не одинаковые блоки (например, три однотипных блока на тепловых нейтронах), а разнотипные (например, два тепловых и один быстрый реактор). Сначала обогащенное по U-235 топливо сжигается на тепловом реакторе (с образованием плутония), затем ОЯТ топливо перемещается в быстрый реактор, в котором за счет возникшего плутония перерабатывается U-238. После окончания цикла использования ОЯТ подается на радиохимический завод, который расположен прямо на территории АЭС. Завод не занимается полной переработкой топлива – он ограничивается выделением из ОЯТ только урана и плутония (путем отгонки шестифтористых фторидов этих элементов). Выделенные уран и плутоний поступают на изготовление нового смешанного топлива, а оставшееся ОЯТ идет или на завод по выделению полезных радионуклидов, или на захоронение [7].

### Библиографический список

1. Малышевский В. С. Ядерная физика и элементарные частицы: метод. указ. к курсу для студентов физического факультета. Ч. 2. Ростов-на-Дону: РГУ, 2003. 28 с.
2. Маслов А. А., Каляцкая Г. В. Технология урана: учеб. пособие. М.: изд-во Томского политех. ун-та. 40 с.
3. Обогащение урана на центрифуге // Популярная механика [Электронный ресурс]. URL: <http://www.popmech.ru/technologies/13637-i-vse-taki-ona-vertitsya> (дата обращения: 10.04.2017).

4. Обогащение урана // Радиационная обстановка на предприятиях Росатома [Электронный ресурс]. URL: [http://www.russianatom.ru/information/facts/uranium\\_enrichment](http://www.russianatom.ru/information/facts/uranium_enrichment) (дата обращения: 10.04.2017).

5. Григорьев В. А., Колюбин А. А., Логинов В. А. Электронные методы ядерно-физического эксперимента. 1988. 336 с.

6. Балашин Ю. А., Заричняк Ю. П., Успенская М. В. Физические основы ядерной энергетики: учеб. пособие. Ч. 2. СПб.: ИТМО, 2015. 88 с.

7. Обогащение урана: факты к содержательной дискуссии о ядерном распространении и атомной энергии // Энергетика и безопасность № 31 [Электронный ресурс]. URL: <http://ieer.org/ensec/no-31/no31russ/uenrich.html> (дата обращения: 10.04.2017).

## УДК 620.92

**К. А. Проказов**

магистрант кафедры прогаммно-целевого управления в приборостроении

**Г. С. Армашова-Тельник**

кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

### ОЦЕНКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА В РОССИИ

В работе рассмотрена мировая практика проектирования и строительства энергоэффективных жилых зданий, требования по снижению затрат энергии на отопление дома, а также оценка целесообразности строительства таких зданий в России.

Одной из современных тенденций жилищного строительства является разработка и конструирование зданий, в которых комфорт планировочных решений сочетался бы с экологичностью и энергоэффективностью.

По различным экспертным оценкам, запасов основных источников энергии (нефти, газа и угля) в мире осталось максимум на 100 лет. Практически половина потребления энергии в развитых странах приходится на жилые дома. Поэтому одним из основных методов ресурсосбережения становится улучшение энергоэффективности зданий. Инновационным направлением в строительстве, пока мало распространенным в России, является создание так называемых энергоэффективных домов.

Основной принцип проектирования энергоэффективного дома – поддержание комфортной внутренней температуры без применения систем отопления и вентиляции за счет максимальной герметизации здания и использования альтернативных источников энергии.

Критерием для классификации таких домов является энергопотребление: если затраты на отопление помещений в год составляют менее 90 кВтч/м<sup>2</sup> – дом считается энергоэффективным; менее 45 кВтч/м<sup>2</sup> – энергопассивным; менее 15 кВтч/м<sup>2</sup> – нулевого энергопотребления (на отопление ничего не тратится, но требуется энергия для подготовки горячей воды).

Первое экспериментальное энергоэффективное здание появилось после мирового энергетического кризиса 1974 года в Манчестере (США). Это было офисное здание, запроектированное по заказу Администрации общих служб для апробации и выявления лучших технических решений по энергосбережению. Энергопотребление здания сокращалось за счет эффективного использования солнечной радиации, двухслойных ограждающих конструкций и компьютерного управления инженерным оборудованием здания.

Реализация этого проекта положила начало строительству энергосберегающих зданий по всему миру. Работы по повышению энергоэффективности успешно ведутся в Европе. По данным различных источников, в западноевропейских странах уже построено от 2 до 10 тысяч таких домов. Лидерами этого движения являются Дания, Германия и Финляндия, где приняты целевые государственные программы по энергосбережению и строительству энергосберегающих зданий.



Рис. 1. Энергоэффективный дом

Классы энергоэффективности зданий		Энергопотребление для класса % от нормативного энергопотребления
A	очень высокий	≥ -51 %
B	высокий	-10 ÷ -50 %
C	нормальный	+5 ÷ -9 %
D	низкий	+6 ÷ +75 %
E	очень низкий	≥ +76 %

\*В соответствии со СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»

Рис. 2. Классы энергоэффективности зданий

В столице Финляндии, Хельсинки, существует целый энергоэффективный район – VIIKKI, построенный в 10 километрах от центра города (население этого микрорайона составляет 5 500 жителей, площадь 1132 га). В микрорайоне VIIKKI использование солнечной энергии обеспечивает до 50% потребности в отоплении и горячей воде. Общая площадь солнечных коллекторов составляет 1248 м<sup>2</sup>. Технологии энергосбережения и использование альтернативной энергии обеспечивают до 40% снижения энергопотребления по сравнению с традиционными домами. Энергопотребление в домах не превышает 15 кВт/ч на 1 м<sup>2</sup>.

В Дании в настоящее время муниципалитет города Эгедаль в соответствии с госпрограммой строит целый поселок энергосберегающих домов Stenlose South. Вместо разговоров об экологии и энергосбережении гражданам просто предоставляют готовые дома, оснащенные всеми энергоэффективными новинками.

Низкие потери тепла достигаются за счет грамотного проектирования здания, использования современного, высококачественного и эффективного утепления, конструктивно продуманного дизайна, в котором отсутствуют мостики холода как в материалах, так и в узлах примыканий, стыков. А также немаловажным являются: правильная геометрия здания, зонирование и ориентация по сторонам света.

Для максимального снижения затрат энергии используются следующие планировочные, конструктивные и инженерно-технические решения.

С планировочной точки зрения это 1-3-этажные дома, объемная структура которых проектируется максимально компактной с возможно меньшей изрезанностью фасада, что уменьшает площадь наружных ограждений и снижает тем самым теплопотери через них. Обязательным условием является наличие входного тамбура. Ориентация дома – широтная, окнами на юг, так как основным источником тепла для обогрева дома является солнечная энергия. Затененность дома деревьями и другими строениями исключается.

Ограждающие конструкции в домах низкого энергопотребления во избежание потерь тепла сооружают максимально герметичными, тепло- и воздухопроницаемыми, без «мостиков холода». Сопротивление теплопередаче ограждений не должно быть более 0,15 Вт/м<sup>2</sup> К. Для этого применяется внутренняя или двойная (внутренняя и внешняя) теплоизоляция. С точки зрения материалов это чаще всего комбинированные сооружения: подвальный этаж из монолитного железобетона и наземная часть, представляющая собой деревянный каркас с многослойными наружными стенами и перекрытиями. В европейских домах широко используются теплоизоляционные материалы с акцентом на экологичность, в том числе и натуральные материалы – мох, целлюлоза, овечья шерсть, деревянная стружка и т. д. Окна в таких домах – с трехкамерными стеклопакетами, заполненными инертным газом и специальным низкоэмиссионным покрытием стекол, «оставляющим» внутри помещения более 50% солнечной энергии, падающей на стекло. Сопротивление теплопередаче окон не должно превышать 0,8 Вт/м<sup>2</sup> К.

Инженерные системы и сети следующие. Вентиляция в домах – принудительная и осуществляется по принципу рекуперации, то есть как минимум 70–75% тепла, уходящего из дома с выходящим теплым воздухом, передается с помощью теплообменника холодному приточному воздуху. Для отопления и горячего водоснабжения дома используются источники тепла и энергии самого дома (внутренние тепловыделения), а также геотермальное тепло и солнечная энергия (с помощью гелиосистем). Дополнительная экономия тепловой энергии происходит за счет использования автоматизированной системы управления всеми техническими устройствами в здании.

Выполнение всех этих требований позволяет снижать потребность в энергии на отопление дома в климатических условиях Европы до 15 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год. Для сравнения: у кирпичного дома в Европе этот показатель составляет 250–350 кВт·ч/м<sup>2</sup>, в России – 400–600 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Стоимость 1 м<sup>2</sup> в таких домах в среднем на 8–15% больше средних показателей обычного здания, но, по подсчетам специалистов, за счет экономии энергии на отопление затраты окупаются за 7–10 лет.

Как известно, климат западной Европы намного мягче российского и поэтому особый интерес представляет канадский опыт. Примером может служить канадская фирма Concept Construction, построившая 20 энергоэффективных домов в провинции Саскачеван, климатические условия которой характеризуются зимней расчетной температурой –34,5 °С и Q = 6100 градусо-суток отопительного периода. К применяемым в Европе инженерно-техническим решениям канадские инженеры добавляют свои «изюминки».

Основным недостатком энергоэффективных и энергопассивных домов является проблема с качеством воздуха в герметичных непрветриваемых помещениях. Это проблема возникает из-за большого количества используемых ненатуральных строительных материалов: утеплителей, отделочных материалов, пластиков, синтетических смол и т. п., которые в процессе эксплуатации выделяют в воздух помещения вещества, неблагоприятно влияющие на человека.

Непременным условием возведения таких домов является наличие высококвалифицированных проектировщиков и рабочих. Это связано с необходимостью тщательного соблюдения технологии строительства. Например, даже небольшая неплотность пароизоляции при устройстве утеплителя внутри здания, или незаизолированная бетонная перемычка, или швы с большим количеством раствора могут свести на нет все усилия по герметизации дома, а исправление брака может стоить очень дорого.

В России проектирование и строительство энергоэффективных домов находится в стадии эксперимента. Первым опытом энергоэффективного строительства можно назвать экспериментальный жилой дом, построенный в 2001 году в московском микрорайоне Никулино-2. При его возведении впервые в нашей стране был использован комплекс мероприятий, обеспечивающих снижение энергозатрат при эксплуатации жилья. В здании были установлены теплонасосы для горячего водоснабжения, использующие тепло грунта и удаляемого вентиляционного воздуха, система отопления, обеспечивающая возможность поквартирного учета и регулирования потребляемого тепла, и применены наружные ограждающие конструкции с повышенной теплозащитой.

По данным ГК «Фонд содействия реформированию ЖКХ», на сегодняшний день в российских регионах ведется проектирование и строительство 29 энергоэффективных домов, построены и введены в эксплуатацию 19 домов (Белгород, Уфа, Казань, Ангарск и др.). В декабре 2010 года в Барнауле был введен в эксплуатацию первый за Уралом 19-квартирный энергоэффективный жилой дом. Для снижения теплопотерь через стены здания применена одна из наиболее современных технологий – система утепления фасадов «мокрого типа» «Классик» (г. Самара). «Система полностью укутывает отапливаемое здание, исключает мостики холода, своевременно удаляет возможную влагу, делает невозможным образование плесени и грибка, создается оптимальный баланс температуры и влажности», – отметил генеральный проектировщик, директор «Барнаулгражданпроект» Андрей Отмашкин. Меридиональная ориентация здания позволит увеличить теплопоступления в дом от солнечной радиации. В доме действуют солнечные коллекторы, дающие энергию для освещения и горячего водоснабжения,

функционирует система рекуперации воздуха. Создано также тепловое поле для обеспечения горячего водоснабжения и отопления. В целом экономия энергии должна составить 52%. При этом стоимость 1 м<sup>2</sup> составила 44 тыс. руб., что примерно в 1,5 раза дороже типовых аналогов.

В секторе малоэтажного строительства дочерней компанией RDI Group – «Загородный проект» совместно с Velux в Подмоскowie на территории проекта «Западная долина» осуществлен пилотный проект «Активный дом». Оборудован он всеми новинками энергосберегающих технологий. Стоимость двухэтажного коттеджа площадью около 200 м<sup>2</sup> составила около 40 млн руб. Затраты на отопление и горячее водоснабжение «Активного дома» по предварительным расчетам составят 12 566 руб. в год. Затраты обычного дома, отапливаемого за счет газа, – 24 000 руб. в год, за счет электричества – 217 000 в год. Рядом с «Активным домом» продаются обычные коттеджи сравнимой площади – 220 м<sup>2</sup> по 12 млн руб.

Понятно, что при массовом строительстве таких домов стоимость квадратного метра будет снижаться. На российском рынке уже представлены строительные материалы и инженерные системы для возведения таких зданий. Необходим переход к их типовой постройке. Понимание этой проблемы на государственном уровне привело к созданию федерального закона от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности...», в соответствии с которым с 2012 года внедряются паспорта энергоэффективности промышленных и жилых зданий.

Истощение невозобновляемых энергетических ресурсов заставляет задуматься о более сознательном их использовании, и создание энергоэффективных домов – один из шагов на этом пути.

Проведенные исследования позволяют сформулировать требования к конструкции и инженерным системам энергоэффективных сооружений с учетом структуры жилого фонда и климатических условий нашей страны. За прошедшее время ученым и производителям удалось достичь определенных результатов, а перед строительной отраслью теперь ставится задача перехода на новые стандарты и ускоренного внедрения лучших разработок в практику. Максимальный эффект энергосбережения может быть достигнут при комплексном рассмотрении объемно-планировочных и конструктивных решений, а также применении нетрадиционных для отечественной практики строительства инженерно-технических систем.

### **Библиографический список**

1. Эффективные системы отопления зданий / В. К. Аверьянов, В. Е. Минин, А. И. Тютюнников и др. М.: Стройиздат, 1988. 214 с.
2. Ананьев А. И. Комплексный подход к созданию энергоэкономичных отапливаемых зданий // Проблемы строительной теплофизики, систем микроклимата и энергосбережения в зданиях. М.: НИИСФ, 1998. С. 59–68.
3. Богуславский Л. Д. Экономия теплоты в жилых зданиях. М.: Стройиздат, 1990.
4. Беляев В. С. и др. Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий. М.: Высш. шк., 1991. 254 с.
5. Дашевский Ю., Жузе В. Энергосбережение в квартире // Сб. ЦЭНЭФ, № 14, 1977.
6. Иванов Г. С., Дмитриев А. Н. Проблема энергосбережения в зданиях в теплофизическом и экономическом аспектах технического нормирования // Промышленное и гражданское строительство. М., 1998. № 10.

УДК 629.03

**Н. И. Пруссак**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**С. В. Соленьй**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ

В настоящее время электромобили приобретают все большую популярность в мире. В ряде стран существуют государственные программы по переходу на электромобили и полный запрет использования бензиновых двигателей [1]. Это обусловлено тем, что электромобиль имеет массу преимуществ перед обычным автомобилем, основные из которых:

- более низкие, чем у автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) эксплуатационные расходы;
- более надежный силовой агрегат электромобиля, так как, в отличие от автомобиля с ДВС, он не подвержен работе под влиянием высоких температур, химически активных сред, не нуждается в жидкостном охлаждении и, как правило, не имеет множества подвижных частей;
- автомобили с электромоторами экологически толерантны.

Однако совершенно очевидно, что электромобиль имеет и свои недостатки, которые в данный момент затрудняют развитие его массового производства и использования, в том числе в России:

- наиболее уязвимым звеном электромобиля является аккумуляторная батарея (АКБ), которая предназначена для питания электродвигателей. На данный момент АКБ в электромобиле среднего класса обеспечивает запас хода 150–200 км в определенном режиме езды. АКБ в электромобиле состоит из блоков, она дорогая в производстве, имеет ограниченный ресурс и со временем все больше проявляет свойства старения;
- эксплуатация автомобиля при низких температурах, что крайне актуально в российских условиях, является довольно проблематичной, так как снижается емкость АКБ, а также появляется необходимость использования «печки», определенной резины и др., что в совокупности значительно уменьшает запас хода электромобиля;
- один из ключевых недостатков – необходимость развития сети зарядных станций для быстрой зарядки АКБ электромобиля. Безусловно, электромобиль можно заряжать и от обычной розетки, однако этот процесс даже на высокотехнологичных электромобилях занимает не менее четырех часов и доставляет массу неудобств. В США, Китае и странах Европы этот вопрос активно решается. Компания Tesla Motors, например, предусмотрела сеть своих зарядных станций по всему миру, а также разработала технологию замены разряженной АКБ на новую в полностью автоматизированном процессе, который занимает всего полторы минуты. Однако, в отличие от возможности зарядки АКБ от мощной зарядной станции, замена АКБ является платной.

На рис. 1 представлена блок-схема электромобиля. Как уже упоминалось, наиболее ненадежным, но при этом одним из главных элементов электромобиля является АКБ. Как правило, блок АКБ располагается в днище автомобиля, благодаря чему электромобиль обладает низким центром тяжести и улучшенной управляемостью [2]. Батареинный отсек состоит из нескольких блоков, которые

параллельно соединены и защищены от окружающей среды металлическими пластинами и пластиковыми насадками во избежание попадания, например, влаги. Каждый такой блок состоит из нескольких десятков ячеек, по виду схожих с обычными пальчиковыми батарейками (рис. 2).

Чаще всего используются литий-ионные аккумуляторы, которые широко распространены сегодня, так как отличаются высокой емкостью, низким саморазрядом и отсутствием необходимости обслуживания, а также в них практически отсутствует эффект памяти.

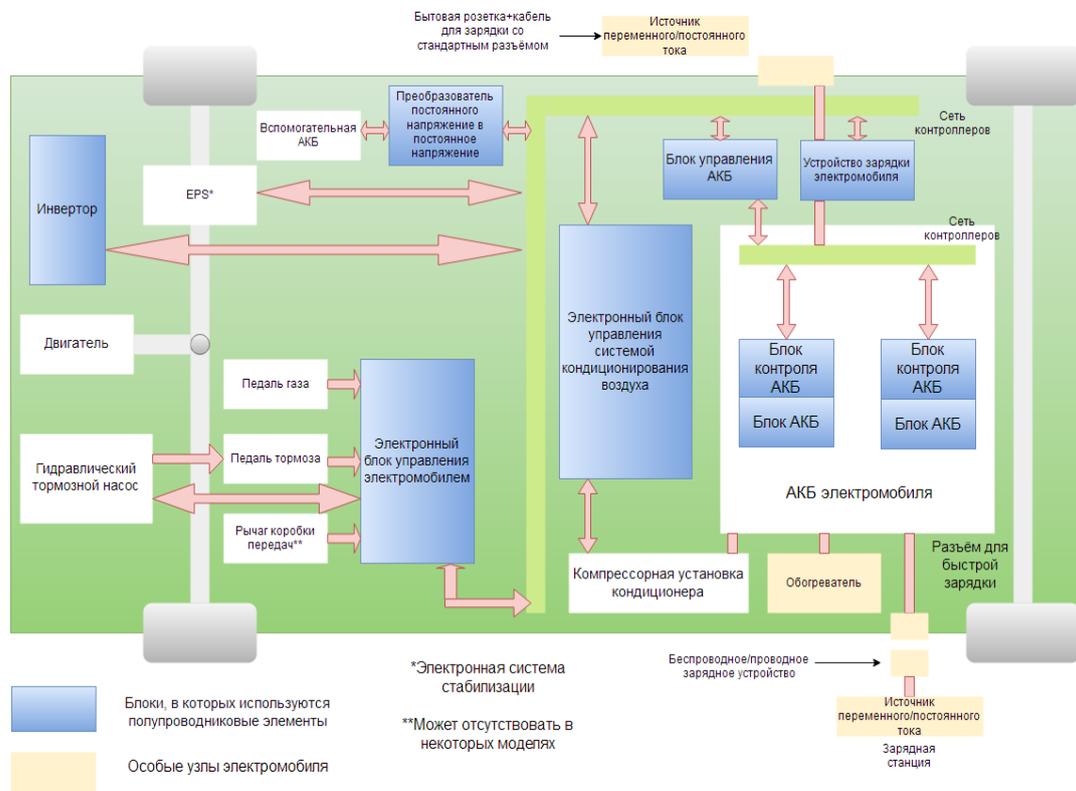


Рис. 1. Блок-схема электромобиля

В таких АКБ в качестве положительного электрода выступает графит, а в качестве отрицательного – никель, кобальт и оксид алюминия.



Рис. 2. Вид АКБ электромобиля в разобранном виде

Вторым по важности узлом электромобиля является тяговый электродвигатель. Наиболее широкое применение в современных автомобилях находит трех-

фазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором [3]. Преимуществами данного двигателя являются высокая надежность и простота эксплуатации, а также относительная дешевизна. Электродвигатель имеет крайне малые габариты по сравнению с ДВС. Он располагается, как правило, на задней оси между колесами (рис. 3), позволяя отказаться от трансмиссии и использовать прямой привод. Применение преобразователя позволяет электродвигателю выдавать практически 100% крутящего момента на любой скорости, благодаря чему электромобиль имеет динамичное ускорение, а также возможность рекуперации энергии при торможении, возвращая при этом до 30% заряда в АКБ.



Рис. 3. Расположение тягового электродвигателя

Третьей, наиболее важной составляющей электромеханической системы электромобиля, является полупроводниковый преобразователь (в случае двигателей переменного тока – инвертор) – связующее звено между батареей и электродвигателем. Блок-схема инвертора, питающего тяговый асинхронный двигатель, представлена на рис. 4.

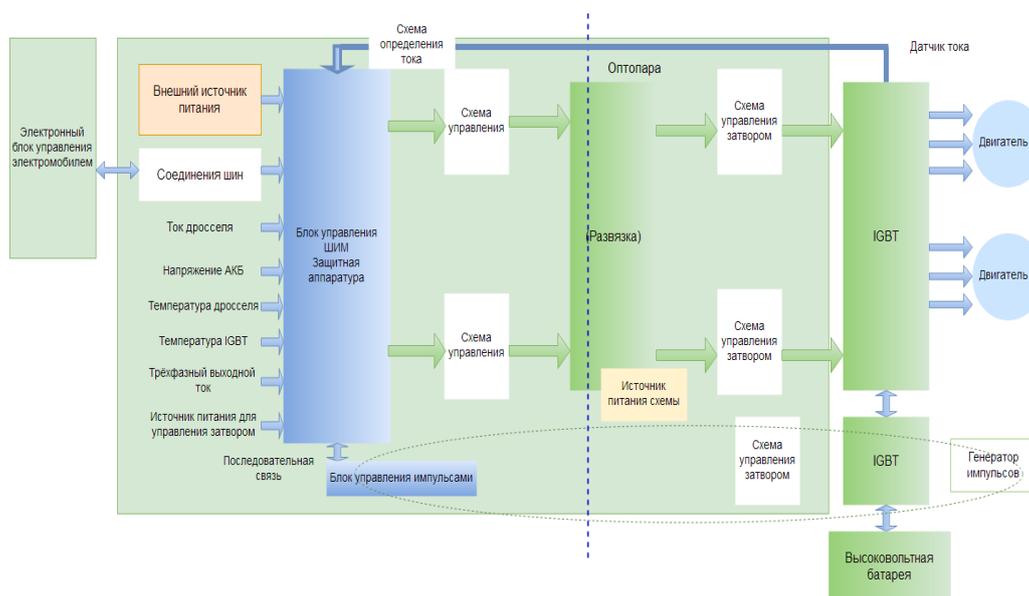


Рис. 4. Блок-схема инвертора электромобиля

Инвертор преобразует напряжение постоянного тока аккумуляторной батареи в трехфазное напряжение переменного тока, предназначенное для питания и управления электродвигателем.

Несмотря на имеющиеся недостатки, электромобили являются ближайшим будущим транспортной индустрии и, по прогнозам аналитиков, примерно через 20 лет полностью вытеснят автомобили с ДВС. Электромобиль гораздо более технологичен, экономичен, экологичен и надежен в эксплуатации.

**Библиографический список**

1. Тиматков В. В. Электротранспорт как часть электрического мира. Факты и прогнозы / под. ред. В. В. Бушуева. М.: Энергия, 2015. 48 с.
2. Гаджилы Б. Э. Исследование аккумуляторных батарей электромобилей // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. № 2(2). 2014. 10 с.
3. Войтенко В. А. Требования к параметрам асинхронного тягового двигателя электромобиля // Электротехнические и компьютерные системы. № 15 (91). 2014. С. 129–131.

**УДК 620.9**

**Ю. С. Пылин, Ю. А. Консон**

магистранты кафедры технической физики, электромеханики и робототехники

**Р. Ш. Еникеев**

кандидат технических наук, старший преподаватель – научный руководитель

**СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ  
ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОТ 1 МВт И ВЫШЕ**

Сегодня сверхпроводимость – это одна из наиболее изучаемых областей физики, явление, которое открывает огромные перспективы в инженерном деле.

Явление сверхпроводимости было открыто еще 100 лет назад, но не находило никакого практического применения на протяжении 50 лет, оставаясь лишь объектом физических исследований. Лишь после многолетнего развития этой отрасли, постоянного пополнения теоретической базы, открытия сверхпроводников 11-го рода и создания в начале 1960-х годов на их основе первых практически применимых токонесущих элементов начали разрабатываться подходы, открывающие пути к использованию сверхпроводящих материалов для создания мощного и в то же время компактного оборудования [1]. Сверхпроводящее электрооборудование позволит резко увеличить электрические и магнитные нагрузки в элементах устройств и благодаря этому резко сократить их размеры.

В сверхпроводящем проводе допустима плотность тока, в 10–50 раз превышающая плотность тока в обычном электрооборудовании. Магнитные поля можно будет довести до значений порядка 10 Тл по сравнению с 0,8–1 Тл в обычных машинах. Если учесть, что размеры электротехнических устройств обратно пропорциональны произведению допустимой плотности тока на индукцию магнитного поля, то ясно, что применение сверхпроводников уменьшит размеры и массу электрооборудования во много раз [2].

Например, машина мощностью 1300 МВт (рис. 1) будет иметь длину около 10 м при массе 280 т, в то время как аналогичная по мощности машина обычного исполнения имеет длину 20 м при массе 700 т. Наконец, обычную машину мощностью более 2000 МВт создать трудно, а при использовании сверхпроводников можно реально достичь единичной мощности 20 000 МВт.

Такого значительного уменьшения в размерах и массе удастся достичь, даже несмотря на необходимость использования криосистемы для охлаждения сверхпроводника до рабочей температуры. Немаловажно, что при этом СП-генераторы являются более надежными при использовании в электросетях, обладая более широкими пределами изменения реактивной мощности и более низким реактивным сопротивлением. По сравнению с традиционным оборудованием

СП-генераторам также свойственны пониженные вибрация и шум. Существенный вклад в долговечность оборудования вносит и низкая температура, при которой используются сверхпроводники. Так, средний срок службы роторов генераторов, используемых в электроэнергетике, ограничен 30–40 годами из-за старения изоляции. Этот неблагоприятный фактор полностью отсутствует у криогенных СП-устройств, которые из-за низких рабочих температур могут обладать почти неограниченным сроком службы. Безусловно, у обыкновенных электрических машин есть ряд преимуществ.



*Рис. 1. Машина обычного исполнения мощностью 1300 МВт*

Так, на выигрыш в материалах приходится примерно три четверти себестоимости. Облегчаются производственные процессы. Любому машиностроительному заводу проще и дешевле сделать несколько крупных электрических машин, чем большое количество мелких: меньше требуется рабочих, не так напряженно загружаются станочный парк и другое оборудование.

Однако все эти преимущества не исключают технических трудностей, возникающих при создании крупных энергетических агрегатов. И, что самое существенное, их мощность можно увеличивать лишь до определенных пределов. Расчеты показывают, что перешагнуть верхний предел, ограниченный мощностью турбогенератора 2500 МВт, ротор которого вращается с частотой 3000 об/мин, не удастся, так как этот предел определяется в первую очередь прочностными характеристиками: напряжения в механической конструкции машины более высокой мощности возрастают настолько, что центробежные силы неизбежно вызовут разрушение ротора.

Немало забот возникает при транспортировке. Для перевозки того же турбогенератора мощностью 1300 МВт пришлось построить сочлененный транспортер грузоподъемностью 500 т, длиной почти 64 м. Каждая из двух его тележек опиралась на 16 вагонных осей.

Многие препятствия сами по себе отпадают, если использовать эффект сверхпроводимости и применить сверхпроводящие материалы. Тогда потери в роторной обмотке можно практически свести к нулю, так как постоянный ток не будет встречать в ней сопротивления. А раз так, повышается КПД машины. Протекающий по сверхпроводящей обмотке возбуждения ток большой силы создает столь сильное магнитное поле, что уже нет необходимости применять стальной

магнитопровод, традиционный для любой электрической машины. Устранение стали снизит массу ротора и его инерционность.

Создание стационарных СП-генераторов с высоким КПД ( $> 99\%$ ) имеет большое значение как для традиционной, так и для альтернативной электроэнергетики. По оценке министерства энергетики США, повышение эффективности преобразования энергии на  $0,5\%$  позволит сэкономить до 200 тыс. долл. США в год на каждый генератор мощностью 100 МВт. Японские специалисты оценивают объем только японского рынка СП-генераторов мощностью более 200 МВт в 440 млн долл. США ежегодно [3].

Созданный ВТСП-генератор (рис. 2) не имеет мировых аналогов. Основные его характеристики представлены в табл. 1.



Рис. 2. Первый в мире синхронный ветрогенератор мощностью 1 МВА с обмотками из ВТСП второго поколения

Таблица 1

Основные характеристики синхронного ВТСП-ветрогенератора

Название параметра	Значение
Номинальная мощность (кВА)	1000
Номинальное напряжение (В) (линейное/фазное)	1195/690
Номинальная частота вращения, (мин-1)	600
Номинальная электрическая частота (Гц)	50
Номинальный момент (Н·м)	16 000
Номинальный ток статора (А)	500
Диаметр расточки (мм)	800
Активная длина (мм)	400
Коэффициент мощности	0,99
Собственный КПД	0,99

Разрабатываемые в мире безмультипликаторные ветрогенераторы большой мощности имеют удельную массовую мощность порядка  $0,07$  кг/кВт и КПД  $95\%$ . Производство ветрогенераторов больших размеров, помимо технологических сложностей, связанных с изготовлением, доставкой, сборкой, монтажом, имеет долгое время окупаемости, что значительно снижает их рентабельность и экономическую привлекательность.

Основной областью применения разработанного генератора являются ветроэнергетические установки (ВЭУ). Применение сверхпроводящих материалов позволяет кратно сократить массу и габаритные размеры ветрогенератора при сохранении его мощности или повысить номинальную мощность при сохранении массы.

Разработанный ВТСП-генератор может работать как в генераторном, так и в двигательном режиме и применяться в качестве приводов: ведущих колесных пар тяговых длинносоставных электровозов, карьерных гибридных самосвалов, гребных винтов атомных подводных лодок. А также в изделиях двойного назначения [4].

В последние годы в ведущих отечественных и зарубежных научных центрах во много раз возрос интерес к разработке нового электротехнического оборудования на основе высокотемпературных сверхпроводниковых материалов. Это связано прежде всего с тем, что уровни производимой и потребляемой мощностей электроэнергии растут, а топливные ресурсы весьма ограничены. Поэтому необходимо повышать эффективность за счет усовершенствования уже существующего и разработок принципиально нового электрооборудования [5].

Таким образом, сверхпроводимость уже сейчас влияет на многие сферы жизни. А в недалеком будущем сверхпроводимость станет одной из основных составляющих технического прогресса и будет играть важную роль в повседневной жизни как всего мира, так и каждого из нас.

### **Библиографический список**

1. Самойленков С. В., Кучаев А. И., Иванов С. С. Сверхпроводниковые генераторы переменного тока для энергетики: история развития. М., 2011.
2. Акопян В., Паринов И., Chang Stephen. Сверхпроводимость: методы получения высокотемпературных сверхпроводников, 2010.
3. Самойленков С. В., Кучаев А. И., Иванов С. С. Основные проблемы энергетики и альтернативной энергетики // Альтернативная энергетика и экология. 2011.
4. Зингер М. А., Клементьева К. С., Захаров И. В. Технические науки // Молодой ученый. № 14. 2016.
5. Горная энергомеханика и автоматика / Ю. А. Консон, Ю. С. Пылин, С. В. Солёный и др. // XVI Междун. науч.-техн. конф. Донецк, 2016.

### **УДК 62-531.4**

***М. Д. Роговская, М. И. Толстой, Н. Л. Гречкин***

студенты кафедры электромеханики и робототехники

***С. В. Солёный***

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### **РЕАЛИЗАЦИЯ СВЕТОВОГО БУДИЛЬНИКА НА БАЗЕ МИКРОКОМПЬЮТЕРА INTEL EDISON**

В современном мире все больше завоевывают промышленно-бытовой сектор роботы и «умные» гаджеты. Они находятся в окружении человека, помогая справляться с множеством маленьких и больших задач, экономя время и увеличивая продуктивность. Самым контактируемым с «умными» гаджетами местом является дом, в нем человек проводит больше всего времени, а также в нем больше всего нуждается в комфорте.

При обеспечении некоторых аспектов комфорта понадобится такой прибор, как световой будильник. Идею этого будильника подает сама природа, он обеспечивает естественное пробуждение при помощи света и звука. Подобно естественному солнечному рассвету световой будильник наполняет комнату

светом, плавно увеличивая яркость лампы и только потом подает звуковой сигнал, что позволяет просыпаться организму постепенно, без стрессовых ситуаций.

Подобные световые будильники не новы, но еще не получили широкого применения, так как имеют достаточно большую стоимость из-за того, что в их конструкции используются современные источники света на базе мощных светодиодов. На рис. 1 представлен алгоритм действия будильника.

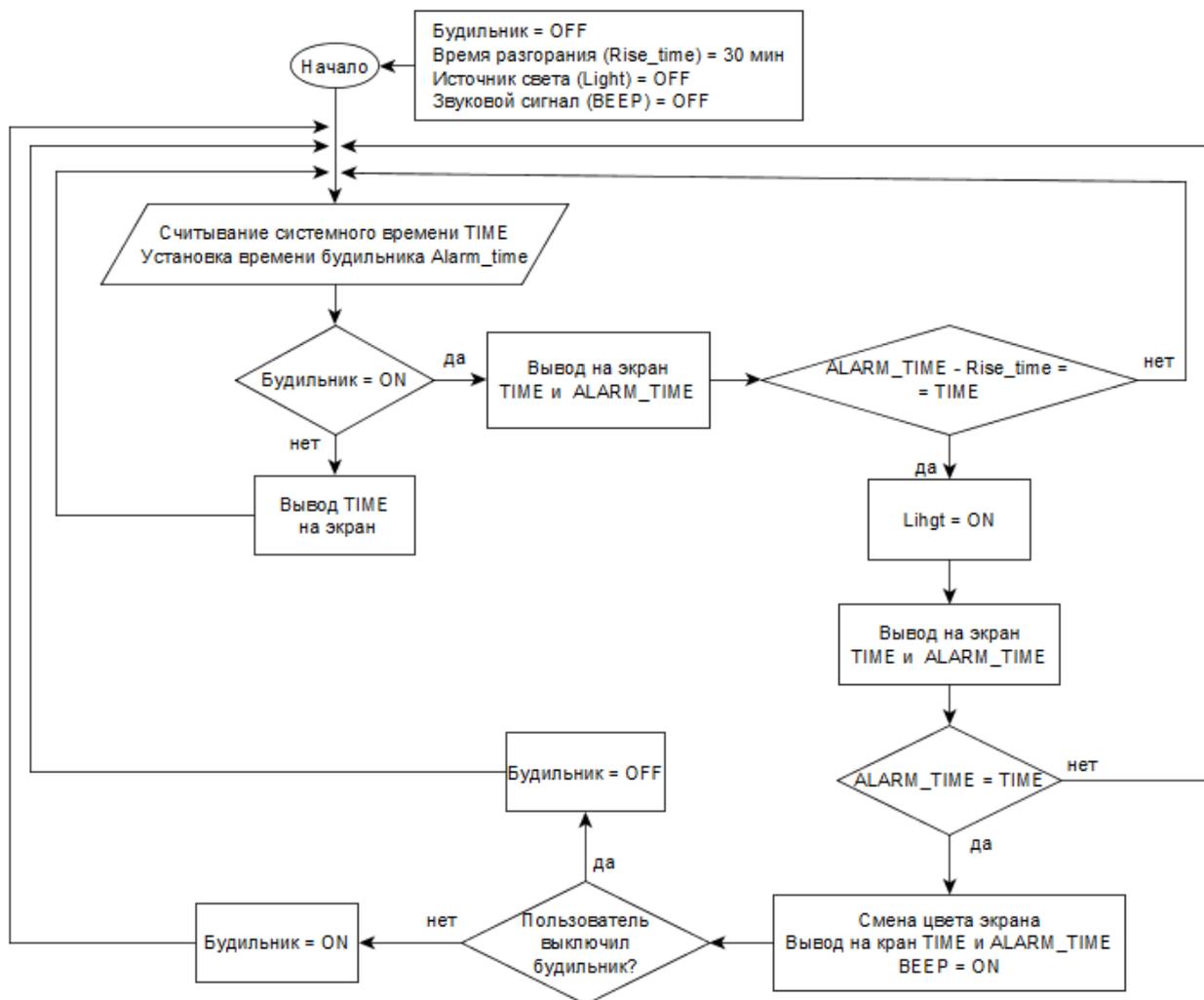


Рис. 1. Алгоритм действия будильника



Рис. 2. Собранный на базе Intel Edison прототип

Алгоритм реализован на базе микрокомпьютера Intel Edison с платой расширения, совместимой с Arduino.

В алгоритме массив светодиодов отвечает за имитацию рассвета (в прототипе используется один светодиод (рис. 2)), пьезодинамик выполняет роль звукового динамика. С помощью тактовых кнопок и потенциометра на дисплее устанавливается время будильника.

Данный проект предназначен для повседневного использования. Световой будильник прост в применении и имеет преимущество перед обычным будильником. Для увеличения дешевизны и простоты проект можно собрать на базе Arduino, что также делает его доступным для большинства пользователей.

### **Библиографический список**

1. Массальский М. И. Введение в технологию Intel® Edison. Книга новичка. Intel. USA: Santa Clara, SA, 2016. 140 с.

2. Официальный сайт Philips: <http://www.philips.ru> [Электронный ресурс]. URL: [http://www.philips.ru/c-p/HF3505\\_70/wake-up-light](http://www.philips.ru/c-p/HF3505_70/wake-up-light).

**УДК 675.02:533.9**

**А. М. Сабиров**

магистрант

**А. К. Хайруллин**

магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

**Э. Ф. Вознесенский**

доктор технических наук, профессор

### **МОДИФИКАЦИЯ ТАНИНСОДЕРЖАЩЕГО РАСТИТЕЛЬНОГО ЭКСТРАКТА В СРЕДЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ**

В статье рассмотрена модификация танина плазменно-термическим воздействием, а также сделан выбор среды раствора для увеличения диффузии молекул сшивающего агента в структуру дермы. Газоразрядная плазма приводит к уменьшению молекулярной массы и размеров агрегатов с сохранением функциональных групп сшивающего агента. Применение полученного продукта в процессе додубливания кожи позволяет улучшить ее физико-механические и потребительские свойства.

Растительные экстракты, содержащие танины, обладают хорошей связывающей способностью, вследствие чего используются как сшивающие агенты коллагеновых волокон в кожевенном производстве. Однако из-за большой молекулярной массы и образования крупных агрегатов растительные дубители связываются на поверхности материалов, не проникая в структуру, по сравнению с токсичным хромовым. Предложено провести активацию сухого дубящего растительного экстракта квебрахо в условиях высокочастотного индукционного (ВЧИ) разряда с целью снижения молекулярной массы и уменьшения размеров агрегатов. Обработка проводилась на оборудовании, описанном в источнике [1]; использовались следующие параметры плазменной обработки: плазмообразующий газ – аргон; давление в рабочей камере 30 Па; расход плазмообразующего газа 0,04 г/с; энергия ионов плазмы 10–15 эВ; плотность ионного тока 20 А/м<sup>2</sup>; сухой материал инжестрировался в разряд с потоком плазмообразующего газа и улавливался ловушкой.

Далее проводились экспериментальные исследования контрольного и модифицированного образцов растительного дубителя.

Интенсивности полос поглощения ИК-спектров контрольного и обработанного образцов существенно не изменяются, следовательно, количество активных групп сшивающего агента в основном сохраняется.

Значение характеристической вязкости растворов образцов уменьшается в 2,7 раза, что свидетельствует об уменьшении молекулярной массы вследствие плазменно-термического воздействия в условиях ВЧИ-разряда.

Установлено, что плазменная модификация приводит к уменьшению оптической плотности получаемых растворов. Происходит снижение размеров коллоидных фракций дубителя с 68,94–98,13 нм и 367,33–502,88 нм у контрольного образца до 48,37–68,94 нм и 260,28–405,29 нм у опытного.

При проведении процесса додубливания полуфабриката овчины с использованием модифицированного дубителя в кислой среде при pH=4 достигается наибольшая выбираемость, что свидетельствует об увеличении диффузии молекул сшивающего агента; при этом термостойкость кожи, выделанной с применением модифицированного агента, увеличивается на 9 °С; предел прочности – на 15%; относительное удлинение – на 50%. Полученные кожи также обладают улучшенными свойствами: мягкий гриф и равномерная окраска поверхности.

### **Библиографический список**

1. Абдуллин И. Ш., Желтухин В. С., Кашапов Н. Ф. Высокочастотная плазменно-струйная обработка материалов при пониженных давлениях. Теория и практика применения. Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2000. 348 с.

### **УДК 621-316**

***М. К. Савченков***

магистрант кафедры электромеханики и робототехники

***О. Я. Соленая***

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

При попытке представить себе ветровой генератор у человека наверняка возникнут ассоциации с высоченными вышками с огромными, медленно вращающимися горизонтальными или вертикальными лопастями. Но голландская фирма Archimedes создала необычный ветряк Liam F1 Urban Wind Turbine, идею конструкции которого создатели подметили в живой природе – у раковин моллюска наутилуса (рис. 1).

Одним из главных преимуществ этого ветрогенератора является его компактность, так как его можно расположить на крыше жилого дома. При этом Liam F1 является практически бесшумным, что делает его крайне привлекательным на рынке продаж. И хотя все чаще можно увидеть солнечные панели на крышах домов, бытовые ветряные турбины все еще являются довольно редким зрелищем.

27 мая 2016 года компания AEnergy официально представила свою турбину Liam F1 Urban Wind Turbine, которая, по их утверждению, имеет выходную мощность в 80% от теоретически возможного максимума [1]. Это довольно смелое утверждение, учитывая, что большинство коммерческих ветровых турбин имеют

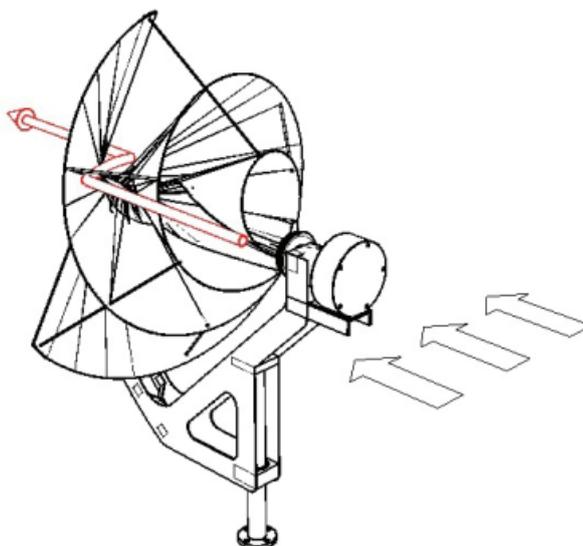
мощность в среднем от 25 до 50% от технологического максимума. В среднестатистический относительно ветреный день устройство способно вырабатывать электроэнергию, достаточную для снабжения одного жилого дома.

До этого разработкой такого вида генератора занимался инженер Алексей Онипко. Так называемый «Ротор Онипко» получил множество наград от ученых сообществ, в частности, премию «Зеленый Оскар», присужденную Международной федерацией ассоциации изобретателей (IFIA) в 2013 году [2].



*Рис. 1. Внешний вид ветрогенератора Liam F1 Urban Wind Turbine*

Турбина этого ветрогенератора имеет вес в 75 кг (165 фунтов), диаметр 1,5 метра (5 футов) и явно не выглядит похожей на типичный ветряк. Материал, из которого сделана обшивка ветрогенератора, представлен прочным стекловолокном, соединенным металлическими шпильками. Ветряк способен приводить в движение ротор, когда направление ветра находится под углом  $60^\circ$  к его оси. На рис. 2 показано распределение ветра при равномерной направленности.



*Рис. 2. Потокораспределение ветра по конструкции*

По форме турбина напоминает наutilus и винтовой насос, изобретенный древнегреческим математиком Архимедом. Такой форм-фактор приводит к наиболее минимальному механическому сопротивлению, что позволяет турбине вращаться свободно и без шума – именно шум от лопастей является основным

препятствием к установке турбин на крышах зданий [1]. Кроме того, турбина сконструирована таким образом, чтобы всегда находиться на ветру для получения максимального результата благодаря подшипникам у основания ветрогенератора. Эта особенность повышает КПД такого типа ветрогенератора в сравнении с лопастными ветрогенераторами горизонтального типа.

Стоит отметить, что данное изобретение практически не имеет вибрации при использовании на мачтах. Это позволяет использовать его, не боясь за экологическое состояние окружающей природы, что является безусловным плюсом данной разработки. Еще одним из главных достоинств является низкая стартовая скорость вращения вала генератора, равная 0,3–0,5 м/с. Именно при этой скорости ветряк начинает вращаться, что является инновационным по сравнению с ветрогенераторами вертикального и горизонтального типа, стартовая скорость которых равна порядка 3 м/с.

Наряду со своим обещанием, что турбина в состоянии достичь 80% предела закона Беца [3] компания Archimedes заявляет, что The Liam F1 генерирует в среднем 1500 киловатт-часов энергии в год при скорости ветра в 5 м/с, что представляет собой около половины потребляемой мощности среднего домохозяйства. Компания заявляет, что она тестировала The Liam F1 более 50 раз с целью подтверждения эффективности и уже продала более 7000 турбин в 14 странах [1].

Из недостатков данного устройства можно выделить цену, достигающую порядка 4000–5000 \$. Для стран с достаточно дешевой электроэнергией, куда можно отнести Россию, данный вид электроэнергетики покажется сомнительным и долго окупаемым. Но если цена будет падать – то, возможно, в скором времени мы увидим ветрогенераторы Liam в индивидуальном использовании в частных секторах и офисных зданиях.

### **Библиографический список**

1. Материал с сайта «Альтернативная энергия». Раздел «Бесшумная и сверхэффективная ветровая турбина Liam F1» [Электронный ресурс]. URL: <http://aenergy.ru/4408> (дата обращения: 20.03.2017).

2. Материал с сайта «Экотехника». Раздел «Энергия» [Электронный ресурс]. URL: <http://ecotechnica.com.ua/energy/veter/347-novoe-pokolenie-bytovykh-vetrogeneratorov-ot-gollandskogo-startapa-the-archimedes.html> (дата обращения: 20.03.2017).

3. Материал с сайта «Ветрогенератор своими руками». Раздел «Идеальный ветрогенератор или обман?» [Электронный ресурс]. URL: <http://vetrogeneratorsvoimirukami.ru/19.html> (дата обращения: 20.03.2017).

### **УДК 338.45**

***Р. В. Седов, Р. О. Бурьянов***

магистранты кафедры программно-целевого управления в приборостроении

***Г. С. Армашова-Тельник***

кандидат экономических наук, доцент

## **УПРАВЛЕНИЕ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ**

Управление спросом подразумевает снижение энергопотребления конечными потребителями при определенных экономических сигналах рынка электроэнергии, когда потребители добровольно изменяют график энергопотребления по результатам рынка «на сутки вперед» без дополнительных указаний от системно-

го оператора, с получением выручки за осуществление такого снижения потребления. Управление спросом позволяет не только уменьшить расходы потребителей на электроэнергию, но и способствует ее удешевлению на оптовом рынке. Также способствует повышению надежности энергосистемы, снижению потребности в дополнительных генерирующих мощностях и сокращению уровня выбросов двуокси углерода. В настоящее время интерес к управлению спросом значительно вырос во всем мире, особенно в странах, переживших энергетический кризис и стремящихся удовлетворить спрос на электроэнергию не за счет строительства дорогостоящих генерирующих мощности аппаратов и сетевой инфраструктуры, а используя эффективные рыночные механизмы [1].

#### **Агрегирование нагрузки конечных потребителей**

Некоторые поставщики услуг по управлению спросом являются агрегаторами управления спросом (Demand Response Aggregators): они заключают контракты с потребителями напрямую, а после объединяют действия нескольких потребителей по управлению спросом в рамках одного пула с целью его продажи на рынке электроэнергии или другим участникам энергосистемы. В некоторых странах агрегаторы управления спросом являются независимыми участниками рынка (они не являются ни поставщиками услуг, ни партнерами сторон, ответственных за поддержание баланса энергосистемы, или поставщиков услуг). Так, например, для участия в экономической программе управления спросом на северо-восточном американском рынке электроэнергии PJM Interconnection (далее – PJM) все местоположения участников в рамках одного пула агрегированной нагрузки должны иметь одного и того же оператора распределительных сетей и энергоснабжающее предприятие. При этом общая объединенная нагрузка должна быть не менее 100 кВт, и лишь одна точка присоединения к сети может иметь нагрузку, равную или превышающую 100 кВт.

#### **Управление спросом с целью предоставления системных услуг**

Управление спросом с целью предоставления системных услуг включает специальные услуги, которые необходимы для обеспечения надежного функционирования энергосистемы и которые традиционно предоставлялись генерирующими компаниями. Так, на рынке PJM ресурсы экономического управления спросом могут также предоставлять системные услуги оптовому рынку с целью поддержания надежности энергосистемы при наличии соответствующей инфраструктуры и квалификации, подтвержденной PJM. Они могут принимать участие в трех рынках системных услуг: вращающегося резерва, оперативного резерва с составлением графика «на сутки вперед» и регулирования частоты. Участие в этих рынках является добровольным, однако в том случае, если участие ресурса подтверждается на рынке, появляются обязательства, невыполнение которых штрафуются [2].

#### **Неявное и явное управление спросом**

Неявное управление спросом используется в тех случаях, когда потребители соглашаются на применение тарифов на электроэнергию, дифференцированных по времени потребления и отражающих стоимость электроэнергии и расходы, связанные с ее потреблением в разные периоды времени. Обладая такой информацией, потребители могут принимать решения о смещении энергопотребления с периодов высоких цен или позволить системе делать это автоматически.

Тарифы, дифференцированные по времени потребления, предлагаются поставщиками электроэнергии и могут как подразделяться на ночные и дневные, так и быть чрезвычайно динамичными и привязанными к почасовым ценам на оптовом рынке электроэнергии [3].

## Управление спросом в Российской Федерации

В настоящее время в России предпринимаются первые шаги по стимулированию потребителей к участию в повышении энергоэффективности и выравниванию графиков нагрузки, например, за счет внедрения дифференцированных по времени суток тарифов. В целях создания условий для повышения энергоэффективности работы Единой энергосистемы России за счет привлечения потребителей оптового рынка к активному участию в регулировании спроса на электрическую энергию и мощность, получившему название «ценозависимого потребления», разработан проект постановления Правительства Российской Федерации «О внесении изменений в Правила оптового рынка электрической энергии и мощности, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 27.12.11 № 1172».

Внедрение технологий управления спросом в российской электроэнергетике предусматривает, что потребители оптового рынка могут подавать заявки для участия в конкурентном отборе мощности (КОМ) с указанием планируемого объема снижения потребления и по факту отбора заявки в КОМ примут на себя обязательства по снижению потребления со специальными требованиями по обеспечению готовности энергопринимающего оборудования к снижению потребления.

В результате выполнения принятых на себя обязательств объем покупки мощности, формируемый по итогам месяца в отношении такого участника оптового рынка, снижается на учтенный при проведении КОМ объем ценозависимого снижения потребления. Покупатели с ценозависимым потреблением обязаны поддерживать энергопринимающие устройства в состоянии готовности к ценозависимому снижению объема покупки электрической энергии.

Способность покупателей исполнять свои обязательства по снижению потребления будет контролироваться путем тестирования до начала исполнения обязательств, а также путем регистрации случаев невыполнения покупателем с ценозависимым потреблением условий поддержания энергопринимающих устройств в состоянии готовности к ценозависимому снижению объема покупки электрической энергии в процессе исполнения обязательств. При выполнении покупателем с ценозависимым потреблением всех требований фактический объем ценозависимого снижения потребления мощности признается равным объему ценозависимого снижения потребления мощности, определенному по итогам КОМ. При невыполнении одного или нескольких условий работы в режиме ценозависимого потребления фактический объем ценозависимого снижения потребления мощности равен произведению объема ценозависимого снижения потребления мощности, определенного по итогам КОМ, и понижающих коэффициентов, учитывающих степень исполнения покупателем обязательств [4].

### Механизм запуска программ по управлению спросом в российских условиях

Рассмотрим факторы, обуславливающие общественную ценность управления спросом на электроэнергию как организационно-экономической инновации с учетом спроса и предложения.

Последствия для спроса (потребителей):

- рост цен на электроэнергию;
- значительный потенциал энергосбережения, оставшийся невостребованным;
- низкий уровень электрификации в регионах;
- тенденция к разуплотнению графиков электрических нагрузок;
- повышенный спрос на реактивную мощность в промышленности;
- неудовлетворительная организация приборного учета;
- необходимость поддерживать льготные цены для населения.

Последствия для предложения (производителей и поставщиков):

- сочетание плохого инвестиционного климата, высоких инвестиционных рисков и намечающегося дефицита энерго мощностей;
- нехватка пиковых генераторов (особенно в европейской части России);
- критический износ основных фондов энергопредприятий;
- необходимость больших затрат для надежности систем генерации электроэнергии и электроснабжения;
- высокие потери при передаче электроэнергии (особенно в региональных сетях) [5].

Следует выделить выдающееся значение управления спросом для российской электроэнергетики: благодаря ему ограниченные инвестиции энергокомпаний могут быть направлены не на новое строительство, а на техническое перевооружение действующих объектов и повышение надежности функционирования отрасли, появится возможность сократить затраты госбюджета на компенсацию инвестиционных рисков и прямые капиталовложения, а также на поддержание социально приемлемых тарифов на розничном рынке в условиях сдерживания роста цен на оптовом рынке.

В целом для российских регионов актуальны обе формы управления спросом: инвестиции в энергоэффективность и управление нагрузкой, но отдельные энергосистемы могут иметь отличающиеся приоритеты. На этапе внедрения ПУС в качестве объектов инвестиций в энергосбережение целесообразно рассматривать универсальные электропотребляющие процессы в промышленности: силовые и освещение. В дальнейшем круг процессов и потребителей может быть расширен вплоть до коммунально-бытового сектора.

На этапе запуска ПУС потребуется административно-правовое воздействие на электросетевые компании; предполагается, что они будут обязаны наладить управление спросом, учитывая его уникальное общественное значение. Например, целесообразно установить минимальную долю от общего объема инвестиций, направляемую на реализацию ПУС. При отсутствии работающих ПУС, согласно предлагаемой концепции, компания не будет иметь права вводить новые мощности, исключается пересмотр и корректировка сетевых тарифов. В случае неадекватного реагирования на установленные требования должны быть предусмотрены экономические санкции, в частности посредством изъятия доли полученной валовой выручки. Однако все это теряет всякий смысл, если не будет разработана универсальная методика управления спросом для электросетевых компаний.

Меры принуждения должны сочетаться с методами экономического стимулирования и поощрения. Причем значение последних возрастает в процессе освоения энергокомпаниями нового для них вида деятельности по управлению спросом. В качестве внешних факторов, обеспечивающих энергокомпаниям мотивацию реализовывать ПУС, следует использовать все возможности, предоставляемые ценообразованием по методу экономически обоснованной доходности на инвестированный капитал. При наличии механизмов стимулирования итоговая результативность управления спросом на уровне компании-оператора проявляется в повышении ее рентабельности, позволяющей поддерживать приемлемые цены для новых потребителей.

Так же следует ввести ограничения и для потребителей. Среди всех позиций выделим ограничения по подключению дополнительных электроприемников (нагрузок) и добавим штрафы за нерациональное потребление в часы максимума. Например, превышение установленного лимита потребления электроэнергии энергосистемы (когда суточный пик нагрузки предприятия совпадает по времени с общесистемным пиком).

Между тем экономическая мотивация подключения к ПУС таких потребителей абсолютно понятна:

- внедрение энергоэффективной техники без дополнительных капиталовложений либо с минимальным долевым участием в инвестициях;
- рационализация режимов электропотребления в обмен на снижение суммарной платы за мощность или с условием отдельной платы уменьшения нагрузки в пиковые часы.

Эффект от управления спросом получают и генерирующие компании в виде возможности отложить на время рискованные инвестиции в новые мощности, экономии эксплуатационных затрат, расширения финансовых возможностей для устранения износа и повышения технического уровня электростанций, работающих в данном регионе (энергосистеме). Следовательно, они также должны участвовать в финансировании ПУС, разрабатываемых и внедряемых электросетевыми предприятиями, и получать определенную долю экономического эффекта от этого вклада (в виде прибыли на капитал) [6].

В связи с вышесказанным целесообразным представляется вариант создания региональных фондов энергоэффективности (энергосбережения), в которых бы аккумулировались финансовые ресурсы оптовых и территориальных генерирующих компаний, а также средства, выделяемые Федеральной сетевой компанией. Для этого следует ввести нормативы отчислений в виде доли чистого дохода соответствующих компаний, складывающегося из амортизации и прибыли, операторы ПУС получают право на использование средств региональных фондов в установленном порядке, таким образом, расширяя инвестиционные возможности и пополняя бюджеты ПУС.

Управление региональным фондом энергоэффективности можно было бы возложить на независимую от энергобизнеса государственную организацию, выполняющую административно-распределительные функции:

- сбор средств и контроль за их использованием оператором (электросетевой компанией);
- распределение экономического эффекта от ПУС между компаниями-инвесторами; возврат финансовых ресурсов, не использованных в ПУС, их владельцам.

Структуры, которые будут управлять фондом энергоэффективности, могут также взять на себя информационное обеспечение генерирующих компаний в отношении ПУС, разрабатываемых и реализуемых электроснабжающими организациями. По нашему мнению, такой подход даст возможность снизить финансовую нагрузку по управлению спросом на электросетевые компании и повысить ожидаемую эффективность ПУС уже на стадии их формирования.

Масштабы использования инструментов управления спросом в практической деятельности отечественных предприятий свидетельствуют о несовершенстве существующей законодательной, методической и инструментальной базы управления спросом на электропотребление. С другой стороны, анализ почасовых графиков электропотребления региональных электроэнергетических систем доказывает наличие значительных резервов выравнивания спроса на электропотребление во всех регионах России.

Потребность российской экономики в повышении энергетической эффективности и снижении энерготарифной нагрузки на все сферы народного хозяйства вступает в противоречие с существующим уровнем использования инструментов управления спросом на рынке электроэнергии. Внедрение современных механизмов управления спросом на электропотребление может сильно стимулировать развитие отечественной экономики. К сожалению, данный процесс требует

совершенствования законодательной базы и разработки современных методических подходов к управлению спросом. Также не стоит избегать мнения иностранных специалистов на вопрос управления спросом, поскольку у них имеется большой опыт. Адаптация зарубежных методов в отечественной практике и разработка непривычных для России механизмов управления спросом могут привести к существенному снижению затрат на электропотребление и значимому экономическому эффекту для всех субъектов энергетической системы России.

### **Библиографический список**

1. Гительман Л. Д., Ратников Б. Е. Энергетический бизнес. М.: Дело, 2006. 600 с.
2. Гительман Л. Д., Ратников Б. Е., Кожевников М. В. Управление спросом на электроэнергию. Зарубежный опыт и адаптация к российским условиям // Эффективное антикризисное управление. 2012. № 6. С. 61–65.
3. Куклин А. А., Белик И. С. Влияние эколого-экономической безопасности на инвестиционную привлекательность региона // Экономика региона. 2009. № 4. С. 155–158.
4. Мызин А. Л., Мезенцев П. Е., Пыхов П. А., Денисова О. А. Сравнительная оценка энергоинвестиционной привлекательности регионов: метод и апробация // Экономика региона. 2007. № 4. С. 207–220.
5. Энергетическая стратегия России' 2030 [Электронный ресурс]. URL: <http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energystrategy/>.
6. Дубинский Е. В. Управление спросом на электрическую энергию // Энергосбережение. 1999. № 2.

### **УДК 52-17**

***Е. М. Семикозова***

магистрант кафедры управления в технических системах

***В. В. Дубаренко***

доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## **ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАДИОТЕЛЕСКОПА ОТ ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРИНИМАЕМЫЙ СИГНАЛ**

Зеркальная система (ЗС) радиотелескопа (РТ) служит для приема радиоизлучения от космических источников радиоизлучения (КИР). Наиболее распространены оптические схемы, состоящие из 2 или 3 отражающих поверхностей. Рассмотрим 3-зеркальную систему приема радиоизлучения. Ее схематичное изображение приведено на рис. 1. Если выделить из фронта потока радиоизлучения один луч, то его путь от фронта до приемника радиоизлучения будет равен расстоянию, последовательно пройденному им из точки 1 в точку 6.

В случае отклонений и смещений отражающих поверхностей реальной системы приема от расчетной ход лучей в оптической схеме изменится, конечная точка падения луча на плоскость приемника окажется смещенной. Очевидно, что в результате изменятся и длины оптических путей, пройденных лучами в зеркальной системе. Разница в длинах оптических путей лучей приведет к тому, что они будут попадать на плоскость приемного устройства в разных фазах, что приведет к изменению интенсивности сигнала. В итоге изображение, полученное на приемнике, будет искаженным.

Для получения оценки влияния тех или иных смещений зеркал РТ на степень искажения полученного изображения необходимо найти координаты точек в плоскости приемника, в которые попадает каждый луч, а также вычислить длины их оптических путей. Ниже предложен алгоритм определения этих параметров для идеальной ЗС, на основе которого можно произвести необходимые вычисления и провести моделирование прохождения лучей через ЗС при различных отклонениях ее элементов.



Рис. 1. Ход лучей в 3-зеркальной системе приема радиотелескопа

Параболоид главного зеркала описывается формулой  $\frac{x^2}{p} + \frac{y^2}{q} - 2z = 0$ . При  $p = q$ , такой парабоид будет являться парабоидом вращения вокруг оси  $OZ$ . Тогда главное зеркало можно описать уравнением

$$r^T A r - B r = 0, \text{ где } r = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}; A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; B = [0 \ 0 \ 2p].$$

Прямую, проходящую через точки 1 и 2, опишем формулой [1]

$$r = r_1 + ut,$$

где  $r_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$  – координаты точки 1;  $u$  – направляющий вектор;  $t$  – параметр, пропорциональный длине отрезка на этой прямой.

Разрешив систему уравнений относительно неизвестных  $r$  и  $t$

$$\begin{cases} r = r_1 + ut \\ r^T A r - B r = 0 \end{cases}$$

получим координаты точки 2.

Угол падения луча равен углу его отражения, также они находятся в одной полуплоскости с нормалью [2]. Поэтому, повернув точку 1 вокруг нормали к параболоиду в точке 2 на  $180^\circ$ , получим отрезок 2–1', соответствующий дальнейшему ходу отраженного луча, то есть отрезку 2–4 по направлению.

Уравнение нормали к параболоиду в точке 2 будет иметь вид

$$\frac{x-x_2}{F'_x(2)} = \frac{y-y_2}{F'_y(2)} = \frac{z-z_2}{F'_z(2)},$$

где  $F'_x(2)$  – производная по  $x$  от функции, описывающей параболоид, найденная в точке 2;  $F'_y(2)$ ,  $F'_z(2)$  – аналогичные производные по  $y$  и  $z$ . То есть здесь  $F'_x(2) = 2x_2$ ;  $F'_y(2) = 2y_2$ ;  $F'_z(2) = -2p$ . Эти три производные являются координатами ее направляющего вектора:  $F'_x(2) = l$ ;  $F'_y(2) = m$ ;  $F'_z(2) = n$ .

Переход из точки 1 в точку 1' осуществляется путем разворота отрезка 1–2 вокруг направляющего вектора нормали  $N = \begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix}$  на угол  $\theta = 180^\circ$ ,  $N$  и  $\theta$ , в свою очередь, являются аргументами матрицы поворота  $H(N, \theta)$ :

$$U = \begin{bmatrix} 0 & -n & m \\ n & 0 & l \\ -m & l & 0 \end{bmatrix}; H = N \cdot N^T + \left( \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - N \cdot N^T \right) \cdot \cos(\theta) + U \cdot \sin(\theta).$$

Матрица  $H$  представляет собой матрицу поворота вокруг произвольного единичного вектора  $N$  на угол  $\theta$ . Элементы матрицы  $H$  имеют вид [1]:

$$\begin{aligned} H(1,1) &= l^2 + (1-l^2) \cdot \cos(\theta), \\ H(1,2) &= l \cdot m \cdot (1-\cos(\theta)) - n \cdot \sin(\theta), \\ H(1,3) &= l \cdot n \cdot (1-\cos(\theta)) + m \cdot \sin(\theta), \\ H(2,1) &= l \cdot m \cdot (1-\cos(\theta)) + n \cdot \sin(\theta), \\ H(2,2) &= m^2 + (1-m^2) \cdot \cos(\theta), \\ H(2,3) &= m \cdot n \cdot (1-\cos(\theta)) - l \cdot \sin(\theta), \\ H(3,1) &= l \cdot n \cdot (1-\cos(\theta)) - m \cdot \sin(\theta), \\ H(3,2) &= m \cdot n \cdot (1-\cos(\theta)) + l \cdot \sin(\theta), \\ H(3,3) &= n^2 + (1-n^2) \cdot \cos(\theta). \end{aligned}$$

Поскольку вектор нормали имеет начало в точке 2, до выполнения поворота необходимо выполнить перенос в начало координат, а после его выполнения – обратный перенос. Тогда координаты точки 1' найдем по формуле:

$$r_1 = (r_1 - r_2) \cdot H + r_2.$$

Координаты точки 4 находятся как точка пересечения отрезка 2–1', полученного отражением 1–2 относительно нормали, и эллипсоида контррефлектора.

Уравнение эллипсоида имеет вид  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$ . Примем  $a = b \neq c$ , в таком случае мы получим эллипсоид вращения вокруг оси OZ.

Тогда опишем контррефлектор в виде

$$(r - r_e)^T C (r - r_e) - 1 = 0, \text{ где } C = \begin{bmatrix} \frac{1}{a^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{a^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{c^2} \end{bmatrix}, r_e - \text{смещение центра эллипсоида}$$

да относительно начала координат, за которое здесь принята точка 7.

Разрешив систему

$$\begin{cases} r = r_2 + (r_1 - r_2)t \\ (r - r_e)^T C (r - r_e) - 1 = 0 \end{cases},$$

где  $r_2$  – координаты точки 2,  $r_1$  – координаты точки 1', получим координаты точки 4.

Для поиска координат точки 5 используем аналогичную процедуру, как и для нахождения точки 4 – поворот луча относительно нормали к поверхности эллипсоида, затем поиск точки пересечения его с плоскостью, описывающей положение перископического зеркала в пространстве.

Координаты направляющего вектора нормали к эллипсоиду в точке 4 найдем как производные от функции, описывающей наш эллипсоид, найденные в точке 4:

$$\begin{aligned} F'_x(4) &= l; \\ F'_y(4) &= m; \\ F'_z(4) &= n. \end{aligned}$$

Используя новое значение вектора  $N$ , координаты точки 2', полученной поворотом точки 2 на  $180^\circ$  относительно нормали к эллипсоиду в точке 4, найдем по формуле:

$$r_{2'} = (r_2 - r_4) \cdot H + r_4.$$

Запишем уравнение плоскости в векторном виде  $Dr + F = 0$ . Составим систему

$$\begin{cases} r = r_4 + (r_{2'} - r_4)t \\ Dr + F = 0 \end{cases},$$

где  $D = [d \ e \ f]$  – нормальный вектор плоскости,  $F$  – координаты вторичного фокуса эллипсоида (точка пересечения отраженного луча 4–2' с плоскостью перископического зеркала),  $r_4$  – координаты точки 4,  $r_{2'}$  – координаты точки 2'.

Разрешив ее, получим координаты точки 5.

Поиск координат точки 6 аналогичен поиску точек 4 и 5.

Найдем координаты направляющего вектора нормали к плоскости в точке 5:  $F'_x(5) = l$ ;  $F'_y(5) = m$ ;  $F'_z(5) = n$ . Это производные от уравнения плоскости, описывающего положение перископического зеркала, найденные в точке 5 по  $x$ ,  $y$  и  $z$  соответственно.

Используя новое значение вектора  $N$ , координаты точки 4' найдем по формуле:

$$r_{4'} = (r_4 - r_5) \cdot H + r_5.$$

Система уравнений для поиска координат точки 6 будет иметь вид

$$\begin{cases} r = r_5 + (r_{4'} - r_5)t \\ Kr + J = 0 \end{cases},$$

где  $K = [0 \quad s \quad 0]$ , так как плоскость приемника параллельна  $Oxz$ ,  $r_5$  – координаты точки 5,  $r_{4'}$  – координаты точки 4', полученной поворотом точки 4 на  $180^\circ$  относительно нормали к плоскости перископического зеркала в точке 5.

С известными координатами точек 1, 2, 4, 5, 6 не составляет труда определить длину оптического пути луча:

$$L = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} + \sqrt{(x_2 - x_4)^2 + (y_2 - y_4)^2 + (z_2 - z_4)^2} + \\ + \sqrt{(x_4 - x_5)^2 + (y_4 - y_5)^2 + (z_4 - z_5)^2} + \sqrt{(x_5 - x_6)^2 + (y_5 - y_6)^2 + (z_5 - z_6)^2}.$$

Таким образом, мы определили конечную точку в плоскости приемника, в которую попадает луч после прохождения ЗС. Проведя вычисления для пучка лучей, мы получим набор точек на плоскости приемного устройства, который будет представлять собой пятно. По форме и размеру полученного пятна мы можем оценить степень влияния вносимых в оптическую систему искажений. Для получения такой оценки не обязательно исследовать весь поток целиком, достаточно задать крайние лучи, которые позволят нам очертить границы пятна.

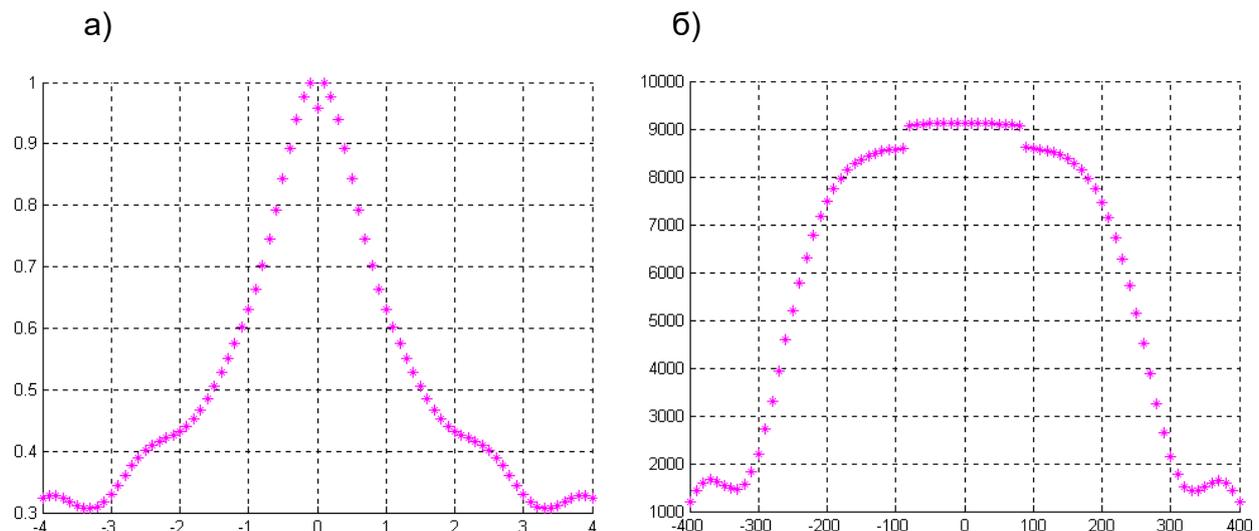


Рис. 2. Результаты моделирования: а) ДНА без КР; б) ДНА с КР и перископическим зеркалом

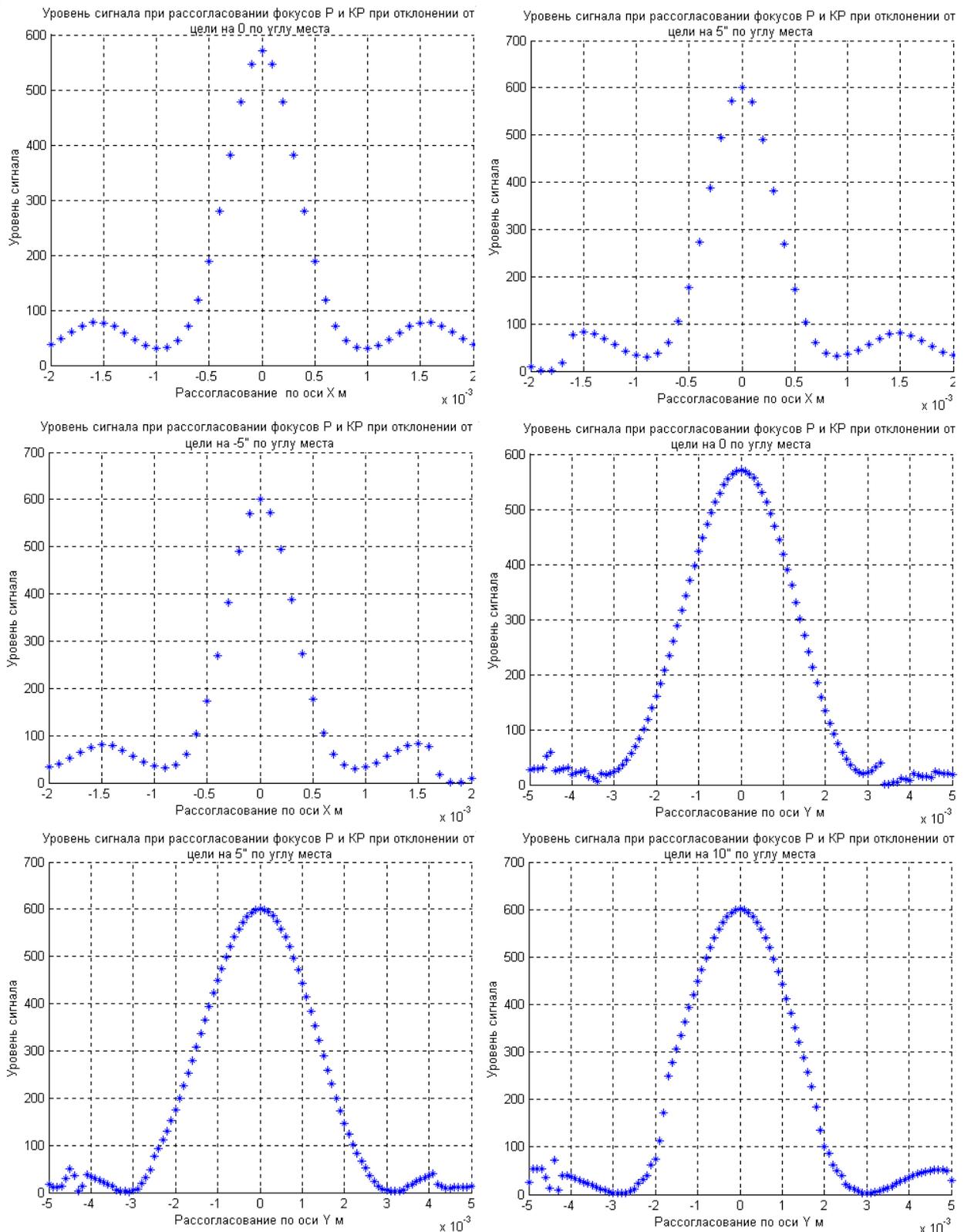


Рис. 3. Зависимость мощности сигнала от рассогласований ГЗ и КР

Выходной сигнал приемника характеризует его диаграмма направленности (ДНА), которая показывает зависимость мощности принимаемого сигнала от отклонения на КИР. Изменение длин оптических путей лучей, в результате отклонений приходящих на приемное устройство в различных фазах, влияет на интенсивность сигнала и приводит к изменению его амплитуды [3]. Длины оптических путей пересчитываются в фазы, сложение фаз определяет величину изменения

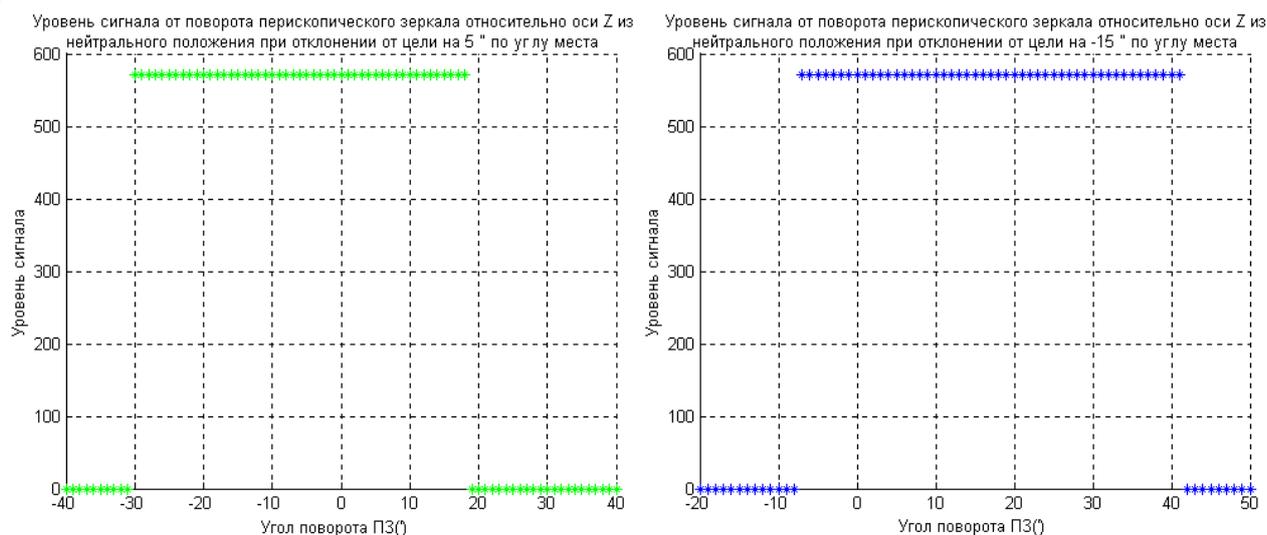
амплитуды. Таким образом будет исследована зависимость амплитуды полученного сигнала от деформаций ЗС.

На основе вышеизложенного проведено моделирование в системе MATLAB с целью исследования конкретного влияния отклонений от заданного положения на КИР элементов ЗС на полученный сигнал.

Результаты моделирования при отсутствии деформаций конструкции приведены на рис. 2. Было проведено моделирование без контррефлектора (КР), а также с контррефлектором и перископическим зеркалом. Чем уже ДНА, тем выше разрешающая способность антенны. При применении КР и перископического зеркала ДНА становится шире, как видно из рис. 2, а, что снижает разрешающую способность РТ.

Зависимости уровня сигнала, то есть его мощности (в относительных единицах) от рассогласований рефлектора (Р) и контррефлектора изображены на рис. 3. Исследуются рассогласования по осям  $x$  и  $y$  для различных углов отклонения от цели. Наблюдаются незначительное изменение мощности сигнала и искажения боковых лепестков; с увеличением угла отклонения также искажается форма главного лепестка ДНА.

Графики, где изображена мощность сигнала при повороте ПЗ относительно оси  $z$  для различных углов отклонений от цели, представлены на рис. 4. Из них видно, при каком угле поворота ПЗ при данном отклонении от цели произойдет полная потеря сигнала.



*Рис. 4. Зависимость мощности сигнала от угла поворота перископического зеркала (ПЗ)*

Вышеизложенный метод позволяет проводить исследования для зеркальных систем с различными параметрами их элементов, то есть с различными ГЗ, КР и ПЗ. Таким образом, возможно проведение нескольких отдельных исследований различных ЗС с последующим обобщением полученных результатов.

### Библиографический список

1. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве: пер. с англ. М.: Мир, 1982. 304 с.
2. Перунова М. Н. Геометрическая оптика в примерах и задачах: учеб. пособие. Оренбург: ОГУ, 2013. 144 с.
3. Дубаренко В. В., Кучмин А. Ю., Артёменко Ю. Н. Радиотелескопы. СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2014. 546 с.

УДК 681.51 + 681.52

**М. М. Соколовский**

студент кафедры управления в технических системах

**Д. В. Шишляков**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТУРБОАГРЕГАТА С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В предыдущей статье данная тема и общие положения по ней уже рассматривались. «Часто в современной жизни мы сталкиваемся с надобностью получения энергии или вращательного движения для многочисленных машин. Если говорить о небольших размерах, то такие устройства используются в автомобилях для увеличения мощности. Когда же речь идет о получении энергии, то это очень крупные устройства (рис. 1), которые могут занимать целые здания. В зависимости от размеров аппарата и его характеристик можно говорить об энергонезависимости целого района или даже города. С этой задачей великолепно справляется турбоагрегат – совокупность турбины (паровой, газовой или гидротурбины) и приводимого ею в действие электрогенератора. Является одним из объектов основного оборудования электростанции. В более широком понимании турбоагрегат подразумевает сочетание двух и более агрегатов, имеющих между собой кинематическую связь. При этом основным агрегатом этой композиции является турбина, поскольку именно она приводит весь турбоагрегат во вращение. Обороты остальных агрегатов могут быть существенно меньше, чем обороты приводной турбины, если применить редуктор или мультипликатор.



Рис. 1. Турбоагрегат мощностью 320 МВт

Турбоагрегаты можно разделить на несколько классов в зависимости от назначения агрегата, который они собственно и приводят во вращение (которому передается мощность турбины). Так, например, при передаче мощности от турбины к насосу мы получаем турбонасос (основной агрегат современного жидкостного ракетного двигателя). При передаче мощности от турбины к генератору мы получаем турбогенератор. При передаче мощности от турбины к компрессору (как

правило, центробежному или осевому) мы получаем турбокомпрессор – это основной агрегат современного автомобильного двигателя, как дизельного, так и бензинового [1]. Внутреннее строение турбины отражено на рис. 2.



*Рис. 2. Внутреннее строение турбины*

Для исследования такого агрегата зачастую прибегают к математическим моделям. Их разрабатывают исходя из процессов, протекающих в турбине. На идее моделирования базируется любой метод научного исследования, при этом в теоретических методах используются различного рода знаковые, абстрактные модели, в экспериментальных – предметные модели.

При исследовании сложное реальное явление заменяется некоторой упрощенной копией или схемой, иногда такая копия служит лишь только для того, чтобы запомнить и при следующей встрече узнать нужное явление. Иногда построенная схема отражает какие-то существенные черты, позволяет разобраться в механизме явления, дает возможность предсказать его изменение. Одному и тому же явлению могут соответствовать разные модели. Задача исследователя – предсказывать характер явления и ход процесса. Иногда бывает, что объект доступен, но эксперименты с ним дорогостоящи или могут привести к серьезным экологическим последствиям.

Знания о таких процессах получают с помощью моделей. Важный момент – сам характер науки предполагает изучение не одного конкретного явления, а широкого класса родственных явлений. Предполагает необходимость формулировки каких-то общих категорических утверждений, которые называются законами. Естественно, что при такой формулировке многими подробностями пренебрегают. Чтобы более четко выявить закономерность, сознательно идут на огрубление, идеализацию, схематичность, то есть изучают не само явление, а более или менее точную ее копию, или модель. Все законы – это законы о моделях, а поэтому нет ничего удивительного в том, что с течением времени некоторые научные теории признаются непригодными. Это не приводит к краху науки, поскольку одна модель заменилась другой, более современной [2].

Теперь мы можем переходить к расчету передаточных звеньев и разработке математической модели турбоагрегата. Передаточные функции таких сложных систем высчитываются огромным количеством уравнений с использованием переменных, полученных из технической документации турбоагрегата и технического задания.

Структурная схема математической модели, представленная в данной работе, была взята из монографии «Синтез параметров непрерывных и импульсных многосвязных автоматических систем» [4]. Структурная схема представлена на рис. 3.

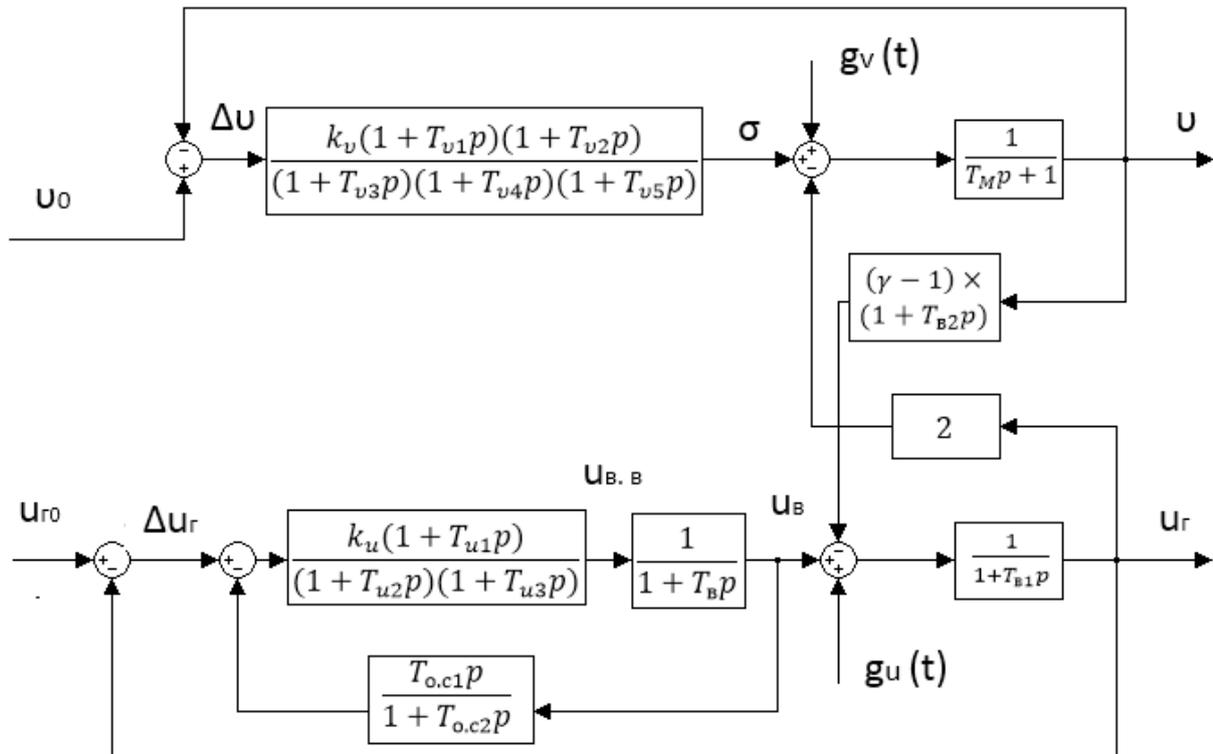


Рис. 3. Структурная схема математической модели

«Из данной схемы видно, что данная САУ представляет собой двусвязную систему автоматического регулирования частоты и напряжения синхронного генератора, приводимого регулируемым двигателем соизмеримой мощности без корректора частоты». «Структура вычислительной модели получена путем эквивалентных преобразований структурной схемы математической модели (см. рис. 3) с учетом особенностей применяемого для моделирования прикладного программного обеспечения» [4].

Значения передаточных звеньев и конфигурацию модели для данной многосвязной системы мы берем из монографии «Синтез параметров непрерывных и импульсных многосвязных автоматических систем» [4]. Так как передаточные звенья и модель нам известны, без труда можно построить данную схему и перейти непосредственно к исследованию. Промоделировать систему можно разными способами, но самый простой и понятный – это среда программного комплекса MATLAB/Simulinc [3]. Одна из таких систем представлена на рис. 4.

С помощью пакета прикладных программ MATLAB можно не только построить и отладить работу системы в целом, но и наглядно увидеть качество переходных процессов. Входными параметрами в данный момент являются ступенчатые функции, но, добавив в модель дополнительные случайные возмущения, можно подстроить модель под реальные ситуации, в которых может оказаться агрегат, и, проанализировав графики получившихся переходных процессов, понять, сможет система функционировать в такой ситуации или же нет. Проследить зависимости влияния силы и количества внешних случайных воздействий на систему. В зависимости от мощности агрегата система управления будет отличаться размерами и количеством ступеней обратных связей для корректного управления.

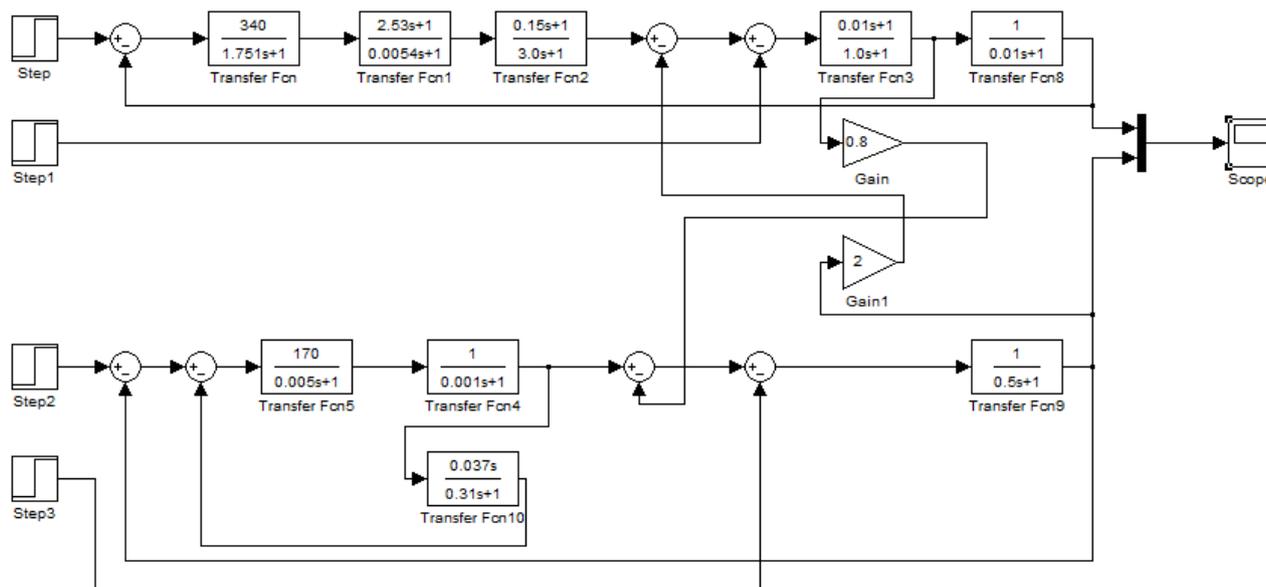


Рис. 4. Система автоматического управления турбоагрегатом

Ниже представлен график переходного процесса такой системы (рис. 5) без дополнительных возмущений.

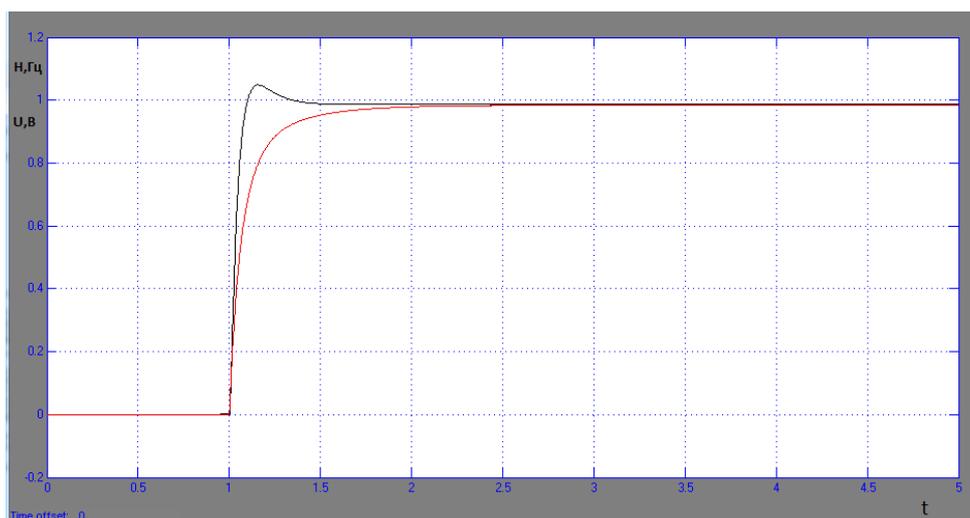


Рис. 5. Переходный процесс системы автоматического управления турбоагрегатом

Из данного графика видно, что изменение частоты и напряжения в нормальном режиме работы вполне стабильны, но нам необходимо ввести дополнительные возмущения и отладить регулятор таким образом, чтоб система и дальше оставалась устойчивой, а внешние воздействия не приводили к перерегулированию.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что наша дальнейшая работа будет заключаться в использовании данной многосвязной системы автоматического управления со случайными воздействиями, исследовании ее при этих воздействиях и анализе переходных процессов.

### Библиографический список

1. Официальный сайт открытой библиотеки «Википедия» <https://ru.wikipedia.org/> Турбоагрегаты [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Турбоагрегат](https://ru.wikipedia.org/wiki/Турбоагрегат).

2. Официальный сайт «Педсовет.инфо» <http://pedsovet.info/>. Математические модели [Электронный ресурс]. URL: [http://pedsovet.info/info/pages/referats/info\\_00002.htm](http://pedsovet.info/info/pages/referats/info_00002.htm).

3. Соколовский М. М., Шишлаков Д. В. Исследование математической модели турбоагрегата при случайных воздействиях // Завалишинские чтения: молод. секция: сб. докл. СПб.: ГУАП, 2016. 210 с. 158 с.

4. Шишлаков В. Ф., Цветков С. А., Шишлаков Д. В. Синтез параметров непрерывных и импульсных многосвязных систем автоматического управления: моногр. СПб.: ГУАП. 2008. 180 с.

**УДК 628.166.085**

**Д. С. Степанищева**

студент кафедры инноватики и базовой и магистерской подготовки

**Ю. С. Николаев**

кандидат химических наук, доцент – научный руководитель

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ МЕТОДОМ ОЗОНИРОВАНИЯ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Проблема водоочистки крайне важна в современном обществе. Для жизни человеку необходима чистая, качественная вода без патогенных бактерий и микроорганизмов. Чтобы получить безвредную «жидкость», необходимо использовать различные методы очистки воды.

Методы обеззараживания воды избираются в связи с затратами и качеством воды, условием содержания и поставки необходимых реагентов, а также в связи с возможностью автоматизации процесса.

Таблица 1

Метод обеззараживания	Время, мин	Последствия, сут.	Влияние на органолептические свойства воды	Конструктивная сложность	Вероятность сублетальных повреждений и мутагенный эффект
Хлорирование	30–60	1–5	Ухудшает	Высокая при применении жидкого хлора	Низкие
Озонирование	5–30	–	Улучшает	Средняя	Низкие
УФ-облучение	1–15	–	Не влияет	Средняя	Средние
У-облучение	1–15	–	Не влияет	Высокая	Средняя вероятность сублетальных повреждений, высокий мутагенный эффект
Облучение ускоренными электронами	1–15	–	Не влияет	Высокая	Средние

В соответствии с технико-экономической оценкой методов очистки воды самым экономически выгодным методом является хлорирование, но данный метод не является продуктивным в плане получения обеззараженной воды, соответствующей правилам СанПиН [1]. Из чего следует, что данный метод необходимо комбинировать с другими видами. Также известно, что при методе хлорирования в воде образуются и накапливаются вредные галогенизированные углеводороды.

В свою очередь существуют два метода: метод УФ-облучения и метод озонирования.

Из табл. 1 видно, что и озонирование, и УФ-облучение имеют ряд преимуществ по отношению к другим методам. Например, при помощи метода озонирования устраняют неприятный запах в воде.

**Озонирование.**

Озон – наиболее сильный из известных на сегодняшний день окислителей, важным преимуществом является неспособность к реакциям замещения. Озон достаточно эффективен в борьбе со спорами, патогенными организмами, а также вирусами.

**Получение.**

Озон получают в специальных аппаратах – озонаторах – из воздушного или технического кислорода, пропущенного сырьевого газа через зону тлеющего электрического разряда (рис. 1.). Для получения большего количества озона возможно использование радиационно-химического и хемоядерного методов, но, к сожалению, практического применения этому методу не нашли.

Требования к опытным установкам метода озонирования:

- 1) диаметр контактной камеры ( $50-150$ ) \*  $d$ , где  $d$  – диаметр пузырьков озон-воздушной смеси;
- 2) глубина слоя воды в контактной камере не менее 3 м;
- 3) концентрация озон-воздушной смеси на входе контактной камеры ( $18-22$  г/м<sup>3</sup>).

Благодаря опытной установке возможно практически полное моделирование процессов озонирования воды, которые протекают в контактных камерах, также возможно осуществление распределения целого потока озон-воздушной смеси по разным секциям, и в заключение стало возможно регулирование направления потока жидкости по отношению к газу.

Озонаторы можно условно разделить на 2 больших класса:

- 1) безбарьерные;
- 2) барьерные.



Рис. 1. Пример установки озонowego обеззараживания воды

В безбарьерных озонаторах отсутствует диэлектрическая прослойка между электродом высокого напряжения и заземленным контуром. Их особенностью считается получение озона в больших количествах при сравнительно низких электрозатратах, но невозможность получения концентрированного озона. В барьерных же все наоборот, в них присутствует прослойка между электродами. Немаловажную роль в процессе синтеза озона играет предварительная подготовка сырьевого газа. Далее озон смешивают с обрабатываемой водой в контактных камерах (герметичные многосекционные резервуары, оборудованные системой ввода озона в воду и системой деструкции непрореагировавшего озона перед его выбросом в атмосферу).

Необходимо отметить, что озонирование воды не дает эффекта последствия, то есть не требует дополнительного применения иных средств очистки.

УФ-излучение.

Наиболее интересный из безреагентных методов обеззараживания воды – использование бактерицидных ультрафиолетовых лучей с длиной волны 205–315 нм.

Обеззараживающее действие УФ-излучения основано на необратимых повреждениях молекул ДНК и РНК микроорганизмов за счет фотохимического эффекта лучистой энергии, которое предполагает разрыв или изменение химических связей органической молекулы вследствие поглощения энергии фотона.

Санитарно-технологические характеристики:

- незначительное время контакта;
- отсутствие образования токсичных и канцерогенных продуктов;
- отсутствие необходимости хранения опасных материалов и реагентов.

Получение.

В качестве источников УФ-излучения используют специальные ртутно-кварцевые и ртутно-аргоновые лампы с увиолевым стеклом, которое обладает повышенной прозрачностью в области УФ-спектра.

Для обработки воды УФ-излучением применяют установки с погруженными и непогруженными источниками излучения, а также комбинированные установки. Наиболее простые и маломощные установки напорного типа состоят из корпуса, в котором размещена УФ-лампа, заключенная в защитный кварцевый чехол (рис. 2).



Рис. 2. Пример установки ультрафиолетового обеззараживания воды

Для определения доз УФ-облучения, обеспечивающих эффективное обеззараживание фильтра в условиях реальной эксплуатации сооружений, необходимы долговременные испытания с использованием УФ-установки малой производительности и моделированием технологических условий, наиболее приближенных к реальным.

## Сравнительный анализ

Таблица 2

Озонирование	УФ-излучение
Позволяет одновременно достигнуть обесцвечивания, устранения привкусов и запахов в воде и ее обеззараживания за счет высокой окислительной способности озона. Его используют для обеззараживания и очистки воды от пахнущих веществ биологического происхождения, железа, марганца, сероводорода и т. д.	Ультрафиолетовое излучение обладает выраженным биоцидным действием на различные микроорганизмы, в том числе бактерии, вирусы, грибы
Механизм бактерицидного действия озона обусловлен его влиянием на обмен веществ в живой клетке, при котором нарушается равновесие превращения активной сульфидной группы в инактивные дисульфидные формы	Обеззараживающее действие Уф-излучения основано на необратимых повреждениях молекул ДНК и РНК микроорганизмов за счет фотохимического эффекта лучистой энергии, которое предполагает разрыв или изменение химических связей органической молекулы вследствие поглощения энергии фотона.
Однако реакции озона с загрязнениями, встречающимися в воде и сточных водах, непредсказуемы и мало изучены, поэтому при разработке технологии озонирования необходимо предусмотреть предварительные технологические исследования	Отсутствие УФ-облучения, что влечет за собой дополнительное применение других обеззараживающих реагентов.
Время обеззараживания – 5–30 минут	Время обеззараживания – 1–15 минут
Устраняет запахи	Не влияет на запахи
Низкая вероятность сублетальных повреждений и мутагенного эффекта	Существует средняя вероятность сублетальных повреждений и мутагенного эффекта
Озон – токсичный газ, поэтому любое его использование требует тщательного контроля техники безопасности [4]	Ультрафиолетовое облучение, в отличие от окислительных технологий, не меняет химический состав воды [3]
Является дорогостоящим методом [4]	Для обеззараживания воды методом УФ-излучения характерны более низкие, чем при озонировании, эксплуатационные расходы [3]

Из данного анализа следует, что оба метода имеют недостатки и достоинства, однако в методе УФ-излучения минусов на 1 меньше. Из этого следует, что данный метод является лучшим из всех перечисленных.

## Вывод

Опыт использования озона на станциях водоподготовки подтвердил его высокую эффективность для очистки природных поверхностных вод от гумусовых

веществ, пахнущих веществ биологического происхождения, железа, марганца, сероводорода, фенолов, пестицидов, нефти и нефтепродуктов, синтезирующих поверхностно-активных веществ (СПАВ) [2].

В условиях Санкт-Петербурга наиболее приемлемым, безопасным и относительно недорогим в реализации решением проблемы обеззараживания воды представляется применение на стадии первичного обеззараживания гипохлорита натрия, а на стадии вторичного обеззараживания – УФ-облучения. Такая технология позволит сочетать достоинства и недостатки этих методов при сравнительно небольших затратах [2].

### **Библиографический список**

1. СанПиН 2.1.5.980-00. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: Санитарные правила и нормы. М.: ИИЦ Госкомсанэпиднадзора России, 2001.
2. Водоснабжение Санкт-Петербурга / под ред. Ф. В. Кармазинова. СПб.: Новый журнал, 2003.
3. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.waterland.ru/sfwp-dinpmo/>.
4. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.water.ru/bz/param/ozon2.shtml>.

### **УДК 004.93/11**

#### ***Е. Р. Терещенко***

студентка кафедры управления в технических системах

#### ***И. С. Колесов***

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

#### ***С. В. Соленьий***

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### **ЛИДАРЫ – «УМНЫЕ» ПОМОЩНИКИ**

Для начала разберемся, что же такое лидар. Лидар (LiDAR, англ. Light Identification Detection and Ranging, – световое обнаружение и определение дальности) – технология получения и обработки информации об удаленных объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления отражения света и его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах. Лазерный дальномер – простейший вариант лидара. Современные лазерные дальномеры в большинстве случаев компактны и позволяют в кратчайшие сроки и с большой точностью определить расстояния до интересующих объектов.

Лидар как прибор представляет собой активный дальномер оптического диапазона. Сканирующие лидары в системах машинного зрения формируют двумерную или трехмерную картину окружающего пространства. «Атмосферные» лидары способны не только определять расстояния до непрозрачных отражающих целей, но и анализировать свойства прозрачной среды, рассеивающей свет. Разновидностью атмосферных лидаров являются доплеровские лидары, определяющие направление и скорость перемещения воздушных потоков в различных слоях атмосферы.

Принцип действия лидара не имеет больших отличий от радара: направленный луч источника излучения отражается от целей, возвращается к источнику и

улавливается высокочувствительным приемником (в случае лидара – светочувствительным полупроводниковым прибором); время отклика прямо пропорционально расстоянию до цели (рис. 1).

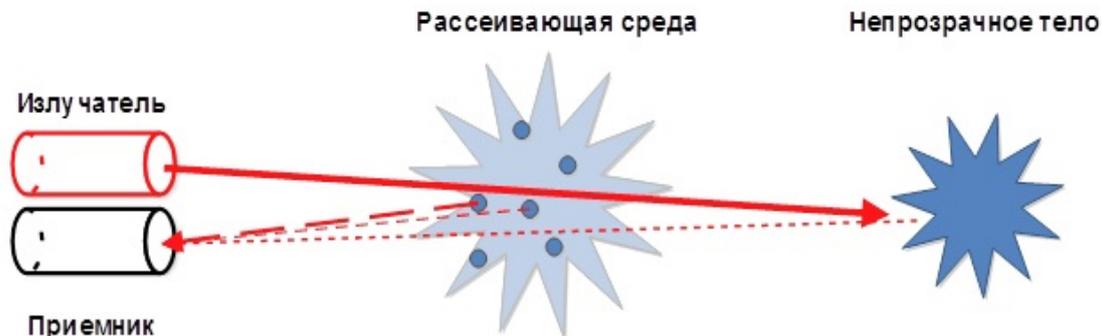


Рис. 1. Принцип действия лидара

Таблица 1

Зависимость времени отклика от расстояния до цели

Расстояние до цели	1 м	10 м	100 м	1 км	10 км	100 км
Время отклика	6,7 нс	67 нс	0,67 мкс	6,7 мкс	67 мкс	0,67 с

Принцип действия лидара прост. Объект (поверхность) освещается коротким световым импульсом и измеряется время, через которое сигнал вернется к источнику. Свет распространяется очень быстро –  $3 \cdot 10^8$  м/с. Однако он возвращается с некоторой задержкой, которая зависит от расстояния до объекта (рис. 2).

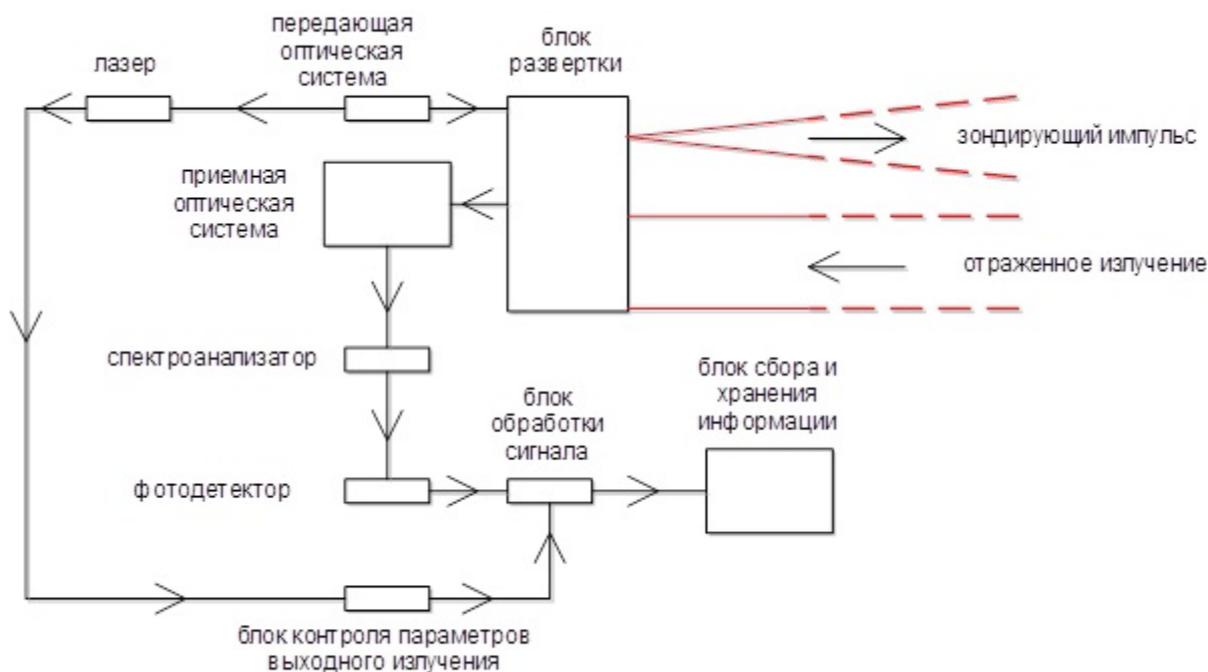


Рис. 2. Схема простейшей лидарной системы

Расстояние, которое прошел фотон на пути до объекта и обратно (табл. 1), можно рассчитать по формуле:

$$S = \frac{ct}{2},$$

где  $S$  – расстояние;  $c$  – скорость света;  $t$  – время пролета.

Оборудование, необходимое для измерения этого малого промежутка времени, должно работать чрезвычайно быстро.

Лидар запускает быстрые короткие импульсы лазерного излучения на объект (поверхность) с частотой до 150000 импульсов в секунду. Датчик на приборе измеряет промежуток времени, необходимый для возврата импульса. Свет движется с постоянной скоростью, поэтому лидар может вычислить расстояние между ним и целью с высокой точностью [1].

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

### **Исследования атмосферы**

Исследования атмосферы стационарными лидарами являются наиболее массовой отраслью применения технологии. В мире развернуто несколько постоянно действующих исследовательских сетей (межгосударственных и университетских), наблюдающих за атмосферными явлениями.

### **Раннее оповещение о лесных пожарах**

Лидар, размещенный на возвышенности (на холме или на мачте) и сканирующий горизонт, способен различать аномалии в воздухе, порожденные очагами пожаров. В отличие от пассивных инфракрасных систем, распознающих только тепловые аномалии, лидар выявляет дымы по аномалиям, порождаемым частицами горения, изменению химического состава, прозрачности воздуха и т. п.

### **Исследования Земли**

Вместо установки лидара на земле, где принимаемый отраженный свет будет зашумлен из-за рассеяния в загрязненных, нижних слоях атмосферы, «атмосферный» лидар может быть поднят в воздух или на орбиту, что существенно улучшает соотношение сигнал-шум и эффективный радиус действия системы [1].

### **Строительство и горное дело**

Лидары, сканирующие неподвижные объекты (здания, городской ландшафт, открытые горные выработки), относительно дешевы. Так как объект неподвижен, то особого быстрогодействия от системы обработки сигнала не требуется, а сам цикл обмера может занимать достаточно долгое время (минуты).

### **Морские технологии**

**Измерение глубины моря.** Для этой задачи используется дифференциальный лидар авиационного базирования. Красные волны почти отражаются поверхностью моря, тогда как зеленые частично проникают в воду, рассеиваются в ней и отражаются от морского дна. Технология пока не применяется в гражданской гидрографии из-за высокой погрешности измерений и малого диапазона измеряемых глубин.

**Поиск рыбы.** Аналогичными средствами можно обнаруживать признаки косяков рыбы в приповерхностных слоях воды. Специалисты американской государственной лаборатории ESRL утверждают, что поиск рыбы легкими самолетами, оборудованными лидарами, как минимум на порядок дешевле, чем с судов, оборудованных эхолотами.

**Спасение людей на море.** В 1999 ВМС США запатентовали конструкцию авиационного лидара, применимого для поиска людей и человеческих тел на поверхности моря. Принципиальная новизна этой разработки – в применении оптического маскирования отраженного сигнала, снижающего влияние помех.

**Разминирование.** Обнаружение мин возможно с помощью лидаров, непосредственно погруженных в воду (например, с буга, буксируемого катером или вертолетом), однако не имеет особых преимуществ по сравнению с активными акустическими системами (сонарами).

### На транспорте

**Определение скорости транспортных средств.** В Австралии простейшие лидары используются для определения скорости автомобилей – так же, как и полицейские радары. Оптический «радар» существенно компактнее традиционного, однако менее надежен в определении скорости современных легковых автомобилей: отражения от наклонных плоскостей сложной формы «запутывают» лидар [2].

**Беспилотные транспортные средства.** В 1987–1995 годах в ходе проекта EUREKA Prometheus, стоившего Европейскому союзу более 1 млрд долларов, были выработаны первые практические разработки беспилотных автомобилей. Наиболее известный прототип, VaMP (разработчик – Университет бундесвера в Мюнхене), не использовал лидары из-за недостатка вычислительной мощности тогдашних процессоров. Новейшая их разработка, MuCAR-3 (2006), использует единственный лидар кругового обзора, поднятый высоко над крышей машины, наравне с направленной мультифокальной камерой обзора вперед и инерциальной навигационной системой. Прототипы беспилотников Google оснащены одним лидаром, напоминающим мигалку на крыше, а фирма Ford в своих автономных седанах Fusion Hybrid использует сразу четыре лидара, установленных под разным углом на крыше и дающих исчерпывающую информацию об окружающем пространстве [1].

**Промышленные и сервисные роботы.** Системы машинного зрения ближнего радиуса действия для роботов, основанные на сканирующем лидаре IBM, формируют цилиндрическую развертку с углом охвата горизонта 360° и вертикальным углом зрения до +30...–30°. Собственно, дальномер, установленный внутри сканирующей оптической головки, работает на постоянном излучении малой мощности, модулированном несущей частотой порядка 10 МГц. Расстояние до целей (при несущей 10 МГц – не более 15 м) пропорционально сдвигу фаз между опорным генератором, модулирующим источник света, и ответным сигналом.

### Библиографический список

1. Сысоева С. Атруальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности // Компоненты и технологии. № 69. 2007 [Электронный ресурс]. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-tehnologii-i-primeneniya-datchikov-avtomobilnyh-sistem-aktivnoy-bezopasnosti-chast-7-aktivnye-ik-sistemy-lidary-sistemy2>. (06.04.2017).
2. Ализар А. Устройство за 60\$ обманывает лидар беспилотного автомобиля. 2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://xakep.ru/2015/09/07/lidar-hack/> (06.04.2017).

УДК 62-531.4

**И. М. Толстой**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**С. В. Солёный**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ ГЛУБИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕРЕОПАРЫ И БИБЛИОТЕКИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ OPENCV

Одной из ключевых задач машинного зрения является определение расстояния до объекта. Картой глубины называется изображение, каждый пиксель которого вместо цвета содержит информацию о расстоянии до объекта. Одним из применений карты глубины является навигация мобильных и антропоморфных роботов. Например, марсоход NASA Mars Exploration Rover определяет расстояние до препятствия и обходит его с помощью системы стереозрения.

Создание карты глубины можно разделить на три основных этапа.

Первый этап – это калибровка камеры. На этом этапе вычисляются внутренние параметры камеры:

- матрица внутренних параметров, содержащая фокусные расстояния для обеих камер;
- коэффициенты дисторсии, которые отражают искажение изображения;
- фундаментальная матрица, с помощью которой вычисляются уравнения эпиполярных линий. Эпиполярной линией называется проекция на плоскость второй камеры луча, который начинается в точке, лежащей в реальном пространстве, и проходит через проекцию этой точки на плоскость первой камеры;
- поворотная матрица, содержащая информацию о повороте обеих камер относительно глобальной системы координат;
- существенная матрица, которая определяет положение обеих камер относительно друг друга.

Второй этап – это выпрямление изображения, основной целью которого является устранение искажений дисторсии таким образом, чтобы эпиполярные линии камер совпадали.

Третий этап – это, собственно, построение самой карты глубины.

Рассмотрим принцип вычисления расстояния до наблюдаемого объекта. На рис. 1 представлены параметры для реализации вычисления расстояния: расстояние между камерами стереопары (base) или базовое расстояние (base length); фокусное расстояние камеры стереопары (f); карта диспаратностей. Найти расстояние до наблюдаемого объекта можно путем определения координат проекции объекта P по оси OX на проекционную плоскость левой камеры, аналогично находится координата проекции объекта P по оси OX на проекционную плоскость правой камеры. Данный подход позволяет определить диспаратность точки  $x_0$  объекта P в пикселях (d) и расстояние до наблюдаемого объекта в метрах (Z).

Анализ рис. 1 показывает наличие двух подобных треугольников, что позволяет вывести соотношение:

$$(base - d)/(Z-f) = base/Z. \quad (1)$$

Из соотношения (1) следует, что:

$$Z = f \cdot base/d, \quad (2)$$

где Z – искомое расстояние до объекта.

Для реализации первой части алгоритма необходимо собрать дата-сет минимум из двадцати пяти пар фотографий объекта с заранее известной геометрией для вычисления внутренних параметров стереопары.

Объектом с заранее известной геометрией служит шахматная доска, так как известно, что расстояние между узлами (углами внутренних квадратов) одинаково (рис. 2).

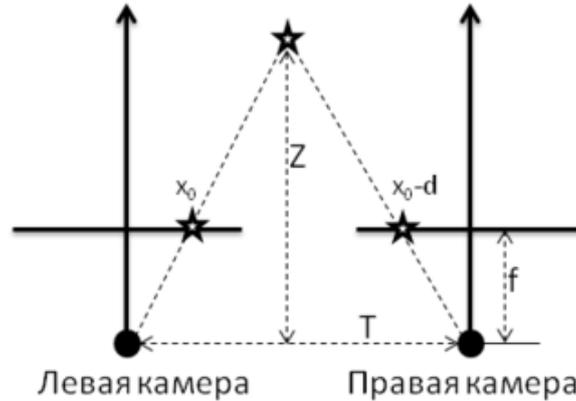


Рис. 1. Принцип вычисления расстояния до наблюдаемого объекта

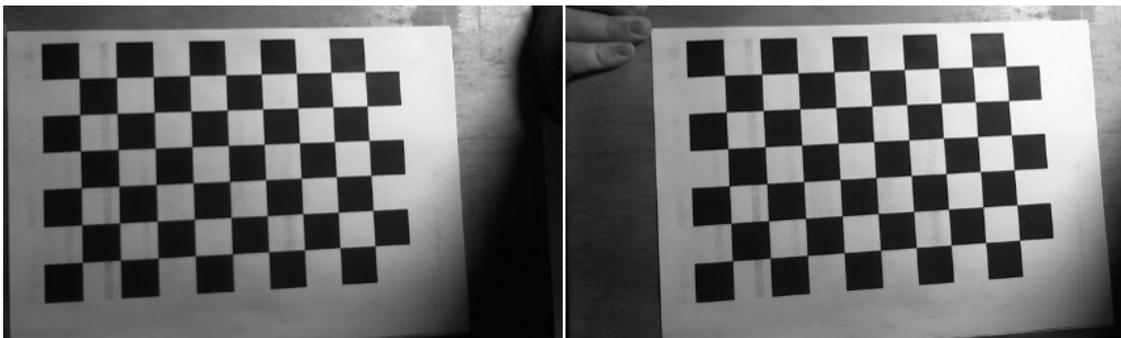


Рис. 2. Образец пары фотографий для дата-сета

После того как дата-сет был сформирован, программным путем реализуется поиск узлов шахматной доски для каждой пары фотографий с помощью функции `cv2.findChessboardCorners()` (рис. 3) и вычисляются внутренние параметры стереопары с помощью функции `cv2.stereoCalibrate()`. Затем производится вычисление общей матрицы стереопары с помощью функции `cv2.getOptimalNewCameraMatrix`.

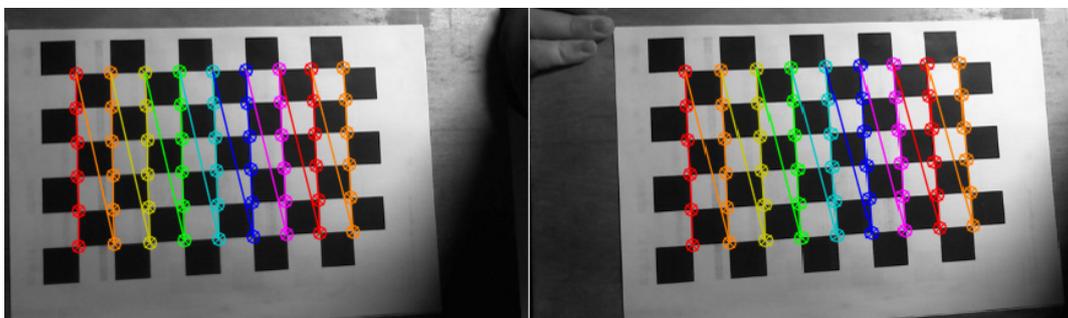
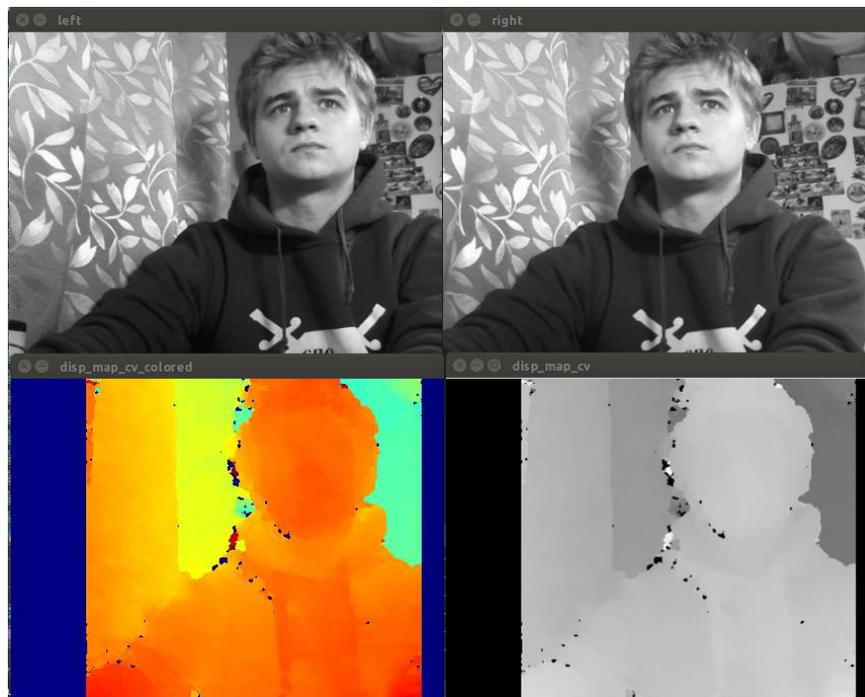


Рис. 3. Результат применения функции `cv2.findChessboardCorners()`

Реализация второго этапа происходит с использованием функции `cv2 remap()`, которая принимает найденные в предыдущем этапе параметры сте-

реопары и в реальном времени «выпрямляет» изображение, поступающее с двух камер стереопары, после чего происходит построение карты глубины с использованием функции `cv2.stereoSGBM()` (рис. 4). Данная функция находит на изображениях одинаковые точки и вычисляет разницу между ними по оси ОХ, на основе чего происходит вычисление расстояния. Чем ближе объект, тем сильнее интенсивность пикселей, из которых состоит его изображение.



*Рис. 4. Построение карты глубины на основе выпрямленных изображений*

Библиотека компьютерного зрения OPENCV с легкостью позволяет добиться построения карты глубины с использованием двух камер. Данный алгоритм может применяться в любой сфере робототехники, где требуется определять расстояние до объектов или препятствий, не используя при этом дополнительных ультразвуковых или лазерных датчиков. Минусом данного алгоритма является то, что если объект находится слишком близко или далеко относительно стереопары, определение расстояния до него станет невозможным, что обуславливается фокусным расстоянием и другими внутренними параметрами стереопары. Также данный метод определения расстояния требует достаточной вычислительной мощности, но, учитывая постоянное развитие технологий, в скором времени это перестанет быть существенной проблемой.

### **Библиографический список**

1. Ильясов Э. С. Вычисление расстояния до наблюдаемого объекта по изображениям со стереопары // Молодой ученый. 2016. № 14. С. 146–151.
2. Многофункциональный сайт (специализированная пресса) «Хабрахабр»: <https://habrahabr.ru> [Электронный ресурс]. URL: <https://habrahabr.ru/post/130300>.
3. Официальный сайт документации для библиотеки OPENCV: <http://docs.opencv.org/> [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.opencv.org/2.4.13.2>.
4. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение / пер. с англ., 2-е изд. (эл.). М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 752 с.

УДК 621.314.6

**Н. А. Чуфарин**

магистрант кафедры управления в технических системах

**А. А. Ефимов**

доктор технических наук, профессор – научный руководитель

## СИСТЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Аннотация.** В статье дается обзор различных систем генерирования электрической энергии; рассматриваются характеристики устройств, их особенности, преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** преобразователь, генерирование энергии, полупроводник, системы генерирования электроэнергии.

### Общие сведения

С развитием силовой электроники стал очевиден факт использования в системах генерирования полупроводниковых преобразователей как замена приводу постоянных оборотов. Требования к системам генерирования электроэнергии (СГЭЭ) на базе полупроводников (ПП) условно можно представить в виде двух групп. Первая из них – основная, определяется общими требованиями и нормами качества электроэнергии самолетов и вертолетов, сформулированными в ГОСТ Р 54073-2010; вторая – конкретным типом объекта применения СГЭЭ, как правило, это требования проектно-конструкторского характера, включая ряд дополнительных требований к электромеханическим параметрам и характеристикам системы.

Ряд систем электроснабжения получены путем комбинирования четырех основных типов систем [1]:

1. Постоянного тока низкого напряжения 28 Вольт (В).

2. Постоянного тока среднего напряжения 112 В.

3. Переменного трехфазного тока переменной частоты.

4. Переменного трехфазного тока 115/200 В постоянной частоты – 400 Гц с приводом постоянной скорости (ППС).

На сегодняшний день используется система переменного трехфазного тока 115/200 В постоянной частоты 400 Гц с полупроводниковым преобразователем – преобразователем частоты (ПП или ПЧ). Система постоянного тока высокого напряжения 270 В является перспективной.

Преимуществом системы постоянного тока с напряжением 28 В является использование генератора в качестве стартера двигателя, также простая организация параллельной работы. Однако развитие такой системы ограничено по ряду причин:

1. При мощности более 20 кВт возрастает вес проводов.

2. Возрастание высотности ограничено коммутационной способностью щеточно-коллекторного узла.

3. Высокая частота вращения приводит к деформации коллектора, что влечет за собой ухудшение коммутации.

4. Потребители, работающие на переменном напряжении, питаются через автономные инверторы и электромеханические преобразователи [2].

Преимущества генераторов переменного тока состоят в том, что в одном агрегате при одинаковых показателях габарита и веса можно получить значительно

более высокие показатели мощности по сравнению с генераторами постоянного тока. Нагруженные якорные обмотки располагаются на статоре снаружи, в отличие от генераторов постоянного тока, где обмотка якоря расположена на роторе, что приводит к худшему охлаждению. Недостатком является то, что постоянная частота получается при помощи механического ППС, что в свою очередь увеличивает габариты и вес системы электроснабжения [3].

### Перспективные системы электроснабжения

Системы генерирования с полупроводниковыми преобразователями.

Рассмотрим системы генерирования при следующей классификации:

- системы генерирования постоянного тока: низкого напряжения (28,5 В); высокого напряжения ( $\pm 270$  В);
- системы генерирования переменного тока: постоянной частоты (115 В, 400 Гц); переменного тока переменной частоты (115 В,  $f = \text{var}$ ).

В свете концепции самолета с полностью электрифицированным оборудованием (СПЭО) к системам генерирования электрической энергии (СГЭЭ) за основу должны быть взяты следующие принципы:

1. СГЭЭ должны по возможности работать в режимах генерирования и электростартерного запуска первичного двигателя.
  2. В режиме генерирования СГЭЭ должны обеспечивать работу на нелинейную, несимметричную и нестационарную нагрузку практически без ограничений по ее величине.
  3. СГЭЭ должны иметь возможность реализовать синфазную и параллельную работу каналов генерирования.
  4. Аварийные системы генерирования должны иметь возможность использования авторотационного режима работы первичных двигателей.
  5. Каждая из систем генерирования должна обеспечивать работоспособность при неработающих других системах генерирования.
  6. Принцип построения гибких систем электроснабжения.
  7. Системы электроснабжения должны быть с унифицированными интерфейсами.
  8. Желательна схемотехническая унификация.
  9. Наличие встроенного автоматического предполетного и полетного контроля; ведение протокола состояния системы с возможной передачей информации через телекоммуникационные каналы.
  10. Прогнозирование отказов и рабочего ресурса систем в целом и наиболее важных конструктивных блоков, включая аккумуляторные батареи (АБ).
- Поставленным требованиям удовлетворяет СГЭЭ, функциональная схема которой приведена на рис. 1.

### СГ–ПП постоянного тока напряжения 28,5 В

Некоторые из возможных функциональных схем таких систем приведены на рис. 2. Общими элементами для этих систем являются АБ, «молекулярный» конденсатор (МК), а также система мониторинга состояния АБ. МК необходим для компенсации провалов и всплесков на зажимах АБ при наличии динамических импульсных нагрузок. Следует отметить, что ПП может обеспечить быстрый заряд МК. Следует также отметить, что роль МК может выполнять топливный элемент, конструктивно расположенный в турбине ЛА.

На рис. 2, а представлена схема, где функции ПП выполняет управляемый выпрямитель (УВ). Достоинствами схемы являются:

- высокая перегрузочная способность и, как следствие, высокая надежность;

- относительно невысокая масса полупроводниковых элементов;
- высокая стойкость к специальным воздействиям;
- большой рабочий ресурс;
- относительно высокое значение коэффициента полезного действия;
- простота построения системы управления;
- полная унификация с системами постоянного тока высокого напряжения;
- возможность обеспечения параллельной работы с другими каналами генерирования постоянного тока.

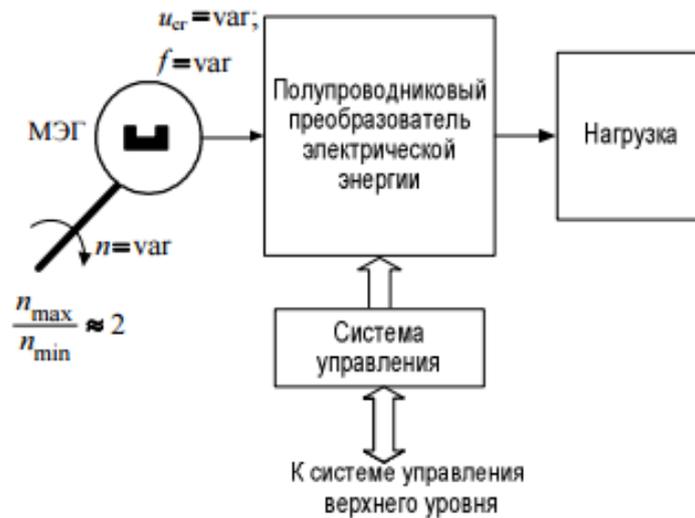


Рис. 1. Функциональная схема системы генерирования электрической энергии типа «СГ–ПП»

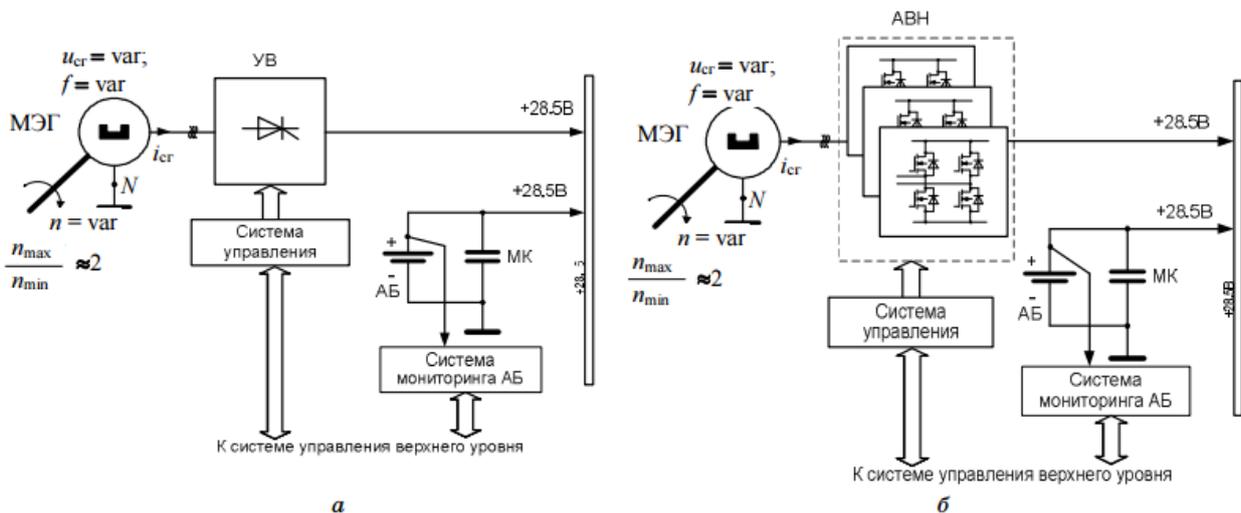


Рис. 2. Системы генерирования постоянного тока низкого напряжения: а) с УВ; б) с АВН

К недостаткам такой системы можно отнести:

- слабую унификацию с системами переменного тока;
- невозможность обеспечения электростартерного запуска;
- неэффективное использование СГ за счет низкого значения коэффициента мощности и несинусоидальной формы тока УВ;

– относительно большие массу и габариты конденсаторов фильтра, что объясняется необходимостью подавления неканонических гармоник и низким быстродействием преобразователя.

На рис. 2, б представлена схема СГЭЭ, где функции ПП выполняет активный выпрямитель напряжения (АВН), выполненный по модульному принципу на транзисторах типа MOSFET. Такая схема позволяет повышать напряжение, что дает ей возможность работы с низковольтными генераторами. Кроме того, данная схема может работать от многофазного СГ с потреблением синусоидального по форме тока по каждой фазе, что позволяет расцепить фидер между СГ и ПП, снизив тем самым токовую нагрузку на единичный провод.

Достоинства схемы:

- высокое значение коэффициента полезного действия;
- высокое использование СГ при коэффициенте мощности, равном единице;
- возможность режима электростартерного запуска;
- схемотехнические решения могут быть унифицированы для всех типов систем генерирования постоянного и переменного тока;
- применение IPM-модулей (интеллектуальных силовых модулей) позволяет минимизировать массу и габариты;
- высокое быстродействие, достигаемое за счет высокочастотной ШИМ и параллельных каналов;
- хорошие массогабаритные показатели конденсаторов фильтра;
- возможность параллельной работы с другими каналами генерирования постоянного тока и, как следствие, высокая надежность.

### СГ–ПП постоянного тока напряжения 270 В

Бортовая сеть  $\pm 270$  В наиболее приемлема для исполнительных механизмов с электроприводом переменного тока, а также для согласования с системами электроснабжения переменного тока с величинами напряжения 220 и 115 В. Такую систему можно реализовать аналогично системе, представленной на рис. 2.

### СГ-ПП переменного тока стабильной частоты 400 Гц напряжения 115 В

Схемы систем генерирования переменного тока стабильной частоты 400 Гц напряжения 115 В с использованием АВН, АВТ и инверторов представлены на рис. 3, а, б. С точки зрения схемотехнической реализации эти схемы наиболее просты и надежны, к сожалению, работы с использованием АВТ не столь сильно освещены, однако такие схемы являются очень перспективными.

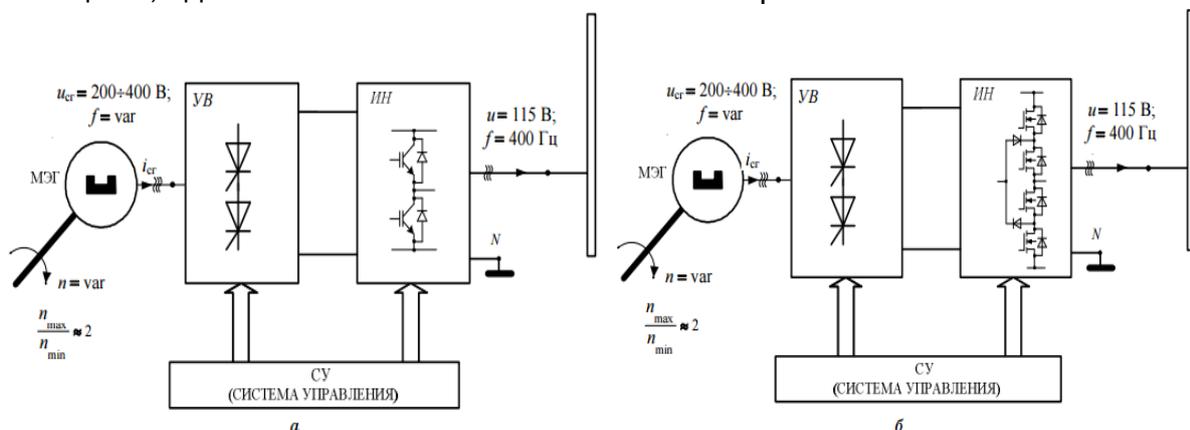


Рис. 3. Системы генерирования переменного тока стабильной частоты 400 Гц напряжения 115 В: а) с использованием АВН; б) с использованием АВТ и инверторов

Схема на рис. 3, б обладает лучшим качеством генерируемого напряжения. Наилучшими параметрами обладает схема на рис. 4. Она удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к СГЭЭ. Одним из главных ее достоинств является возможность унификации со схемами других видов СГЭЭ.

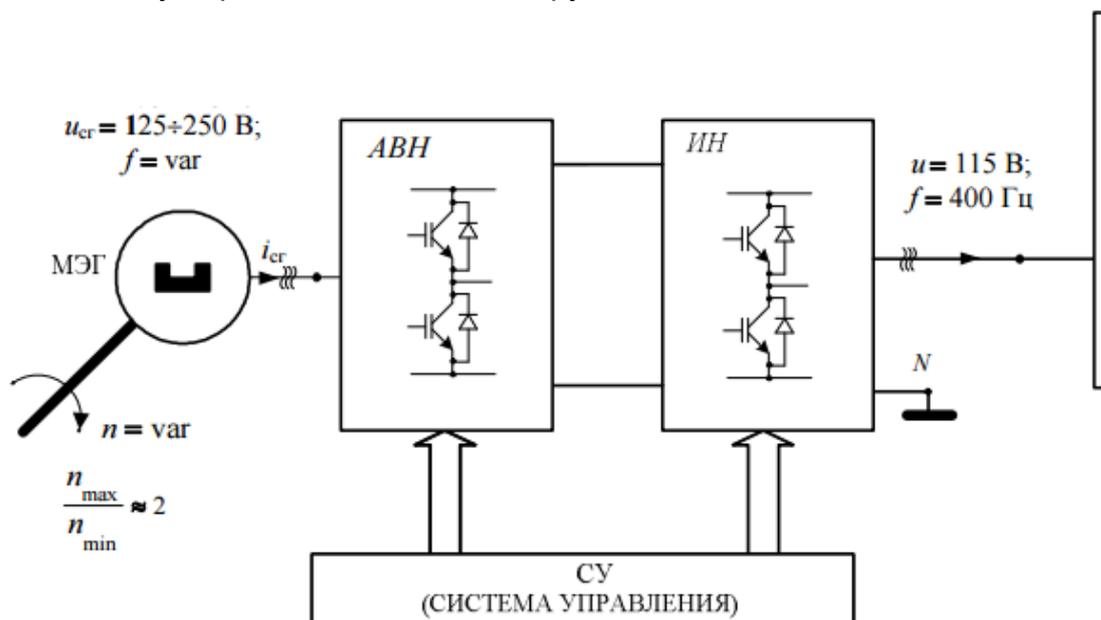


Рис. 4. Системы генерирования переменного тока стабильной частоты 400 Гц напряжения 115 В

### Заключение

В современных бортовых СГЭЭ предпочтительно использовать схемы с использованием АВН и многоуровневых инверторов. На базе этих схем может быть построен практически любой вариант реализации функций СГЭЭ. Наилучшими характеристиками обладают системы на базе многоуровневого инвертора напряжения на MOSFET-модулях.

Стоит также отметить, что важнейшей функцией любой бортовой системы электроснабжения является защита и коммутация сетей и потребителей электроэнергии. Для сети постоянного тока 270 В это весьма актуальная задача, поскольку известно, что коммутация постоянного тока в условиях высотности имеет ряд трудностей [2]. Средства интеллектуальной силовой электроники уже на уровне АВН и инверторов позволяют организовать защиту фидеров вторичной распределительной сети, к которым подключаются бортовые потребители, а при возникновении короткого замыкания на данном участке обеспечить его локализацию. В связи с этим СГЭЭ должна обладать функцией встроенного контроля состояния нагрузок.

В дальнейшем в магистерской диссертации наибольший уклон будет делаться в сторону двухзонного АВН.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р 54073-2010 «Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии». Дата введения: 01.01.2011.
2. Злочевский В. С. Системы электроснабжения пассажирских самолетов. М.: Машиностроение, 1971. 376 с.
3. Гарганеев А. Г., Бурулько Л. К., Петрович В. П., Леонов А. П. Функциональные системы летательных аппаратов. Электрическое и электронное оборудование: учеб. пособие. Томск: изд-во Томского политехн. ун-та, 2016. 240 с.

4. Гарганеев А. Г., Харитонов С. А. Перспективные системы электроснабжения самолета с полностью электрофицированным оборудованием // Доклады ТУСУРа. Томск: изд-во ТУСУР. № 2(20), 2009. С. 185–192.

**УДК 621.3.05**

**С. А. Шалаев**

магистрант кафедры электромеханики и робототехники

**С. С. Тимофеев**

старший преподаватель – научный руководитель

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧ  
СО СВЕРХПРОВОДНИКОВЫМ КАБЕЛЕМ**

Важнейшей задачей, стоящей перед энергетикой, является создание эффективных и энергосберегающих систем передачи энергии. Наиболее эффективный способ значительного (в 3–8 раз) увеличения мощности распределительных сетей без изменения напряжения в сетях может быть достигнут путем замены традиционных силовых кабелей сверхпроводниковыми. Появление на рынке ВТСП материалов с высокими токонесущими характеристиками создало принципиально новые возможности для практического использования этого явления [1].

Основные преимущества силовых ВТСП-кабелей следующие:

- высокая токовая нагрузка;
- малые потери в сверхпроводнике;
- экологическая чистота (отсутствие масел, минимальное электромагнитное и тепловое воздействие на окружающую среду);
- высокий уровень пожарной безопасности;
- большая пропускная способность (даже при снижении класса напряжения);
- компактность и легкость (при сравнении кабелей на одинаковую мощность).

При передаче большой мощности при относительно низком напряжении – 10–20 кВ (генераторном) – не требуется промежуточных подстанций, что дает значительную экономию капитальных затрат и городских земельных ресурсов.

Работы по созданию силовых кабельных ВТСП-линий признаны актуальными во всем мире, поскольку они позволяют решить коренные проблемы передачи больших потоков электроэнергии и энергосбережения [1].

Использование высокотемпературной сверхпроводящей кабельной линии переменного и постоянного тока (ВТСП КЛ) имеет несколько дополнительных преимуществ:

- возможность соединения различных частей энергосистемы по низкой стороне напряжения, что повышает надежность энергообеспечения без увеличения токов короткого замыкания;
- защита от каскадных отключений;
- регулирование потока мощности.

**Кабели переменного тока**

Для ознакомления с конструкцией ВТСП-кабеля рассмотрим в общих чертах два его исполнения, принципиально отличающихся друг от друга, – с «теплым» и «холодным диэлектриком».

Кабель с «теплым диэлектриком» (рис. 1) конструктивно сходен с традиционным кабелем.



*Рис. 1. Конструкция ВТСП-кабеля с «теплым диэлектриком»*

Охлаждение ВТСП-жил производится жидким азотом. Диэлектрик накладывается поверх криостата, что позволяет применять обычные изоляционные материалы. Следует отметить, что при производстве и монтаже такого кабеля можно использовать те же технологии, что и для обычных кабелей. Сечение криостата ВТСП-кабеля с «теплым диэлектриком» меньше, чем у кабеля с «холодным диэлектриком», следовательно, его гидравлическое сопротивление будет также выше, что усложняет систему криогенного обеспечения и накладывает ограничение на максимальную длину кабельной линии. Конструкция соединительных и тоководных муфт также усложняется по сравнению с ВТСП-кабелем с «холодным диэлектриком».

В кабеле с «холодным диэлектриком» (рис. 2) ВТСП-жила кабеля окружена коаксиальным сверхпроводящим экраном (также навитым из ВТСП-лент), служащим для экранирования магнитного поля.



*Рис. 2. Конструкция ВТСП-кабеля с «холодным диэлектриком»*

Диэлектрик располагается между ВТСП-жилой (жилами) и экранирующим слоем. Несомненным плюсом ВТСП-кабелей с холодным диэлектриком является возможность размещения всех трех фаз в общем криостате (для класса напряжений до 35 кВ). Недостатками ВТСП-кабеля с «холодным диэлектриком» является сложная технология изготовления и увеличенный расход сверхпроводящих материалов. Минимально допустимый радиус изгиба для кабелей с холодным диэлектриком также выше, чем для кабелей с теплым диэлектриком. Несмотря на это, данная конструкция получила большее распространение среди разработчиков.

Нельзя не рассказать о российском проекте по созданию сверхпроводящего кабеля длиной 200 м. Над созданием кабеля работали ОАО «Энергетический институт им. Г. М. Кржижановского» (ЭНИН), ОАО «Всероссийский научно-

исследовательский институт кабельной промышленности» (ВНИИКП), Московский авиационный институт и ОАО «НТЦ электроэнергетики» [1, 4].

Целью проекта кабеля 30 метров является отработка технических решений для создания опытно-промышленного образца ВТСП-кабеля. Конструкция кабеля подразумевает трехфазное исполнение с расположением каждой фазы в отдельном криостате, разрабатывалась в соответствии со следующими техническими требованиями:

- номинальный ток – 1500 А;
- допустимая перегрузка по току в течение 6 часов – 30%;
- установившееся значение тока трехфазного короткого замыкания в кабеле – от 12,5 до 31,5 кА.

Разработка началась в 2005 г., в 2009 г. был создан опытный образец, успешно прошедший испытания на специально созданном уникальном полигоне.

Был разработан и изготовлен ВТСП-кабель (рис. 3).



*Рис. 3. Сверхпроводящий силовой кабель:  
1, 2, 3 – формер; 4 – повивы ВТСП-лент; 5 – изоляция;  
6 – сверхпроводящий экран; 7 – защитный медный экран;  
8 – гибкий криостат*

Кабель представляет собой сложную многослойную конструкцию. Центральный несущий элемент – формер – представляет собой спираль из нержавеющей стали, окруженную пучком проводов из меди и нержавеющей стали, обмотанных медной лентой. Он принимает на себя механические нагрузки и формирует основу для укладки сверхпроводящих повивов [2]. Поверх формера уложены два повива сверхпроводящих лент. От углов укладки, точности выдержанности диаметров повивов по длине кабеля зависит соответствие кабеля заданным характеристикам. Следует заметить, что сверхпроводящая лента не переносит значительных механических нагрузок и изломов, что значительно усложняет технологические процессы. Поверх повивов была наложена высоковольтная изоляция, для чего кабель доставляли в Пермь, за 1500 км от Москвы, на завод «Камский кабель». Наложение сверхпроводящего экрана вновь проводилось на технической базе ОАО «ВНИИКП». Поверх сверхпроводящего экрана уложены повивы гибких медных лент, обмотанных лентой из нержавеющей стали. Каждая жила кабеля затягивается в свой собственный гибкий криостат длиной 200 м, распрямленный на стапеле, снабжается токовыми выводами с высоковольтной заделкой изоляции.

### **Кабели постоянного тока**

ВТСП КЛ постоянного тока могут существенно воздействовать на энергетические режимы современных мегаполисов. Благодаря способности пропускать боль-

шую мощность в системах, использующих ВТСП КЛ постоянного тока, наблюдается снижение нагрузки на параллельных и резервных линиях. Последнее позволяет решить и другие проблемы, такие как быстрый уровень роста энергопотребления и высокую плотность энергопотребления в современных мегаполисах.

Применение ВТСП КЛ существенно увеличивает надежность электроснабжения потребителей за счет взаимного резервирования. При этом токи короткого замыкания в месте включения не возрастают, и, следовательно, исключаются замены коммутационного оборудования. Это, наверно, самое главное преимущество данной системы, поскольку проблема увеличения токов короткого замыкания является весьма насущной в основных крупных городах.

Предложенная конструкция ВТСП КЛ постоянного тока благоприятна для окружающей среды с экологической точки зрения.

ВТСП-кабель постоянного тока пока мало рассматривается разработчиками. До сих пор еще не был изготовлен ни один опытно-промышленный образец КЛЭП постоянного тока, пока существуют лишь несколько лабораторных макетов, самым представительным из которых можно назвать кабель ChubuUniversity, созданный в 2006 году в Японии. Номинальное напряжение кабеля составляет 20 кВ, номинальный ток 2200 А [3].



Рис. 4. Конструкция ВТСП-кабеля постоянного тока 20 кВ ChubuUniversity

Конструкция кабеля схожа с конструкцией ВТСП-кабелей переменного тока. В центре расположен скрученный из медных проводов формер, принимающий механические нагрузки, которые испытывает кабель при изготовлении и прокладке. Поверх формера нанесен слой электрической изоляции, на которую намотан первый повив ВТСП-лент. Далее наложены изоляция, диэлектрическая прочность которой составляет 30 кВ, медный экран и защитная оплетка. Внешний диаметр кабеля составляет 40 мм.

По оценкам разработчиков ChubuUniversity, применение ВТСП-кабелей постоянного тока с номинальным напряжением 20–30 кВ несет ощутимые выгоды, так как стоимость преобразовательных агрегатов данного класса напряжения существенно ниже, чем для высоковольтных устройств, кабель на постоянном токе компактнее. Кроме того, в ВТСП-кабелях постоянного тока отсутствуют потери на переменном токе, которые являются одним из основных источников теплопритоков, что снижает габариты криогенной системы [4].

Мощные силовые сверхпроводящие кабели являются наиболее проработанным и продвинутым применением сверхпроводимости в электроэнергетике. В настоящее время силовые ВТСП-кабели – одно из наиболее эффективных применений сверхпроводимости для передачи энергии на расстояния, для связи

объектов энергосистем и для подачи энергии потребителю. Силовые сверхпроводящие кабели для передачи электроэнергии на основе высокотемпературных сверхпроводников являются одним из магистральных направлений разработки и применения сверхпроводящих кабельных изделий.

Таким образом, можно с уверенностью говорить о начале внедрения кабельных ВТСП-линий в электроэнергетику. Созданные кабельные ВТСП-линии и их успешная опытная эксплуатация могут значительно ускорить темп внедрения таких линий и других ВТСП-устройств в реальные электроэнергетические сети. Но для этого необходимо преодолеть сдерживающие факторы, такие, как консерватизм энергетиков и сетевых компаний, доказать надежность сверхпроводящих линий (опыт длительной эксплуатации), снизить стоимость ВТСП-материалов и решить проблемы надежности и стоимости криогенной техники. И, как результат, в недалеком будущем термин «традиционная энергетика» будет применен и для сверхпроводящего электрооборудования.

Из наиболее очевидных областей применения ВТСП-кабелей можно отметить:

- глубокие вводы в мегаполисы и крупные энергоемкие комплексы (возможен отказ от высокого напряжения в пользу среднего при увеличении мощности);
- линии электропередачи постоянного тока малой протяженности (например, на сильно нагруженных участках тяговой сети РЖД);
- сильноточные токопроводы на электростанциях.

#### **Библиографический список**

1. Сытников В. Е., Высоцкий В. С., Свалов Г. Г. Сверхпроводящие кабельные изделия на пути внедрения в электротехнику и электроэнергетику // Кабели и провода. № 5 (306). 2007. С. 36–48.

2. The 5m HTSPower Cable Development and Test / V. E. Sytnikov, V. S. Vysotsky, A. V. Rychagov et al. // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. Vol. 17. Nr 2, P. 1684–1687. 2007 (Paper 3LG07 presented at ASC-2006, Seattle, USA, August 2006).

3. Masuda T. et al. Verification tests of a 100 m high-T<sub>c</sub> Superconducting Cable // Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES. 6–10 Oct. 2002. Vol. 2. P. 1298–1303.

4. Энергетика. Электротехника. Связь [Электронный ресурс]. URL: [http://www.ruscable.ru/article/Sverxprovodnikovye\\_kabeli\\_ot\\_laboratornyx\\_maketov/](http://www.ruscable.ru/article/Sverxprovodnikovye_kabeli_ot_laboratornyx_maketov/).

**УДК 621.51**

**М. Н. Щеголев**

студент кафедры управления в технических системах

**М. В. Бураков**

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### **ПРЕДИКТОР СМИТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

Системы с запаздыванием часто встречаются в различных отраслях индустрии, в том числе – в химической, металлургической промышленности и топливно-энергетическом комплексе. Сложность управления такими объектами заключается в том, что звено запаздывания вносит отрицательный сдвиг фазы, способный привести к потере устойчивости.

Для управления объектами с запаздыванием часто применяют предиктор Смита [1].

Линейной системе с запаздыванием, замкнутой единичной обратной связью, соответствует следующая передаточная функция (ПФ):

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{W_c(s)W(s)e^{-\tau s}}{1+W_c(s)W(s)e^{-\tau s}}, \quad (1)$$

где  $Y(s)$  и  $R(s)$  – выход и вход системы,  $W_c(s)$  – ПФ регулятора,  $W(s)e^{-\tau s}$  – ПФ объекта управления.

Цель предиктора Смита – предсказать, какой сигнал должен появиться на выходе до того, как он там появится на самом деле. Обычно используется комбинация ПИД-регулятора и предиктора Смита [2]. Для предсказания используется модель объекта управления, состоящая из ПФ  $W_m(s)$  и транспортной задержки  $t_m$  (рис. 1, где  $E(s)$  – ошибка управления,  $U(s)$  – сигнал управления).

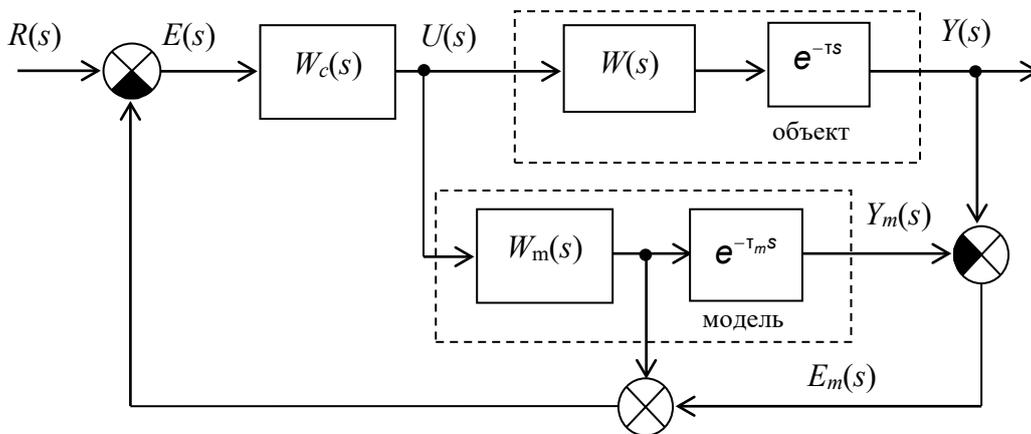


Рис. 1. Вариант описания предиктора Смита

При равенстве параметров объекта и модели ( $W_m(s) = W(s)$  и  $t_m = \tau$ ) выполняется условие:

$$E_m(s) = Y(s) - Y_m(s) = 0,$$

и ПФ системы с предиктором Смита приобретает вид:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{W_c(s)W(s)e^{-\tau s}}{1+W_c(s)W(s)}. \quad (2)$$

Очевидно, характеристический полином (2), в отличие от (1), не зависит от задержки. Однако для реального объекта величина может быть неизвестной или изменяться во времени, что вызывает ухудшение качества управления или потерю устойчивости.

Рассмотрим в качестве примера систему управления с ПИД-регулятором (рис. 2).

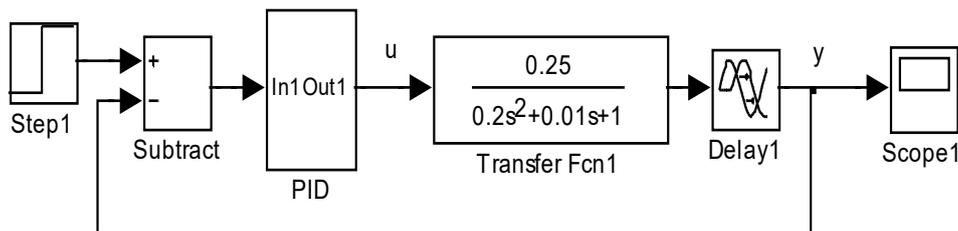


Рис. 2. Блок-схема системы управления в MATLAB

На рис. 3 приведены переходные процессы в системе, теряющей устойчивость при  $t \geq 0,18$  с.

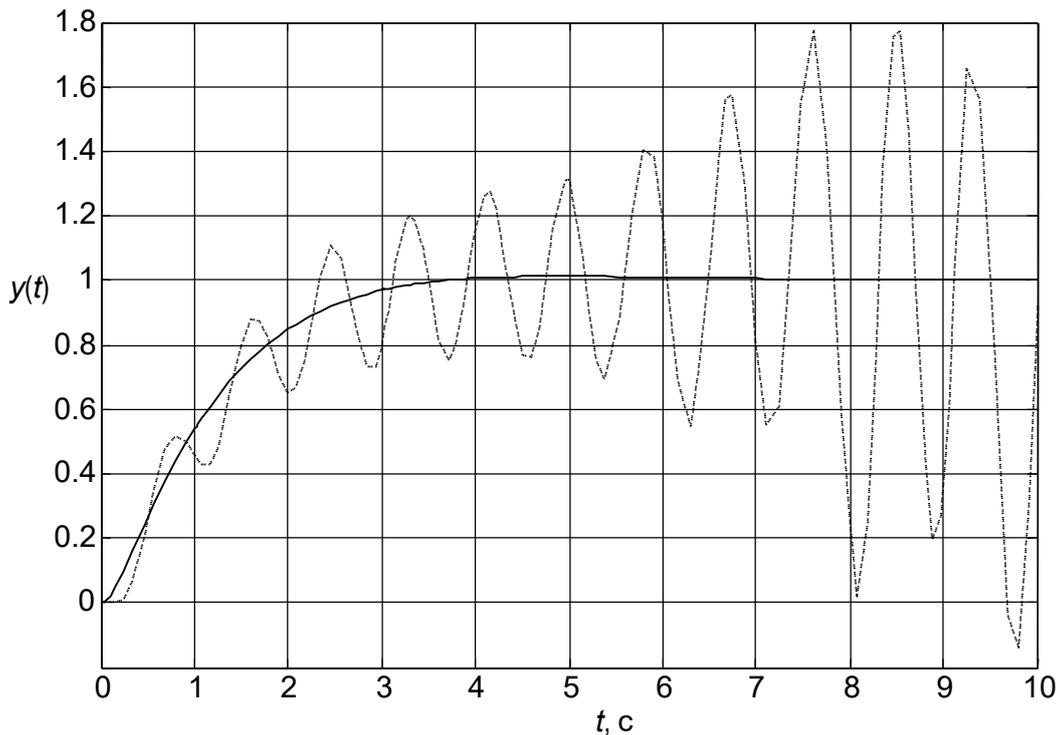


Рис. 3. Реакция системы на единичный скачок при  $t = 0$  (сплошная) и при  $t = 0,18$  с (пунктир)

Использование предиктора Смита (рис. 4) позволяет сохранить вид переходного процесса.

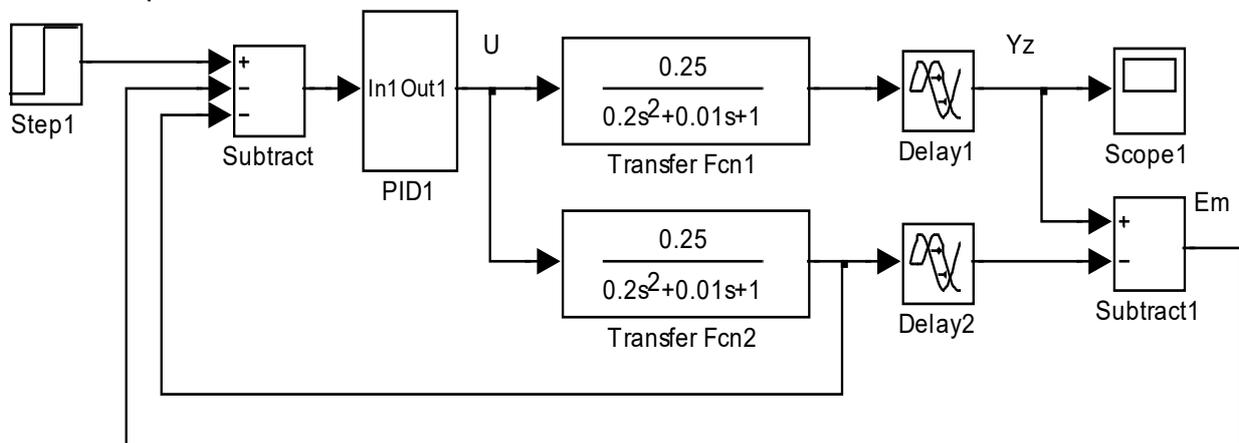


Рис. 4. Блок-схема системы с предиктором

Однако, как показывает рис. 5, качество работы системы быстро ухудшается, если  $\text{Delay1} \neq \text{Delay2}$ .

Таким образом, классический предиктор Смита неработоспособен при наличии переменной задержки на выходе системы. Эта особенность требует модификации схемы предиктора Смита. Одним из перспективных вариантов здесь является использование искусственных нейронных сетей и мультимодельных систем [3].

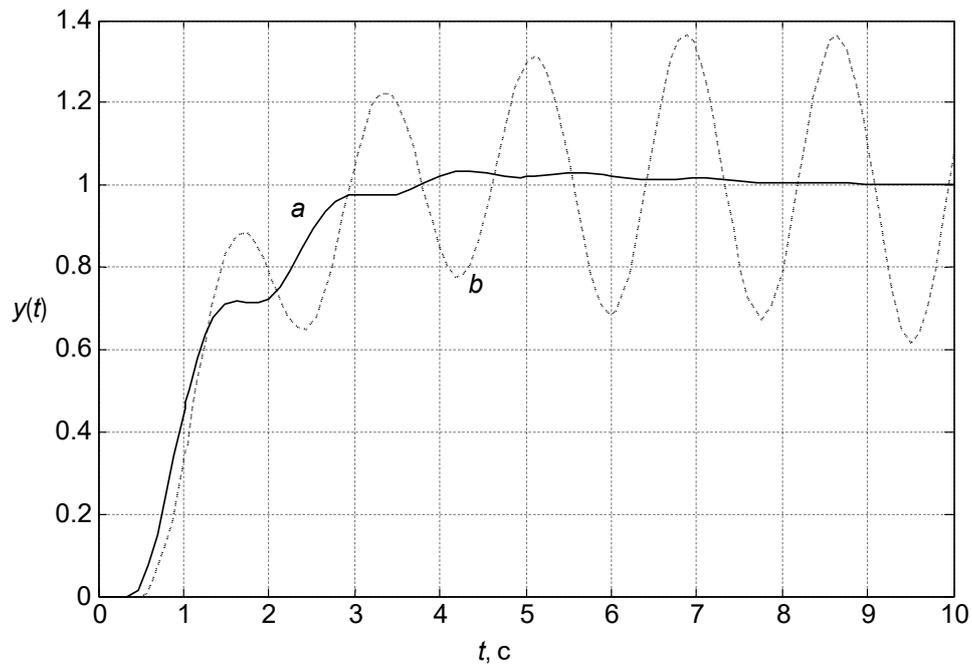


Рис. 5. Переходные процессы в схеме с предиктором:  
а)  $Delay1 = 0,2$  с,  $Delay2 = 0,38$  с; б)  $Delay1 = 0,2$  с,  $Delay2 = 0,5$  с

### Биографический список

1. Smith O. J. M. Close Control of Loops with Dead Time // Chemical Engineering Progress. 1957. Vol. 53. P. 217–235.
2. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. М.: Машиностроение, 1973. 328 с.
3. Бураков М. В., Шишлаков В. Ф. Модифицированный предиктор Смита для объекта с переменной задержкой // Тр. СПИИРАН. 2017. Вып. 2(51). С. 60–77.

Институт инновационных технологий в электромеханике и робототехнике ГУАП проводит активную профориентационную деятельность среди старшеклассников – будущих абитуриентов ГУАП. Начиная с 2015 года, в институте работает Малый факультет, слушатели которого знакомятся с основными направлениями деятельности института, особенностями обучения, принципами построения современных систем управления, робототехнических систем и комплексов на их основе. Лекционные занятия сопровождаются увлекательными экскурсиями, в ходе которых ребята ставят эксперименты и наблюдают за физическими явлениями. Для школьников, интересующихся робототехникой, есть замечательная возможность познакомиться с современными учебно-промышленными робототехническими исследовательскими комплексами – представителем нового поколения промышленных роботов *Baxter*, роботом гуманоидного типа *DarWin*, промышленными роботами-манипуляторами, мобильными роботами. В ходе обучения учащиеся посещают учебные научно-исследовательские лаборатории, оснащенные современным оборудованием, позволяющим выполнять работы по большому спектру дисциплин всех направлений подготовки института.

На базе института уже в третий раз состоялся интеллектуальный конкурс «Энергия успеха», участниками которого стали старшеклассники, обучающиеся на Малом факультете института № 3. В этом году конкурс вышел на новый уровень – привлек большее количество участников и расширил свою географию. Проекты представили старшеклассники не только Санкт-Петербурга и Ленинградской области, но и других городов Российской Федерации, а благодаря участнику из г. Кишинева, Молдова, конкурс «Энергия успеха» стал международным.

Члены жюри конкурса отметили высокий уровень подготовки участников, разноплановость докладов, глубину проработки научно-технического материала. Научные руководители конкурсантов, магистранты института № 3, проявили высокую техническую эрудицию и педагогические навыки при подготовке участников. Участники конкурса активно обменивались мнениями, идеями, знаниями.

По результатам конкурса ученики были награждены дипломами различной степени и ценными призами, а лучшие тезисы докладов рекомендованы к публикации в молодежном сборнике докладов «Завалишинские чтения».



УДК 657.6

**Д. Б. Асфар**

ученица 11-го класса ГБОУ гимназии № 52 Санкт-Петербурга

**К. А. Проказов, Р. В. Седов, К. Д. Свешников**

магистранты кафедры программно-целевого управления в приборостроении – научные руководители

## ЭНЕРГОАУДИТ КАК ИНСТРУМЕНТ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Энергосбережение – это уменьшение потребления топлива, тепловой и электрической энергии за счет их наиболее полного и рационального использования. Энергосбережение имеет важное значение для развития мировой экономики и особенно для развития экономики нашей страны. Это обусловлено следующими основными причинами:

1. Постепенное истощение запасов, усложнение добычи и увеличение стоимости природного органического топлива, которое в настоящее время трудно заменить другими, в том числе возобновляемыми источниками энергии.

2. Усложнение экологической ситуации, связанное с увеличением выбросов токсичных и канцерогенных (вызывающих возникновение злокачественных опухолей) продуктов сгорания, а также веществ, разрушающих озоновый слой атмосферы. Выбрасываемые при сжигании топлива в атмосферу вещества и продукты их химических превращений в атмосфере приводят к разрушению озонового слоя, усилению парникового эффекта, появлению кислотных дождей. Существующие методы очистки не могут полностью избавить от негативных последствий выбросов. Одновременно загрязняются и поверхностные водоемы, как за счет их нагрева, так и при промывке продуктов сгорания.

Актуальность энергосбережения для России.

1. По климатическим условиям затраты топлива как на обеспечение населения теплом, так и на выпуск продукции в России наиболее высоки. Россия – самая холодная в мире страна. Здесь самый продолжительный отопительный сезон и самая высокая доля населения, проживающая в областях, где наблюдается отрицательная среднегодовая температура. Обогрев, снабжение горячей водой и теплым вентиляционным воздухом каждого жителя России требуют больших затрат топлива.

2. По сравнению со странами западной Европы и США энергетические ресурсы используются недостаточно эффективно. По различным оценкам, доля энергии, которую можно сэкономить, составляет от 30 до 40% топливно-энергетического баланса страны.

3. Месторождения топлива в России сосредоточены в отдаленных и труднодоступных местах (Западная Сибирь, Заполярье). В результате затраты на добычу топлива, его транспортировку, на освоение новых месторождений выше, чем в других нефтедобывающих странах: странах арабского Востока, Мексике, Венесуэле, Брунее. В настоящее время затраты на экономию энергии в местах ее использования в 4–6 раз ниже, чем на добычу первичного топлива.

4. Старение и уменьшение эффективности энергетического оборудования: электростанций, котельных, тепловых сетей, теплоиспользующих установок. Недостаток средств на строительство новых энергетических объектов.

Основным регламентирующим законом является Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законода-

тельные акты Российской Федерации». Энергоаудит проводится в добровольном порядке, за исключением случаев, перечисленных в п. 1 ст. 16 Федерального закона N 261-ФЗ, когда названное обследование носит обязательный характер.

Закон об энергосбережении и энергоэффективности предусматривает энергетическое обследование следующих видов сооружений:

- энергетическое обследование административных зданий;
- обследование и аудит сооружений и промышленных объектов;
- энергетическое обследование многоквартирных домов;
- энергоаудит жилых и общественных зданий.

Проведение энергетического обследования осуществляют центры энергоэффективности, являющиеся членами СРО в области энергетического обследования.

Цели проведения энергетического обследования (энергоаудита):

- получение объективных данных об объеме потребляемых энергоресурсов и финансовых затрат на них;
- определение показателей энергетической эффективности;
- определение потенциала энергосбережения;
- составление энергетического паспорта;
- разработка мероприятий и технических решений по энергосбережению по результатам энергоаудита объектов;
- разработка алгоритма системы мониторинга потребления энергоресурсов и энергоменеджмента по результатам энергетического обследования предприятия.

Основными задачами энергетического обследования логично считать те, которые преследуют основную цель энергетического обследования – экономию средств предприятия за счет энергосбережения. Это задачи любого энергоаудита, их последовательное решение, основа разработки эффективных мероприятий энергосбережения. К ним можно отнести следующие задачи.

1. Оценку доли затрат и возможности снижения издержек предприятия по каждому из направлений энергопользования.
2. Определение приоритетных направлений энергосбережения.
3. Оценку потенциала энергосбережения по выбранным направлениям.
4. Экспертизу энергетической эффективности проводимых или планируемых на предприятии инноваций.
5. Разработку эффективных мероприятий для реализации выявленного потенциала энергосбережения.
6. Разработку предложений по организации системы энергоменеджмента на предприятии.
7. Составление программы энергосбережения.

Именно энергоаудит позволяет судить об энергоэффективности, сокращении издержек на энергетические ресурсы, энергосбережении и внедрении новейших эффективных энергосберегающих технологий. Этапы проведения энергоаудита:

- подготовительный этап;
- документальный энергоаудит;
- инструментальный энергоаудит;
- формирование результатов энергоаудита;
- согласование результатов выполненных работ с заказчиком;
- проведение экспертизы договорной и отчетной документации;
- регистрация паспорта в СРО с получением номера энергетического паспорта;

– передача заказчику документации по итогам проведенного энергетического обследования;

– декларирование и передача копии энергетического паспорта в МинЭнерго.

Проведение энергоаудита преследует такую главную цель, как анализ эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и разработка на его основе эффективных мер для снижения затрат организации. Проведение энергоаудита позволяет решить ряд задач, которые могут быть выполнены, лишь если за дело берутся высококвалифицированные эксперты. В итоге энергоаудит предприятий обеспечивает компанию качественными, безопасными решениями по энергосбережению, кроме того, энергоаудит повышает рациональность использования энергетических ресурсов с учетом технологических вкупе с производственными особенностями отдельно взятого предприятия.

Было бы ошибочным полагать, что энергоаудит и обязательное энергетическое обследование – синонимы, и, хотя разница между ними не велика, следует отметить, что обследования для предприятий, годовое потребление энергоресурсов которых составляет порядка 6 тысяч тонн топлива в год – обязательны. Что же касается такой процедуры, как энергоаудит, то это добровольная процедура, в которой прежде всего заинтересованы сами владельцы компаний.

Можно выделить такие виды энергетического аудита, как:

– предпусковой и предэксплуатационный обязательный энергоаудит;

– периодический (повторный) энергоаудит;

– внеочередной энергоаудит;

– локальный энергоаудит.

Прежде чем вводить в эксплуатацию топливо и энергопотребляющее оборудование, его следует подвергнуть предпусковому обследованию на предмет соответствия монтажа требованиям государственных стандартов по энергоэффективности.

Предприятие, на котором было проведено энергетическое обследование, получает массу преимуществ:

– сокращение удельного потребления энергии;

– снижение установленной мощности за счет внедрения энергосберегающих технологий;

– минимизацию потери энергоресурсов до уровня, обоснованного с экономической точки зрения;

– обоснование и защиту тарифов для предприятий, которые осуществляют регулируемые виды деятельности.

Энергоэффективность является одним из определяющих факторов развития предприятия. В настоящее время интерес к энергоаудиту значительно возрос как на предприятиях, так и в частном секторе (частные дома и квартиры). Наиболее актуально для загородных частных домов, где потребление энергии значительное.

На предприятиях самого разного профиля все больше задумываются над сокращением издержек и в первую очередь затрат на энергоресурсы. Опыт энергетических обследований предприятий показывает, что неоправданные потери приносят многомиллионные убытки. Даже незначительное снижение энергозатрат приводит к уменьшению энергетической составляющей в себестоимости продукции. А это позволяет предприятиям увеличить свою прибыль.

Проведение энергоаудита позволяет получить объективную информацию по текущему потреблению энергетических ресурсов, разработать мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, оценить эффективность использования энергоресурсов и провести количественные оценки потенциала сбережения энергоресурсов. Результатом проведения энергоаудита

может стать внедрение энергосберегающих технологий, что приведет к сокращению финансовых затрат как на предприятиях, так и в домохозяйствах. А также внести значительный вклад в улучшение экологической и природной составляющей ресурсов страны.

### **Библиографический список**

1. Национальный план действий в области энергоэффективности на 2013–2015 гг. Утвержден Постановлением Правительства № 113 от 7 февраля 2013 г.
2. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ».
3. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gbuse.ru> (центр энергосбережения).
4. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gisee.ru> (государственная информационная система).
5. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energsovet.ru>.

### **УДК 620.97**

***Д. Я. Бачурин***

ученик 11-го класса ГБОУ СОШ № 201 Санкт-Петербурга

***А. Р. Кашаев***

магистрант кафедры программно-целевого управления в приборостроении – научный руководитель

## **ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА**

Потребление энергии увеличивается во всем мире, и наша страна здесь не исключение. Но ресурсы планеты начинают истощаться, и все большую тревогу вызывают экологические проблемы. Вот почему постоянно растет интерес к нетрадиционным, экологически чистым источникам энергии – ветру, солнцу, волнам.

Ветроэнергетика – отрасль энергетики, специализирующаяся на преобразовании кинетической энергии воздушных масс в атмосфере в электрическую, механическую, тепловую или в любую другую форму энергии, удобную для использования в народном хозяйстве. Такое преобразование может осуществляться такими агрегатами, как ветрогенератор (для получения электрической энергии), ветряная мельница (для преобразования в механическую энергию), парус (для использования в транспорте) и другими (рис. 1).

Острую нехватку энергии испытывают фермеры и садоводы. Отключения электричества из-за природных катаклизмов, кризиса неплатежей и просто краж проводов становятся, увы, привычным явлением. Если к тому же вспомнить о том, что, по данным МЧС, 80% высоковольтных линий электропередачи в стране предельно изношены, ситуация представится совсем невеселой. А мы уже давно привыкли жить в освещенных домах, смотреть телевизор, пользоваться холодильником, компьютером и прочими бытовыми приборами, поэтому даже кратковременное отключение электроэнергии воспринимаем как маленькую, но все же самую настоящую катастрофу.

Строительство новых линий электропередач для снабжения отдаленных изолированных потребителей ведется крайне медленно из-за хронической нехватки средств, а дизельные генераторы часто функционируют неэффективно, да к тому

же они требуют регулярного и квалифицированного обслуживания, моторное топливо стоит все дороже, его доставка недостаточно надежна и экономична [1].



Рис. 1. Ветрогенератор

Между тем подсчитана средняя «энергетическая корзина» сельского жителя, к которым по меньшей мере в летний период вполне можно причислить и владельцев дачных коттеджей. Она составляет 115 киловатт-часов в месяц. Это освещение, радио, телевидение, бытовой холодильник, электробритва, кипятильник, мелкий бытовой электроинструмент, компьютер, огородный насос. Не забудем и то, что за последнее время появилось много бытовой техники, работающей от встроенных аккумуляторов, которые необходимо периодически подзаряжать: фонарики, мобильные телефоны, те же электробритвы, электроинструмент и др.

Конечно, зимой энергии потребуется больше – дом нужно отапливать. Но, поскольку традиция печного отопления в России не только не устаревает, но и переживает своеобразное возрождение в виде появления новых конструкций сверхэкономичных печей, а недостатка в дровах нет, дополнительного расхода электричества тут не предвидится. Так где же взять этот самый необходимый минимум? Одна из возможностей – ветроэнергетика малой и сверхмалой мощности (табл.).

Таблица

Средняя нагрузка сельского жителя

Нагрузка	Количество–мощность (Вт)– час–дни	Энергия, кВт ч
Освещение	2–60–5–30	18
Радио	3–10–5–30	1,5
Телевизор	1–70–5–30	10,5
Холодильник	1–150/3–24–30	36
Стиральная машина	1–300–1–30	9
Электроинструмент	1–1000–0,5–30	15
Компьютер	1–70–2–30	4,2
Водяной насос	1–300–2–30	18
Всего		115,2

Современные ветроэнергетические установки делятся на два класса: мощные, в сотни тысяч киловатт, называются сетевыми потому, что при безветрии обеспечение потребителя энергией идет из сети; и автономные, работающие в паре с аккумулятором. Как правило, мощность автономных установок не превышает 5–10 кВт. Они называются ветроэлектрическими установками малой мощности (ВЭУММ) (рис. 2) [2].

На этот уникальный класс ветроэлектрических установок обратил внимание немецкий ученый и практик Хайнц Шульц. Он и ввел термин *Kleine Windkraftanlage* – «малые ветроэнергетические установки».

Считается, что в областях со среднегодовыми скоростями ветра менее 4 м/с использование энергии ветра невыгодно. Однако это утверждение не распространяется на малые легкоразгоняемые ветросиловые установки для зарядки батарей и многоступенчатые установки для водоподъема. Заселение американских и австралийских внутренних территорий, где большинство областей имеют среднегодовые скорости ветра менее 2 м/с, было бы без них невозможно.

ВЭУММ просты и дешевы в монтаже, эксплуатации и ремонте, экологичны, не требуют при работе практически никакого обслуживания, периодической подстройки и др. Пара ветродвигатель-генератор вполне обходится без редуктора, что еще более упрощает и удешевляет конструкцию, повышает ее надежность.

Таким комплексным набором важнейших свойств не обладает ни один класс нетрадиционных энергетических установок. Причем энергоснабжение они могут обеспечить в регионах со средней скоростью ветра всего 3–5 м/с. Фактически обладатель ВЭУММ приобретает почти полную независимость как от традиционных производителей энергии, так и от природных явлений.

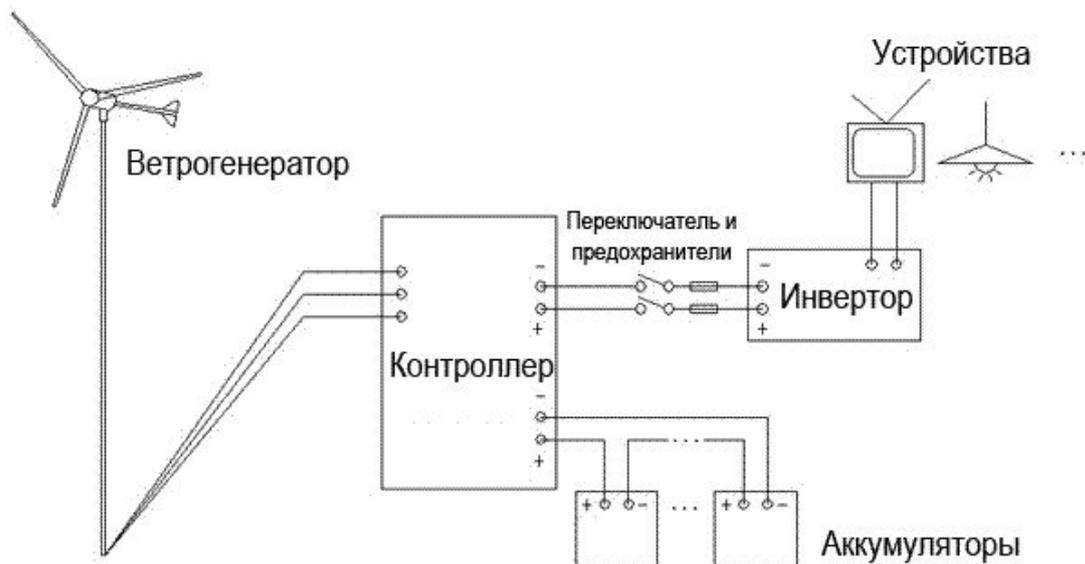


Рис. 2. Схема ветрогенератора

По сравнению с Европой и США ветроустановок в нашей стране выпускается намного меньше. По конструктивным признакам выпускаемые установки делятся на две группы. К первой относятся установки мощностью до 1000 Вт. В качестве примера можно привести семейство установок, выпускаемых санкт-петербургским предприятием ФГУП ЦНИИ «Электроприбор». Это мобильные устройства с трехлопастным ветровым колесом диаметром 1,5 или 2,2 метра, монтаж которых настолько прост, что справиться с ним потребитель способен самостоятельно. В упакованном виде установка (без аккумулятора) размещается в двух ящиках общей массой 50 кг.

Установка имеет оригинальную флюгерную систему, которая постоянно ориентирует ветроколесо на ветер и одновременно защищает устройство от слишком большого ветрового давления. Как всякий обычный ветряк, в горизонтальной плоскости флюгер под действием ветра способен поворачиваться в обе стороны на несколько оборотов. Когда ветер прекращается, специальная пружина возвращает его в исходное положение, не позволяя закручиваться кабелю, с помощью которого осуществляется съём энергии. Кроме того, генератор вместе с ветровым колесом способен поворачиваться и в вертикальной плоскости. Если ветер становится слишком силен и угрожает повредить установку, колесо с генератором поворачивается вокруг горизонтальной оси, оптимизируя ветровой напор, вплоть до угла  $90^\circ$ , когда лопасти встают параллельно воздушному потоку.

Установки второй группы (УВЭ 1000 и УВЭ 1500) близки к стационарным. Пятилопастное ветроколесо диаметром 3,3 м монтируется на сборной мачте из труб со стальными растяжками. Мачта требует устройства фундамента и специальных приспособлений для монтажа и демонтажа. Для защиты от сильных ветров используется иное решение. Генератор установлен на поворотном подшипнике несимметрично. Когда ветровое давление усиливается, корпус генератора начинает парусить, разворачивая ветровое колесо в горизонтальной плоскости. Ветер стихает – и пружина флюгера возвращает колесо в прежнее положение.

Переход в энергетическую область ВЭУ средней мощности достаточно просто осуществить путем создания энергетических комплексов (ЭК), состоящих из нескольких установок (5–10 единиц). Суммирование мощностей осуществляется на едином аккумуляторе. Хотя такой комплекс не разместить на шести дачных сотках, площадь все же он займет небольшую. Номинальная мощность ЭК может быть доведена до 10–15 кВт, пиковая мощность – до 20–25 кВт, выработка – до 1800 кВт·ч/мес., зато стоимость изготовления снижается в 3–4 раза [3].

Подобный комплекс способен полностью обеспечить энергией крупное фермерское хозяйство или небольшой поселок. Следует отметить, что в этом случае нужно обеспечить резерв мощности в виде дизельной электростанции.

Благодаря своим поистине уникальным эксплуатационным свойствам и техническим характеристикам ВЭУММ способны отнюдь не только на обеспечение быта сельского и дачного дома. Они могут быть альтернативой в решении задачи обеспечения энергией самых разных автономных станций: навигационных, радиорелейных, метеорологических, обслуживающих нефтегазопроводы и др.

Постепенно многие станции переводились на автоматический режим, но проблема их энергообеспечения до сих пор стоит достаточно остро. Требуется не только снизить затраты на их содержание и обслуживание, но и гарантировать надежность работы. Для этих целей подходят ВЭУММ. Они просты и надежны при изготовлении, эксплуатации, транспортировке, монтаже, ремонте. Наконец, по сравнению с любым иным источником энергии, чрезвычайно дешевы [4].

В статье представлена одна из возможностей решения проблемы, связанной с энергообеспечением сельского хозяйства или частных владений, за счет применения ветроэнергетических установок. Такие установки могут стать альтернативой традиционным способам энергоснабжения указанных объектов.

### Библиографический список

1. Солоницын А. Второе пришествие ветроэнергетики // Наука и жизнь. 2004. № 3.
2. Фатеев Е. М. Ветро двигатели и ветроустановки. М.: ОГИЗ, 1947.

3. Безруких П. П., Дегтярев В. В. и др. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) М.: ИАЦ «Энергия», 2007.

4. Елистратов В. В. Использование возобновляемой энергии. СПб.: Издательство политехнического университета, 2008.

#### УДК 620.62-1

**Е. С. Бобина**

ученица 11-го класса ГБОУ СОШ № 207 Санкт-Петербурга

**А. А. Ильин**

магистр кафедры управления в технических системах – научный руководитель

### ТРАНСПОРТ НА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Солнечная энергетика – направление альтернативной энергетике, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Солнечная энергетика использует возобновляемые источники энергии и является «экологически чистой», то есть не производящей вредных отходов во время использования.

Достоинства:

- перспективность, доступность и неисчерпаемость источника энергии в условиях постоянного роста цен на традиционные виды энергоносителей;
- теоретически полная безопасность для окружающей среды.

Недостатки:

- зависимость от погоды и времени суток;
- сезонность в средних широтах и несовпадение периодов выработки энергии и потребности в энергии. Нерентабельность в высоких широтах, необходимость аккумуляции энергии;
- высокая стоимость конструкции, связанная с применением редких элементов (к примеру, индия и теллура);
- необходимость использования больших площадей;
- сложность производства и утилизации самих фотоэлементов в связи с содержанием в них ядовитых веществ, например свинца, кадмия, галлия, мышьяка и т. д. [1].

#### Перспективы солнечной электроэнергетики

В мире ежегодный прирост энергетике за последние пять лет составлял в среднем около 50%. Полученная на основе солнечного излучения энергия гипотетически сможет к 2050 году обеспечить 20–25% потребностей человечества в электричестве и сократит выбросы углекислоты.

Из-за своей низкой эффективности, которая в лучшем случае достигает 24%, солнечные батареи сильно нагреваются. Повышение температуры элемента на 10° приводит к снижению эффективности почти в два раза. Активные элементы систем охлаждения потребляют значительное количество энергии, требуют периодического обслуживания и снижают надежность всей системы.

На данный конкретный момент использование солнечной энергии не очень развито, ибо КПД современных солнечных батарей еще слишком низок, чтобы их можно было полноценно использовать для питания небольших электромобилей,

а изготовление фотоэлементов стоит дорого. Зато они уже активно используются в таком легком транспорте, как велосипеды или скутеры, как дополнительный источник подзарядки аккумулятора (рис. 1), а также снабжения жилища электро-энергией.



Рис. 1. Солнечная батарея в салоне машины

### Конструкция световых панелей

Любые солнечные батареи, какой бы фирмы производителя они ни были, имеют одинаковое строение. Солнечные модули являются неотъемлемым компонентом солнечной батареи, а точнее, это и есть элементы одной установки. Каждый солнечный модуль состоит из фотоэлементов (электронный прибор, который преобразует энергию фотонов в электрическую энергию), которые под действием солнечных лучей вырабатывают электрический ток (рис. 2).

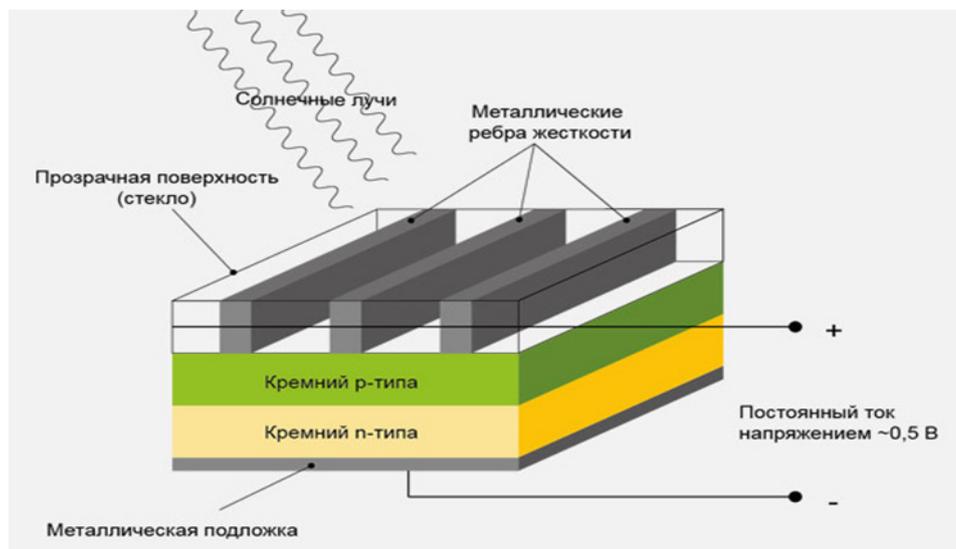
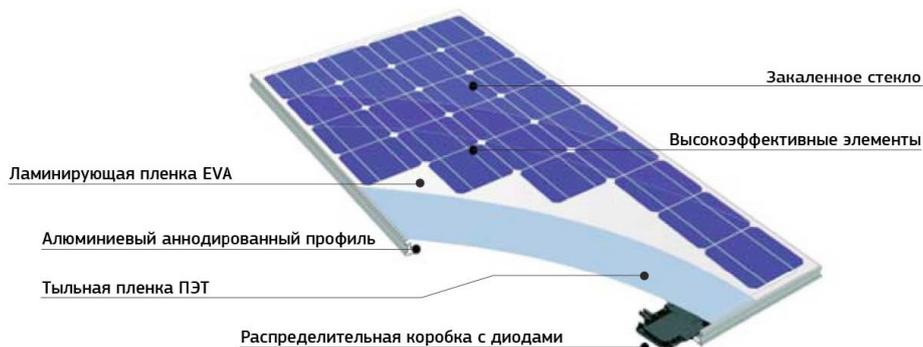


Рис. 2. Схема солнечной батареи

Световые элементы собираются в солнечные модули, из которых составляют батарею необходимого размера и конфигурации. Сами модули расположены между пластинами этиленвинилацетатной пленки. Данная пленка герметично закрывает модули, что увеличивает срок службы батареи в целом, за счет предотвращения попадания влаги и пыли внутрь такой камеры. Верхняя часть, обращенная к свету, защищена специальным закаленным стеклом, которое гарантирует идеальное пропускание солнечных лучей и защиту от механических повреждений внутренних элементов батареи (рис. 3) [2].

Международная космическая станция (рис. 4) получает все необходимое электричество из солнечной энергии. Она оснащена восемью солнечными крыльями, каждое из которых покрыто 33 000 фотоэлементов. Они расположены с двух сторон, чтобы можно было накапливать и ту энергию, что поступает напрямую от Солнца, и отраженную от Земли.

В настоящее время все космические станции функционируют исключительно за счет солнечной энергии.



*Рис. 3. Конструкция солнечного модуля*



*Рис. 4. Международная космическая станция*

Самым титулованным солнечным кораблем является судно на солнечных батареях *Turanor Planetsolar*, ставшее первым судном, совершившим кругосветное путешествие в 2012 году. Фотоэлектрические панели покрывают площадь более 500 квадратных метров, и судно способно перевозить команду из 60 человек.

Самолет на солнечной энергии *Solar Impulse* (рис. 5) в 2010 году совершил успешный беспосадочный полет в течение 26 часов. При этом масса аппарата всего 1 600 кг, расчетная скорость не превышает 70 км/ч. На крыльях самолета установлено почти 12 тысяч солнечных батарей, около 400 кг аккумуляторов для электропитания в ночное время и четыре двигателя.



*Рис. 5. Самолет на солнечной энергии Solar Impulse*

Достоинства таких самолетов:

- теоретический бесконечный запас хода;
- отсутствие вредных выбросов в атмосферу;
- отсутствие угрозы возгорания от авиационного топлива;
- экономия на жидком топливе;
- снижение массы самолета за счет отсутствия жидкого топлива.

Применение солнечных технологий позволит значительно снизить стоимость перелетов. К сожалению, мощности нынешних модулей недостаточно для поднятия в воздух тяжелых пассажирских самолетов.

### Электрокары

Первый самоходный автомобиль на солнечных батареях появился более 50 лет назад в Америке. Компания General Motors впервые представила свой уникальный образец автомобиля. Спустя 30 лет уже была выпущена первая модель, которая могла развить скорость порядка 100 км/ч.

Серийное производство самого известного электромобиля Tesla Motors (рис. 6) стартовало в 2012 году в США. Наиболее дорогой электромобиль из серии Tesla Model S обладает существенным запасом хода более 400 км. Он может разогнаться до 100 км в час чуть более чем за 4 секунды.



Рис. 6. Электромобиль Tesla

Примечательно, что Tesla Model S оснащается очень мощным электродвигателем переменного тока, который ничем не уступает своим бензиновым конкурентам. Его мощность составляет 362 лошадиные силы. Сам аккумулятор состоит из 16 отдельных блоков, которые в совокупности составляют более 6 тысяч пальчиковых батарей.

Помощью в будущей конкуренции служат постоянные разработки новых материалов, применяемых в батареях. Например, последние разработки позволяют не устанавливать плоские солнечные батареи на крышу авто. Уже разработаны батареи, которые могут использоваться в качестве тонировки на автомобилях, то есть быть незаметными для обывателя.

### Почему возможен прорыв?

Цена на солнечные батареи за последние 30 лет уменьшилась в 135 раз, а КПД увеличился. Одно из последних достижений компании BOEING – в ее дочерней фирме разработаны ячейки с коэффициентом полезного действия 30%. Как только удастся достигнуть 50%, эксплуатация авто на солнечных батареях станет экономически выгодна. Наряду с этим растет емкость и уменьшается вес аккумуляторов. Солнечная энергия на сегодняшний день единственный источник энергии, который может в теории покрыть растущие потребности людей в электричестве. Ни один из существующих ныне источников энергии на земле не может сравниться своими будущими перспективами с этим уникальным явлением [3].

### Библиографический список

1. Материал из «Википедии»: Солнечная энергетика [Электронный ресурс]. [URL]: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная\\_энергетика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_энергетика).

2. Пополов А. С. Солнечный транспорт. М., 1996. 116 с.
3. [Электронный ресурс]. URL: <http://ekobatarei.ru/transport>.

УДК 620.97

**А. Ю. Власов**

ученик 11-го класса лицея при СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

## РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Что нужно для создания электротранспорта? Электрический ток и электродвигатель. В 1800 году Алессандро Вольта создает источник тока – «вольтов столб» (рис. 1) – химический источник тока, состоявший из медных и цинковых пластин, разделенных сукном, которое было пропитано кислотой. А в 1821 году Майклом Фарадеем проведен опыт, в котором был показан принцип преобразования электрической энергии в механическую. По его опыту было создано колесо Берлоу, но оно было непригодно для использования в качестве электродвигателя. Уже в 1834 году прусским ученым Борисом Якоби был создан первый в мире практически пригодный для использования электродвигатель с вращающимся якорем (рис. 2). С этого момента можно начинать задумывать создание электромашины, но первый патент на создание электромобиля был выдан в 1799 году в Великобритании за год до создания Вольтова столба.

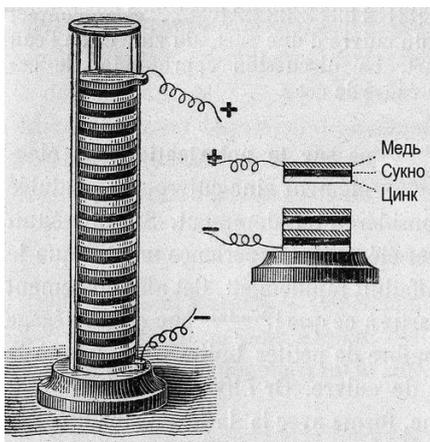


Рис. 1. Вольтов столб

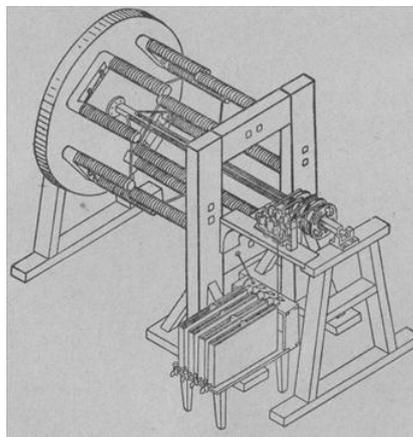


Рис. 2. Электродвигатель Якоби

Первые электромобили начинают появляться в 30-х годах XIX века. Самый первый электромобиль был построен шотландцем Робертом Андерсоном (точная дата не известна, но было это до 1835 года). В 1842 шотландцы Роберт Дэвидсон и Томас Дэвенпорт построили машины, способные перевозить людей. Электродвигатель питался от огромных аккумуляторов, представлявших из себя огромные ванны с кислотой.

Толчком в развитии электромобилей стало изобретение французом Гастоном Планте свинцово-кислотного аккумулятора в 1859 году. Это была перезаряжаемая батарея, в которой не надо было менять цинковые пластины, которые растворялись.

В 1881 году в Германии появляется первый трамвайный маршрут с электрическим трамваем, с него начинается коммерческое использование электротранспорта. В Санкт-Петербурге система сухопутного трамвайного движения откры-

лась 16(29) сентября в 1907 году. В 1882 году в Германии была открыта первая в мире экспериментальная троллейбусная линия. В России первая троллейбусная линия открылась в Москве в 1933 году.

Первый российский электромобиль был создан в 1889 году Ипполитом Владимировичем Романовым (рис. 3). Его конкурентом был популярный в Европе электромобиль марки «Жанто», созданный в 1881 году во Франции (рис. 4). Также в 1899 году Ипполит Романов создал первый русский электрический омнибус на 17 пассажиров (рис. 5).



Рис. 3. Электромобиль  
И. В. Романова

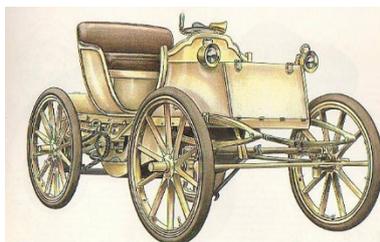


Рис. 4. Электромобиль  
«Жанто»



Рис. 5. Электрический  
омнибус  
И. В. Романова

1 мая 1899 года в Ашере (рядом с Парижем) бельгийский гонщик-изобретатель Камилл Жанатций вывел на старт самодельный электромобиль La Jamais Contente (рис. 6). Электромобиль имел обтекаемую форму кузова и приводился в движение двумя электромоторами мощностью 67 л. с., а также оснащался пневматическими шинами. Это был первый электромобиль, преодолевший отметку в 100 км/ч с результатом в 105,9 км/ч.

В 1907 году американская фирма Detroit Electric начинает производство и продажу серийных электромобилей (рис. 7). Запас хода составлял от 130 до 140 км при скорости 32 км/ч. Электромобиль было проще эксплуатировать и обслуживать, чем бензиновые и паровые машины того времени, но по причинам небольшого запаса хода, отсутствия развитой зарядной инфраструктуры электромобили оказались неэффективны и их вытеснили машины с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) [1].



Рис. 6. Электромобиль  
La Jamais Contente



Рис. 7. Первый серийный электромобиль

Тем не менее разработки в этом направлении продолжались по всему миру, некоторые из них были забыты или не развиты до конца из-за невозможности качественной реализации идеи. Например, в СССР в 1961 году шли разработки грузового дизель-троллейвоза – ДТУ-10 (рис. 8) грузоподъемностью 10 тонн. Это был КраЗ-219, оснащенный двумя тяговыми электродвигателями по 127 кВт

(172,67 л. с. каждый). Испытывался ДТУ-10 на троллейбусной трассе Симферополь – Ялта протяженностью 84 км [2]. Разработка советских специалистов не получила дальнейшего развития по причине несовершенства аккумуляторов и невостребованности этого проекта. Позже подобная технология стала использоваться на карьерных разработках. 22 июня 2016 года компания Scania открыла электрическую дорогу для грузового электротранспорта на трассе E16 в Швеции. На участке в 2 километра испытываются два грузовика Scania G320, оборудованные специальными пантографами для подзарядки аккумуляторов (рис. 9) [3].



Рис. 8. ДТУ-10



Рис. 9. Специально оборудованный грузовик Scania G320

Также в СССР в 1984 году был создан малогабаритный городской электрогрузовик ВА3-2802 (рис. 10) грузоподъемностью 450–500 кг и запасом хода 130 км при скорости 40 км/ч. Но машины не была серийной, было произведено всего два таких грузовика [4]. В последние годы в Европе стал набирать популярность подобный ВА3-2802 малогабаритный грузовик Goupil Van (рис. 11). Это серийный грузовик с запасом хода 200 км при скорости 40–50 км/ч и грузоподъемностью 1 тонна. Популярен в городах с узкими улочками и запретом на въезд больших дизельных грузовиков из-за экологических ограничений [5].



Рис. 10. ВА3-2802



Рис. 11. Goupil Van

Одним из предшественников электробуса (автобуса на электротяге) был гиروبус. Концепт гиробуса был представлен в 40-х годах XX века швейцарской фирмой Oerlikon (Эрликон) как альтернатива электробуса по причине несовершенных в то время аккумуляторов. Аккумулятором энергии в гиробусе был маховик массой полторы тонны, вращающийся 3000 оборотов в минуту. Таким образом гиروبус запасал не электрическую энергию, а механическую. Для перевода механической энергии в электрическую и ее запаса был установлен трехфазный мотор-генератор. Заряжаться гиروبус мог на остановках при помощи трех коротких выдвижных штанг. Также гиروبус имел электрические тормоза с системой рекуперации энергии, что увеличивало запас хода. Гиروبус мог подзаряжаться от

30 секунд до 3 минут и имел запас хода 6 километров при 55 км/ч. В 60-х от гиробуса отказались, разработки продолжались, но ни к чему не привели. Причинами отказа от гиробуса стал быстрый износ подшипников маховика, частей подвески и неоправданно большие энергозатраты [6].

В 80-х годах был изобретен первый литиевый аккумулятор (литий-ионный и позже литий-полимерный аккумуляторы). Это дало толчок в развитии электромобилей. Сначала этот тип аккумуляторов развивался на гибридных автомобилях. Гибридные автомобили объединили в своей конструкции электромобиль и обычный автомобиль с ДВС (рис. 12). В гибридных машинах ДВС и электромотор являются тяговыми. Также существует транспорт с электромеханической трансмиссией (рис. 13), он, в отличие от гибрида, использует ДВС только в качестве генератора электричества для тягового электромотора.

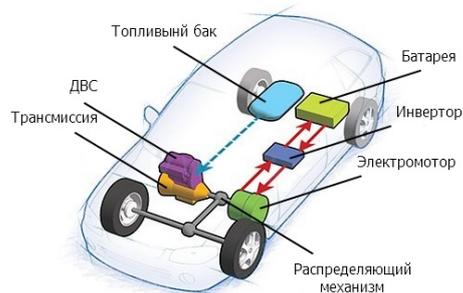


Рис. 12. Схема устройства гибридного автомобиля

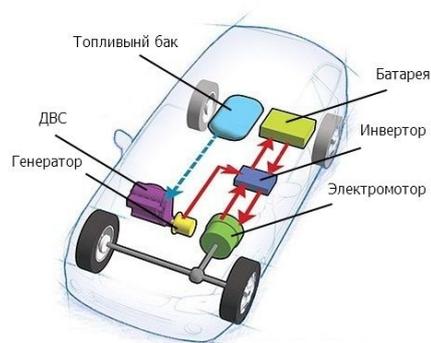


Рис. 13. Схема устройства автомобиля с электромеханической трансмиссией

Первый гибридный электромобиль был создан Фердинандом Порше в 1901 году, на основе его же электромобиля, в конструкции которого впервые было применено электрическое мотор-колесо. Основной целью при создании гибридного автомобиля было уменьшение потребления топлива, и в 1997 году появляется первый серийный и впоследствии ставший одним из самых известных гибридов – Toyota Prius.

Рассвет электромобилей начинается в 2011–2012 годах с выходом в продажу электромобилей BMW i3 (2011) и Tesla Model S (2012). Это приводит к созданию новой крупной инфраструктуры зарядных станций с разными стандартами зарядки. В будущем ожидается, что большинство компаний, производящих электромобили и гибриды, придут к общему стандарту зарядных станций. Сейчас существует 4 уровня зарядных станций, различаются они по мощности. Также можно выделить отдельный вид зарядных станций, использующих индукционную систему беспроводной зарядки, потеря энергии в которой составляет не более 10% [7]. Уже сейчас существуют фирмы, производящие дополнительные модули для электромобилей, позволяющие заряжать стоящую машину бесконтактно, но система быстрой зарядки все равно будет проводной в целях безопасности.

Также в 2012 году появляется Formula E – гонки на специальных болидах с тяговым электромотором. Начинаются гонки Formula E в 2014 году. Уже в 2012 году в международной гоночной серии Le Mans появляется первый гоночный гибрид Audi R18 e-tron quattro.

Развитию электромобилей может сильно поспособствовать нидерландский проект Smart Highway (рис. 14). Smart Highway («умная дорога») это совершенно новый вид инфраструктуры, который может сильно развить популярность электромобилей.

тромобилей, позволив им перемещаться по таким дорогам без остановок для подзарядки. «Умная дорога» оповещает водителя о ситуации впереди, состоянии дорожного покрытия (дорога мокрая, сухая, гололед), но и может подзаряжать движущиеся по ней электромобили при помощи технологии бесконтактной зарядки, проложенной под дорожным покрытием [8].

В марте 2017 года команда исследователей под руководством 94-летнего профессора инженерной школы Кокрелл Техасского университета Джона Гуденафа (рис. 15), одного из создателей литий-ионного (Li-Ion) аккумулятора, разработала первые твердотельные гальванические элементы. Преимуществом твердотельных аккумуляторов перед литий-полимерными (Li-Po) является дешевое производство, отсутствие опасности возгорания, более быстрая зарядка и большее количество циклов перезарядки. По словам ученых, их новые аккумуляторы имеют энергоемкость, которая в три раза превосходит энергоемкость в аккумуляторах Li-Po, и могут работать при температуре ниже  $-60^{\circ}\text{C}$ . Другой особенностью таких аккумуляторов является то, что электролиты из стекла позволяют заменить литий на более дешевый натрий, который может быть получен из морской воды [9]. Если эти аккумуляторы выйдут в массовое производство, они позволят удешевить производство электромобилей. С этими аккумуляторами у электромобилей увеличится запас хода и скорость зарядки, а это именно то, чего не хватает электромобилям, чтобы выиграть в конкурентной борьбе у гибридов и автомобилей с ДВС.



Рис. 14. Дорога Smart Highway



Рис. 15. Джон Гуденаф и его твердотельный аккумулятор

### Библиографический список

1. Материал с сайта Icarbio. Раздел «Когда был создан первый электромобиль» [Электронный ресурс]. URL: <http://icarbio.ru/articles/pervyj-electromobil.html> (дата обращения: 15.04.2017).
2. Материал с сайта «Автоцентр». Раздел «КрАЗ превратили в грузовой троллейбус» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autocentre.ua/news/retro/yak-kraz-peretvorili-na-trolleybus-fotofakt-299934.html?nonamp=1> (дата обращения: 15.04.2017).
3. Материал с сайта «Автоцентр». Раздел «Открыта первая в мире электрическая дорога для грузовиков» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autocentre.ua/kommercheskie/novinka-kommercheskie/vidkrita-persha-u-sviti-elektrichna-doroga-dlya-vantazhivok-299918.html> (дата обращения: 15.04.2017).
4. Материал с сайта «Википедия». Раздел «ВАЗ-2802» [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ВАЗ-2802> (дата обращения: 15.04.2017).
5. Материал с сайта «Мотор». Раздел «Очень маленькие машинки, которые тоже можно назвать грузовиками» [Электронный ресурс]. URL: <https://motor.ru/gallery/2017/04/11/gruzoviki/#1> (дата обращения: 15.04.2017).

6. Материал с сайта «Википедия». Раздел «Гиробус» [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гиробус> (дата обращения: 15.04.2017).

7. Материал с сайта Autogeek. Раздел «Что нужно знать о типах зарядок для электромобилей» [Электронный ресурс]. URL: <http://autogeek.com.ua/chto-nuzhno-znat-o-tipah-zaryadok-dlya-elektromobiley/> (дата обращения: 15.04.2017).

8. Материал с сайта Novate. Раздел «Smart Highway. Интерактивные дороги – новый вид транспортной инфраструктуры» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.novate.ru/blogs/241012/21760/> (дата обращения: 15.04.2017).

9. Материал с сайта Iguides. Раздел «Новый тип батарей от изобретателя литий-ионного аккумулятора» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.iguides.ru/main/gadgets/other\\_vendors/novyy\\_tip\\_batarey\\_ot\\_izobretatelya\\_litiiy\\_ionnogo\\_akkumulyatora/](https://www.iguides.ru/main/gadgets/other_vendors/novyy_tip_batarey_ot_izobretatelya_litiiy_ionnogo_akkumulyatora/).

**УДК 616.72; 616.78**

**С. О. Жеребко**

ученик 11-го класса Вереvской СОШ

**Ю. А. Консон, Ю. С. Пылин**

магистранты кафедры информационных технологий в электромеханике и робототехнике – научные руководители

### **СИМБИОЗ РОБОТА И ЧЕЛОВЕКА В РАБОТЕ НАД ХИРУРГИЧЕСКИМИ ЗАДАЧАМИ**

Люди, работающие в сфере здравоохранения, часто испытывают стресс на работе, так как их рабочая среда предъявляет высокие требования, превышающие способность работников выполнять или контролировать их. Последствия стресса включают невыходы на работу, текучесть кадров, снижение производительности труда, несчастные случаи, грубость и врачебные ошибки [1, 2]. Поэтому происходит реформирование в укреплении материально-технической базы. Однако стремительное обновление медицинского оборудования приводит к дефициту кадров, имеющих нужную квалификацию. Когда человеку предстоит операция, он хочет попасть к хирургу с большим опытом и твердой рукой. Или, возможно, просто к хорошему роботу [3]. Поэтому под руководством детского хирурга Питера Кима и его коллег был придуман и разработан автономный робот-хирург STAR (Smart Tissue Autonomous Robot).

Врач говорит, что, когда он решил создать робота, способного оперировать так же, как люди, или лучше людей, он понял, что такого робота нужно оснастить качественной системой искусственного зрения, высокой точностью движений и невысоким уровнем интеллекта. В данном случае «интеллект» реализован в виде компьютерного алгоритма, основанного на лучших хирургических техниках.

В настоящее время роботы практически не способны действовать в качестве хирургов: они точно делают надрезы, продевают нитки и затягивают их в узлы – однако качество их визуальных систем оставляет желать лучшего. Машины плохо различают границы между внутренними органами, кровеносными сосудами и другими элементами организма человека и поэтому пока применялись только «на подхвате» у живых хирургов. Но робот STAR частично решил эту проблему за счет флуоресценции в ближнем инфракрасном диапазоне и техники пленоптической визуализации – он создает трехмерную модель мира, сопоставляя изображения с нескольких видеокамер. Для максимально точного контроля над своими

движениями STAR применяет манипулятор с восемью степенями свободы, рукой с хирургическим инструментом и датчиком усилия (рис. 1) [4].



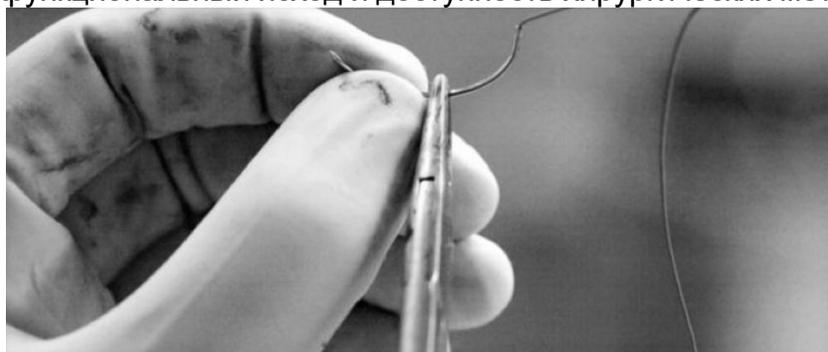
*Рис. 1. Применение манипулятора под наблюдением хирургов*

Пока что STAR нуждается в том, чтобы ткани, которые требуется соединить, были предварительно размечены флуоресцентными маркерами. После этого устройство просит дать инструкции о желательной длине стежков, их типе и натяжении, аналогично швейной машинке. Далее машина выполняет поставленную перед ней задачу. Результаты получились весьма положительными – робот оказался более успешным, чем большинство хирургов-людей.

К сожалению, пока что робот нуждается в дополнительных настройках, в том числе и во время операции. Людям пришлось вмешиваться с корректировками почти 40% времени.

Нынешняя парадигма операций робот-ассистент полностью зависит от механических возможностей отдельного хирурга. Автономная роботизированная хирургия обещает хирургическим операциям повышенную эффективность, безопасность и улучшение доступа к оптимизации хирургических методов. Операции с участием мягких тканей не производятся автономно из-за технологических ограничений, в том числе из-за отсутствия систем технического зрения, которые могут различать и отслеживать целевые ткани в динамике хирургической среды и отсутствия интеллектуальных алгоритмов, которые могут выполнять сложные хирургические задачи.

Вдохновленная лучшей хирургической практикой человека, компьютерная программа генерирует план выполнения сложных хирургических задач на деформируемых мягких тканях, таких, как наложение швов и межкишечных анастомозов [5, 6] (рис. 2). Ким и его команда сравнили показатели анастомоза, в том числе: последовательность и интервал наложения швов прошлых попыток по среднему результату, давление, из-за которого может произойти утечка анастомоза, количество ошибок при извлечении иглы из ткани и время завершения операции. Эти результаты демонстрируют потенциал для автономных роботов, чтобы улучшить эффективность, системность, функциональный исход и доступность хирургических методов.



*Рис. 2. Подготовка шовного материала*

Ким и его команда выбрала именно эту операцию, так как это частое, но довольно сложное оперативное вмешательство. В США каждый год проводится более миллиона подобных операций, и ни одна из них не выполнялась машиной без непосредственного человеческого контроля. По своему характеру операция напоминает ремонт садового шланга: необходимо плотно сшить ткани с равными промежутками между швами, чтобы не было протечки.

Команда STAR говорит, что эта задача технологического прорыва в области медицины выполнена как доказательство того, что автономные роботы могли бы решить трудную задачу хирургии мягких тканей. Несмотря на то что робот не готов взять на себя операцию, Ким надеется, что его технология будет интегрирована в коммерческие устройства в ближайшие несколько лет. Если роботизированные системы, нацеленные на повышение безопасности, смогут показать лучшие результаты лечения, медицина может в итоге развиваться как автомобильная промышленность.

Ким уверен, что STAR в конечном счете станет хирургическим роботом, обладающим достаточной способностью к восприятию и интеллектом, которые необходимы для выполнения любых операций. Особенно учитывая все данные, закладываемые в интеллект STAR, а также применяемые современные вычислительные технологии, такие как параллельная обработка данных.

В заключение стоит сказать, что разработка и усовершенствование данного робота в конечном итоге позволят ему перейти на автономную работу, что даст возможность спасать жизни и предотвращать несчастные случаи.

### **Библиографический список**

1. Горная энергомеханика и автоматика / Ю. А. Консон, Ю. С. Пылин, С. В. Солёный и др. // XVI Междун. науч.-техн. конф. Донецк, 2016.
2. Консон Ю. А. Манипулятор на сборочном автомобильном производстве // Завалишинские чтения, молодежная секция: сб. докл. СПб.: СПбГУАП, 2016. 66 с.
3. Хамидуллина Г. Р. Актуальные проблемы менеджмента качества в здравоохранении // Актуальные проблемы экономики и права. № 2 (26). 2013.
4. Консон Ю. А. Пневматический привод // Завалишинские чтения, молодежная секция: сб. докл. СПб.: СПбГУАП, 2015. 62 с.
5. Атрощенко А. О, Поздняков С. В. История развития роботизированной хирургии и ее место в современной колопроктологии // Злокачественные опухоли. № 1 (8). 2014.
6. Толстокишечный анастомоз и пути его совершенствования / Ф. Ш. Алиев, И. Л. Чернов, А. И. Кечеруков и др. // Практическая колопроктология.

**УДК 524.882**

***Н. А. Карбушеев***

ученик 11-го класса ГБОУ СОШ № 57 Санкт-Петербурга

***М. С. Тамашакин***

магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

## **ЭНЕРГИЯ ЧЕРНЫХ ДЫР**

Черная дыра – область пространства-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть ее не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света, в том числе кванты самого света. Граница этой области называется горизонтом событий, а ее характерный размер – гравитационным ра-

диусом. В простейшем случае сферически симметричной черной дыры он равен радиусу Шварцшильда [1].

Разновидности черных дыр:

1. Сверхмассивные черные дыры (от миллиона до сотен миллионов масс Солнца).
2. Черные дыры звездных масс (от 10 до нескольких десятков масс Солнца).
3. Первичные черные дыры. В настоящее время носят статус гипотезы.
4. Квантовые черные дыры. Предполагается, что в результате ядерных реакций могут возникать устойчивые микроскопические черные дыры, так называемые квантовые черные дыры.

Под напором энергии от сверхмассивной черной дыры образуются пузыри горячего газа, энергия которых равна миллиардам взрывов сверхновых. Одиночная черная дыра размером меньше Солнечной системы может определять судьбу целого скопления галактик.

Черные дыры могут быть двигателями, способными преобразовывать энергию вращения в линейное движение. Падающее вещество передает свое вращение дыре, раскручивая ее внешнюю границу почти до скорости света. Затем магнитное поле дыры формирует из части газа две тонкие струи – джеты (рис.1). Быстро вращающаяся дыра может выбросить четверть падающего на нее газа, проглотив при этом три четверти [2].

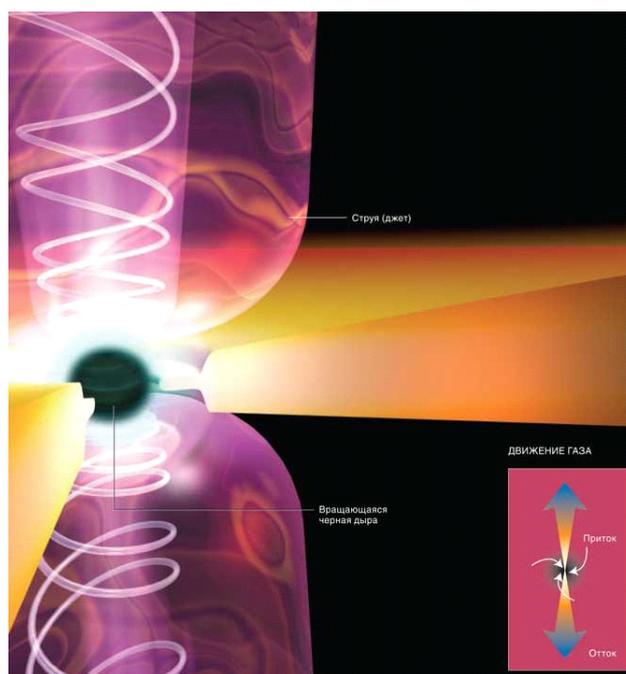


Рис. 1. Джеты

Источниками энергии могут быть два явления. Первое – падение в недра черной дыры притянутой ею материи. Второе – энергия вращения, накопленная дырой.

В 1974 году Стивен Хокинг, используя квантовый подход, предсказал, что черные дыры должны испускать излучение с тепловым спектром. Оно возникает в окрестности горизонта событий из-за взаимодействий вакуумных флуктуаций с гравитационным полем. Вблизи горизонта рождаются и аннигилируют виртуальные пары частиц и античастиц, и возможен случай, когда античастица будет захвачена черной дырой, а частица улетит в бесконечность. Античастица, упавшая в черную дыру, уменьшает ее полную энергию покоя (а значит, массу). Из-за из-

лучения Хокинга (рис. 2) черные дыры теряют массу («испаряются») и, в конце концов, погибают, но время жизни дыр астрономических масштабов на десятки порядков больше нынешнего возраста Вселенной [3].

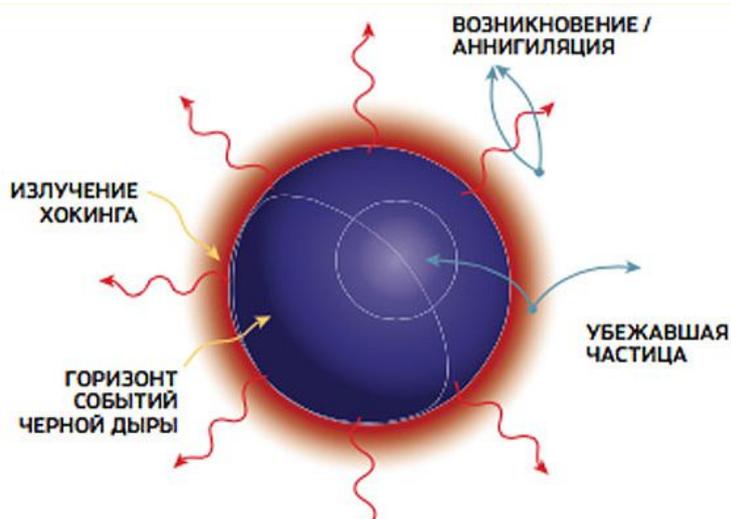


Рис. 2. Излучение Хокинга

Стивен Хокинг считает, что черные дыры могут быть источником огромного количества энергии и однажды люди могут этим воспользоваться, создавая «миниатюрные» версии этих объектов размером с гору. Одной такой мини-черной дыры хватит, чтобы снабдить энергией все электроприборы на планете.

О своем предположении ученый рассказал в рамках радиолектория, организуемого телерадиокомпанией BBC. Как напоминает физик, ранее считалось, что ни энергия, ни материя не могут покидать черную дыру, однако в 1974 году сам Стивен Хокинг опроверг это, обнаружив явление, названное в его честь «излучением Хокинга» – процесс стабильного излучения черными дырами элементарных частиц. Таким образом, как предполагает физик-теоретик, в будущем черные дыры могут стать источником огромного количества энергии.

Впрочем, частицы, излучаемые большими черными дырами, может оказаться невозможно зафиксировать, к тому же темпы излучения окажутся не очень высоки. В то же время черная дыра размером с гору позволит получать рентгеновские и гамма-лучи общей мощностью около 10 миллионов мегаватт [4].

В заключение стоит сказать, что черные дыры – это одно из самых удивительных и загадочных явлений в нашей вселенной, которое нуждается в более подробном изучении. Впервые теория о существовании черной дыры была высказана в 1784 году Джоном Мичеллом. С того момента прошло уже 233 года, и сегодня благодаря ученым мы с уверенностью можем сказать, что энергию, которую излучает черная дыра, в далеком будущем может быть использована на благо нашего вида, а может, и вообще станет единственным спасением.

### Библиографический список

1. Википедия [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Черная\\_дыра](https://ru.wikipedia.org/wiki/Черная_дыра).
2. Tucker W., Tananbaum H., Fabian A. Энергия черных дыр [Электронный ресурс]. URL: <http://modcos.com/articles.php?id=159>.
3. Левин. А. Фотонные рудники // Популярная механика. 2015. №7 (153).
4. Интервью Стивена Хокинга с телерадиокомпанией BBC.

УДК 620.92

**И. А. Кондратьев**

ученик 10-го класса ГБОУ СОШ № 258 Санкт-Петербурга

**А. И. Тер-Матеосянц**

магистрант кафедры управления в технических системах – научный руководитель

### ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ САМОЛЕТА

Проблема с обледенением возникла сразу, как только человек начал покрывать воздушное пространство. Еще в XVIII–XIX веках, когда появились первые аэростаты, изобретатели столкнулись с проблемой: чем выше поднимался аэростат, тем меньше становилась температура. Для поддержания аэростата в воздухе использовался теплый воздух, который получался при сжигании топлива непосредственно под оболочкой, но при пониженных температурах затраты энергии возрастают из-за потерь. И уже тогда начали использовать и искать другие способы, чтобы подняться в воздух. Например – шар наполняли водородом.

В наше время проблема обледенения летательных аппаратов глобальна. Современные ЛА придерживаются высоты 10 000 м, на такой высоте средняя температура воздуха составляет примерно  $50^{\circ}$  ниже 0. Все мы знаем, что облака состоят из конденсации водяного пара. Несложно предположить, что происходит с каплями конденсата при температуре  $-50^{\circ}\text{C}$ . При попадании на обшивку ЛА конденсат оседает и, таким образом, происходит обледенение. Чтобы не допускать этого, было разработано множество противообледенительных систем. Их разработка была необходима, чтобы обеспечить безопасность пассажиров и экипажа.

Рассмотрим несколько видов противообледенительных систем.

Электротепловая ПОС – заложенные под обшивкой летательных аппаратов и в передней кромке воздушных винтов электронагревательные элементы, питание на которые обычно подается не непрерывно, а по программе – во избежание как перегрузки системы электроснабжения, так и перегрева [1]. Достоинствами данной ПОС являются: высокая надежность; возможность питания как переменным, так и постоянным током. Недостатками являются: большие размеры и необходимость использования множества различных датчиков, что увеличивает риск выхода из строя всей системы (рис. 1).



Рис. 1. Электротепловая ПОС

Воздушно-тепловая ПОС работает за счет растапливания льда теплом горячего воздуха, отобранного от двигателей. Чаще всего воздушно-тепловая противообледенительная система применяется для обогрева неподвижных в полете элементов конструкции самолета (оперения, дверей, отсека ВСУ, носков крыла), а также лопаток входных направляющих аппаратов самих двигателей [2]. Достоинствами данной ПОС являются: простота при хорошей эффективности; отсутствие значительных затрат. Недостатком является то, что таким способом можно обогреть лишь ту часть самолета, которая находится после двигателей (рис. 2).



Рис. 2. Воздушно-тепловая ПОС

Химическая ПОС работает на принципе растворения льда химическим реагентом, чаще всего этиловым спиртом, водный раствор которого имеет значительно более низкую температуру замерзания, чем чистая вода. Также перед взлетом в условиях обледенения (близкая точка росы, нулевая или отрицательная температура воздуха) летательный аппарат может быть обработан реагентом со специальной машины, в настоящее время – чаще всего жидкостью «Арктика», смесью этиленгликоля и противокоррозионной присадки. Спиртовое противообледенение достаточно широко применялось в ЛА середины XX века, в более поздних ЛА спирт применялся только для обмыва лобовых стекол как резерв к электрообогреву [3]. Достоинством данной ПОС является отсутствие каких-либо механических и электрических приборов, перегружающих систему питания на борту самолета. Недостатком является необходимость обновления слоя химикатов перед каждым полетом, возможность того, что реагенты будут смыты с корпуса ЛА (рис. 3).



Рис. 3. Химическая ПОС

Механическая ПОС – противообледенительная система, принцип действия которой основан на деформации обшивки, под которую закачан сжатый воздух. При этом образовавшийся лед раскалывается и уносится скоростным напором [4]. Достоинством данной ПОС является то, что лед откалывается большими кусками. Недостатком является возможность деформации обшивки, что приводит к преждевременному износу корпуса ЛА (рис. 4).



Рис. 4. Механическая ПОС

Выше были перечислены основные ПОС, использующиеся на данный момент. Однако существует несколько других экспериментальных проектов ПОС, один из которых – ПОС на основе саморегулирующегося кабеля. Рабочим диапазоном данной противообледенительной системы будет являться температура от  $-60$  до  $+5$  °С. Включение системы будет происходить при определенных показателях датчика температуры и датчика влажности.

Противообледенительная система работает следующим образом. После взлета самолета шасси разгружается, и контакт замыкается, на сигнализатор обледенения подается напряжение питания 27 вольт. Блокировка с помощью реле обжатия шасси с контактами исключает возможность включения нагревательных элементов на земле и их перегрева в условиях отсутствия мощного набегающего воздуха. Датчик температуры и датчик влажности начинают подавать на вход анализатора соответствующие данные, которые им обрабатываются. Если условия полета таковы, что оба датчика показывают опасность обледенения, напряжение питания с источника питания кабеля через пускатель подается на трансформатор и далее на саморегулирующийся кабель. Кабель, нагреваясь, устраняет лед, находящийся в области расположения кабеля, остальной слой сбивается встречным потоком воздуха (рис. 5).

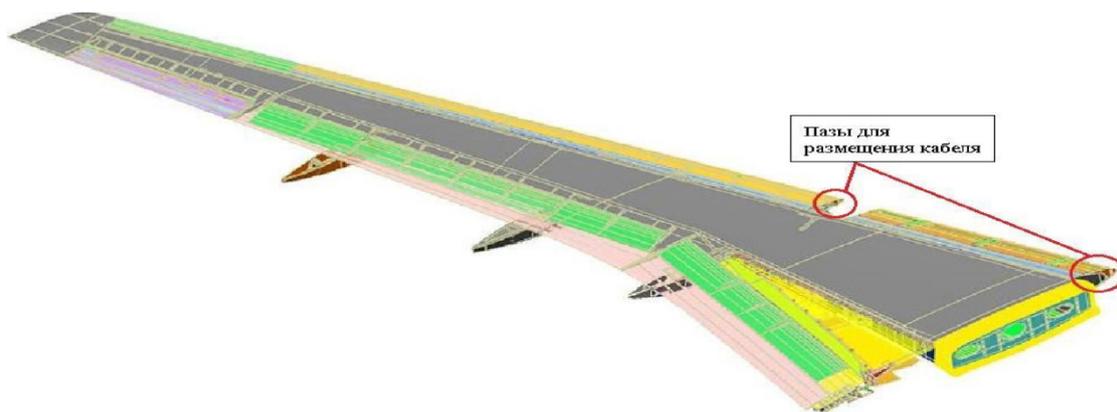


Рис. 5. Разрабатываемая ПОС

**Библиографический список**

1. [Электронный ресурс]. URL: <http://pandia.ru/text/78/314/23473.php>.
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://gendilana.ru/oblodenenie.html>.
3. [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Противообледи-тельная\\_система](https://ru.wikipedia.org/wiki/Противообледи-тельная_система).
4. [Электронный ресурс]. URL: [http://oat.mai.ru/book/glava15/15\\_3\\_1/15\\_3\\_1.html](http://oat.mai.ru/book/glava15/15_3_1/15_3_1.html).

**УДК 621.311*****В. В. Крижановский***

студент КГА ПОУ «Губернаторский авиастроительный колледж» г. Комсомольска-на-Амуре

***П. С. Некоз***

магистрант кафедры программно-целевого управления в приборостроении – научный руководитель

**ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ  
В РОССИИ И ПРОГРАММА ИХ РЕАЛИЗАЦИИ**

В наши дни остро стоят проблемы электроэнергетического комплекса. Предыдущие поколения ученых и техников создали единую энергетическую систему страны, постоянно развивающийся комплекс взаимосвязанных энергетических объектов, которые объединены общим технологическим режимом работы и централизованным оперативным управлением, обеспечивающих надежное и экономичное электроснабжение основной части потребителей. Но в течение последних 15–20 лет существенно ухудшились экономические показатели работы электроэнергетической отрасли. С 1991 г. увеличились относительные потери электроэнергии в электрических сетях, снизилась эффективность использования капитальных вложений, выросла удельная численность персонала в отрасли. Значительно сократился ввод новых и замещающих генерирующих мощностей, а также выросли в последние годы тарифы на электроэнергию. В целом можно констатировать, что после распада СССР существенно снизились экономическая эффективность функционирования и темпы развития электроэнергетики в России [1].

Основными причинами снижения экономической эффективности функционирования электроэнергетики на данный момент являются [2]:

– устаревшие энергетические технологии, используемые в электроэнергетике страны, особенно при генерации электроэнергии на газовых электростанциях и в электросетях низкого напряжения;

– использование морально и физически устаревшего электрооборудования на электростанциях и в электрических сетях. Его доля превышает 40% от всего установленного;

– отсутствие оптимальной системы управления отраслью (в условиях образования многочисленных собственников электроэнергетических объектов), которая бы обеспечивала ту минимизацию затрат на развитие и функционирование электроэнергетики;

– уменьшение строительного и научно-технического потенциала отрасли (также в отраслях отечественного энергомашиностроения и электромашиностроения).

Таким образом, перед российской электроэнергетикой стоят масштабные задачи по повышению производства электроэнергии и росту установленной мощности электростанций, увеличению объема вводов линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше, а также воздушных линий напряжением 330 кВ и выше.

Модернизация электроэнергетики включает не только вывод из эксплуатации физически и морально устаревшего оборудования, но и реконструкцию малоэффективного оборудования, и замену неэффективных технологий на современные, а также создание принципиально нового перспективного оборудования и новых «прорывных» энергетических технологий. Принципиальным влиянием на будущую конфигурацию ЕЭС России станет введение новых технологий, таких как:

- проводники с использованием композиционных материалов;
- высокотемпературные сверхпроводниковые материалы и устройства на их основе;
- использование в электросетях недорогих и надежных накопителей электроэнергии разных типов: основной сети, распределительной сети и конечных потребителей. Это позволит отладить графики нагрузок и повысить эффективность использования генерирующих, передающих и распределительных устройств;
- создание распределенной генерации и распределенных интеллектуальных систем управления;
- развитие силовой электроники и создание на ее основе управляемых электрических сетей.

Кроме того, исключительное значение приобретает программа единой национальной электроэнергетической системы страны, с оптимальным сочетанием централизованного энергоснабжения от крупных электростанций с мощными блоками, соединенных высоковольтными магистральными электрическими сетями высокого напряжения, и энергоснабжение потребителей. От локальных энергетических систем с распределенной генерацией и с энергоустановками малой мощности, что в целом обеспечивает надежное энергоснабжение и ведет к снижению тарифов на электроэнергию. Локальные энергосистемы с распределенной генерацией, работающие как на местных ресурсах, так и на нетрадиционных, будут строиться с использованием принципа управляемых энергосистем с автоматическим управлением как производством, так и транспортом, и потреблением электроэнергии и тепла. Автоматизированный учет и управление спросом потребителей будут присутствовать и для крупных потребителей в сочетании с гибкими магистральными электрическими сетями высокого напряжения, позволяющими осуществлять их оптимальное управление в соответствии с имеющимся спросом на электроэнергию, обеспечением требуемой надежности и оптимальными экономическими характеристиками [3].

Программа модернизации электроэнергетики страны разрабатывалась под руководством Энергетического института имени Г. М. Кржижановского практически всеми ведущими научными и проектными институтами отрасли совместно с институтами РАН. Комплекс мер по изменению электроэнергетической ситуации является важной, состоящей из многих этапов главой с названием «Генеральная схема» в плане по развитию электроэнергетики России. Выбор модернизируемых энергоблоков и электростанций производился путем расчетов (надежности, балансовых, технико-экономических и расчетов устойчивости работы сетей) с увязкой выводимых из эксплуатации и модернизируемых мощностей, линий электропередач и показателей надежности энергоснабжения. Упорядочивание реализации мероприятий проводится на базе технологических и технико-экономических расчетов применительно к оптимальному функционированию ЕЭС России. Глав-

ное при этом не нарушить принципы обеспечения требуемой надежности энергоснабжения потребителей [1].

Исходя из вышеприведенного, новые технологии должны создаваться в области не только генерации электроэнергии, но и ее транспорта и распределения, поэтому развитие энергетической науки и технологической базы должно быть комплексным, при этом охватывать всю территорию страны. Следовательно, необходимо сплочение электроэнергетических активов, создание крупных региональных энергокомпаний, отвечающих за надежное и экономичное энергоснабжение регионов и развитие региональных энергосистем, и организация оптимального управления их совместной работой [4].

Первоочередные задачи в отрасли управления заключаются в необходимости [5]:

- реализации программы модернизации и ускоренного развития тепловых электростанций и электрических сетей на базе передовых технологий;
- создания национального технологического центра для разработки новых прорывных технологий производства, транспорта и распределения электроэнергии;
- создания оптимальной структуры управления электроэнергетической отраслью, обеспечивающей минимизацию затрат на ее функционирование и развитие;
- создания системы государственного контроля за обеспечением надежности системы электроснабжения России;
- разработки и принятия системы энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- разработки новых принципов и нормативно-правовой основы для создания современной базы технического регулирования в электроэнергетике.

Отдельно отмечу, что создание системы целостного оптимального управления развитием и функционированием электроэнергетики России необходимо для правильной и продуктивной работы всей системы, иначе введение модернизаций и новые технологии не принесут ожидаемого результата. Развитие электроэнергетики страны на базе передовых технологий производства, передачи и распределения электроэнергии как в процессе осуществления, так и после завершения станет серьезным фундаментом для модернизации и укрепления экономики страны.

Появление научных проектов по созданию и внедрению новых технологий, обеспечивающих приоритетное развитие отечественной электроэнергетики, переведет нас на новый этап ее использования, позволив взглянуть по-новому на вектор развития и эффективности электроэнергетики в стране.

### **Библиографический список**

1. Волков Э. П. Перспективы развития и модернизация электроэнергетики России на условиях повышения энергоэффективности и энергосбережения: доклад ВЭЛК-2011, Энергетический ин-т им. Г. М. Кржижановского (ЭНИН).
2. Волков Э. П. Шишкин А. Н. Перспективы развития и модернизация электроэнергетики России // Известия Российской академии наук. Энергетика 2012.
3. Гзирян В. Н. Электроэнергетика страны, проблемы и перспективы развития: автореф. студ-т. М.: Ин-т приклад. экономики и менеджмента, 2015. 16 с.
4. Волков Э. П. О концепции модернизации электроэнергетики // Электрические станции. № 9. 2010. С. 5–16.
5. Волков Э. П. Проблемы развития электроэнергетики страны: доклад, презентация. Энергетический ин-т им. Г. М. Кржижановского (ЭНИН), 2012.

УДК 519.712

**А. С. Куделин**

ученик 11-го класса Сертоловской СОШ № 1

**АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ**

*Интеллектуальные мультиагентные системы* – одно из перспективных направлений искусственного интеллекта, которое сформировалось на основе результатов исследований в области распределенных компьютерных систем, сетевых технологий решения проблем и параллельных вычислений. В мультиагентных технологиях заложен принцип автономности отдельных частей программы, совместно функционирующих в распределенной системе, где одновременно протекает множество взаимосвязанных процессов. Такие программы называются агентами.

Примерами задач, решаемых с помощью МАС, являются:

- управление информационными потоками и сетями;
- управление воздушным движением;
- поиск информации в интернете;
- коллективное принятие многокритериальных управленческих решений и другие.

Агент – автономный искусственный объект, обычно компьютерная программа, обладающая активным мотивированным поведением и способная к взаимодействию с другими объектами. Каждый агент может принимать сообщения, интерпретировать их содержание и формировать новые сообщения, которые либо передаются в общую базу, либо направляются другим агентам.

Интеллектуальным агентам присущи следующие основные свойства:

- автономность – способность функционировать без вмешательства со стороны своего владельца и осуществлять контроль собственных действий и внутреннего состояния;
- активность – способность к организации и реализации действий;
- общительность – взаимодействие и коммуникация с другими агентами;
- реактивность – адекватное восприятие состояния среды и реакция на его изменение;
- целенаправленность – наличие собственных источников мотивации;
- наличие базовых знаний о себе, о других агентах и об окружающей среде;
- убеждения – переменная часть базовых знаний, меняющихся во времени;
- желания – стремление к определенным состояниям;
- намерения – действия, которые планируются агентом для выполнения своих обязательств и/или желаний;
- обязательства – задачи, которые выполняет один агент по просьбе и/или поручению других агентов.

Иногда к этому списку добавляются другие качества, в том числе:

- правдивость – неспособность к подмене истинной информации заведомо ложной;
- благожелательность – готовность к сотрудничеству с другими агентами в процессе решения собственных задач;
- мобильность – способность агента мигрировать по сети в поисках необходимой информации.

## КОЛЛЕКТИВНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АГЕНТОВ

Для классификации агентных программ используются два основных признака:

- 1) степень представления о внешнем мире;
- 2) способ принятия решения.

Простейшим видом агента является простой рефлексный агент. Подобные агенты выбирают действия на основе текущего восприятия состояния среды, игнорируя всю остальную историю восприятия. Простые рефлексные агенты чрезвычайно просты, но обладают ограниченным интеллектом (рис. 1).

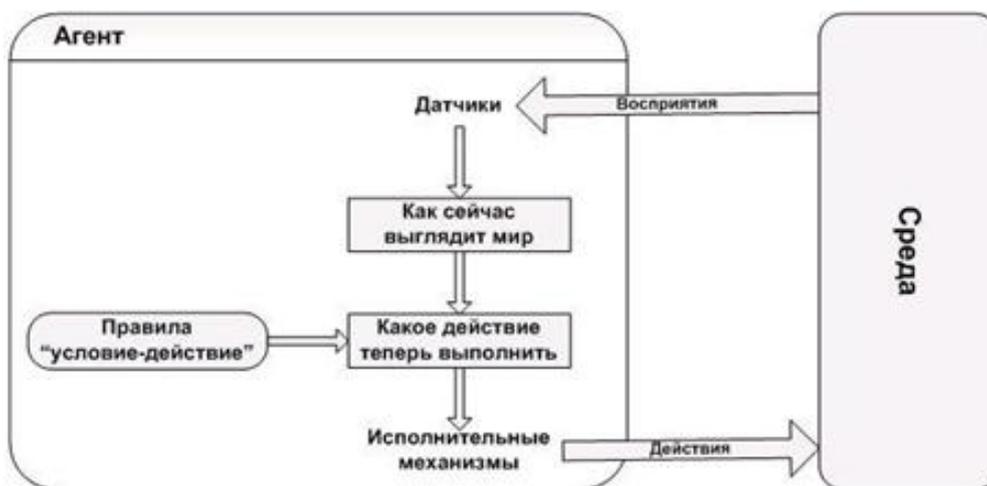


Рис. 1. Структура простого рефлексного агента

Часто имеют место ситуации, когда для принятия решения недостаточно информации только о целях. Во-первых, если имеются конфликтующие цели, такие, что могут быть достигнуты только некоторые из них (например, или скорость, или безопасность) (рис. 2).

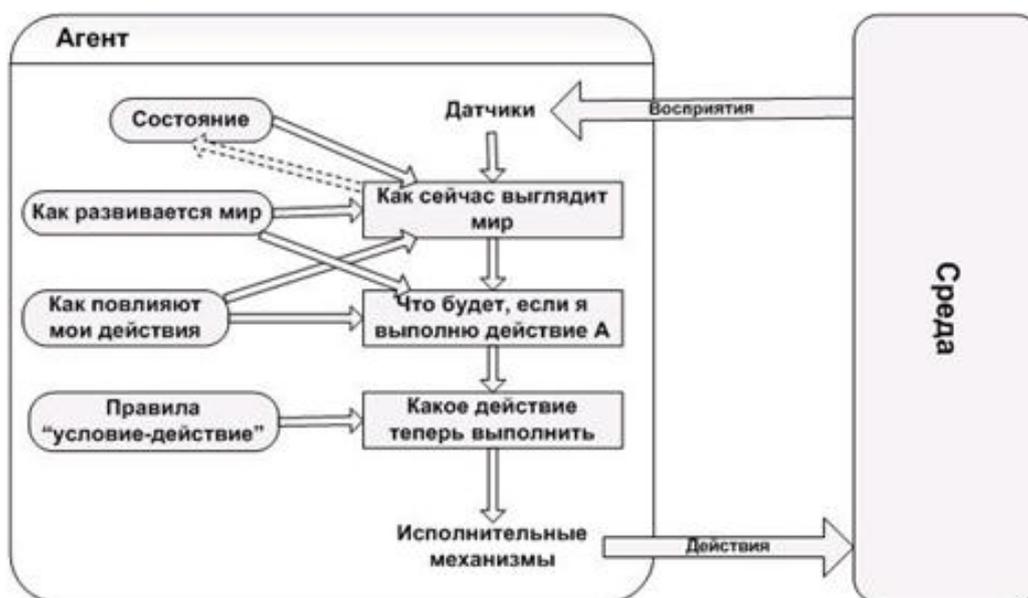


Рис. 2. Структура агента, действующего на основе целей

Во-вторых, если имеется несколько целей, к которым может стремиться агент, но каждая из них может быть достигнута с некоторой вероятностью успеха. В этом случае в программу агента вводится функция полезности, которая ставит

в соответствии состоянием агента вещественное число, имеющее смысл ожидаемой полезности данного состояния. Агент выбирает действие, которое ведет к наилучшей ожидаемой полезности (рис. 3).

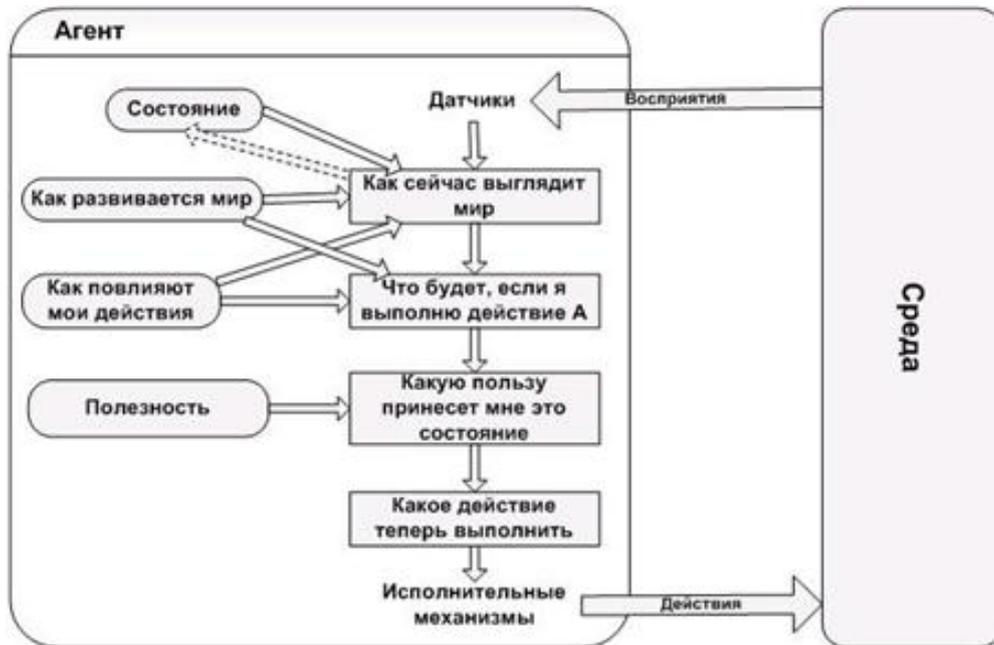


Рис. 3. Структура агента, основанного на модели и на полезности

В особый класс выделяют обучающихся агентов. Обучение позволяет агенту функционировать в первоначально неизвестных ему вариантах среды и становится более компетентным по сравнению с тем, что могли бы позволить только его начальные знания (рис. 4).

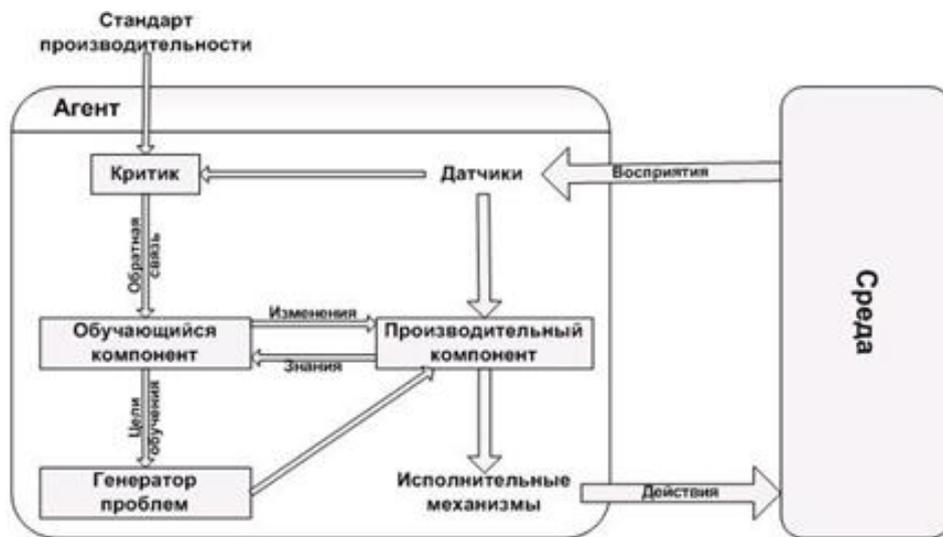


Рис. 4. Структура обучающегося агента

Последним компонентом обучающегося агента является генератор проблем. Его задача состоит в том, чтобы предлагать действия, которые должны привести к получению нового и информативного опыта.

Взаимодействие между агентами – главная черта МАС, отличающая их от других интеллектуальных систем. Главными характеристиками любого взаимодействия являются направленность, избирательность, интенсивность и динамичность.

– направленность – положительная или отрицательная; кооперация или конкуренция; сотрудничество или конфронтация; координация или субординация и т. п.;

– избирательность – взаимодействие происходит между агентами, которые каким-либо образом соответствуют друг другу и поставленной задаче. При этом агенты могут быть связаны в одном отношении и независимы в другом;

– интенсивность – взаимодействие между агентами не сводится к наличию или отсутствию, а характеризуется определенной силой;

– динамичность – наличие, сила и направленность взаимодействий могут изменяться с течением времени.

К базовым видам взаимодействия между агентами относятся:

– кооперация (сотрудничество);

– конкуренция (конфронтация, конфликт);

– компромисс (учет интересов других агентов);

– конформизм (отказ от своих интересов в пользу других);

– уклонение от взаимодействия.

Взаимодействие агентов обусловлено рядом причин, важнейшими среди которых являются следующие.

Совместимость целей (общая цель). Эта причина обычно порождает взаимодействие по типу сотрудничества. При этом следует выяснить, не ведет ли взаимодействие к снижению жизнеспособности отдельных агентов. Несовместимость целей или убеждений обычно порождает конфликты, позитивная роль которых заключается в стимулировании процессов развития.

Общие ресурсы. Ресурсы – любые средства, используемые для достижения агентами своих целей. Ограниченность ресурсов, которые используются многими агентами, обычно порождает конфликты. Одним из самых простых и эффективных способов разрешения подобных конфликтов является право сильного: сильный агент отбирает ресурсы у слабых. Более тонкие способы разрешения конфликтов обеспечивают переговоры, направленные на достижение компромиссов, в которых учитываются интересы всех агентов.

Необходимость привлечения недостающего опыта. Каждый агент обладает ограниченным набором знаний, необходимых ему для реализации собственных и общих целей. В связи с этим ему приходится взаимодействовать с другими агентами. При этом возможны различные ситуации: а) агент способен выполнить задачу самостоятельно; б) агент может обойтись без посторонней помощи, но кооперация позволит решить задачу более эффективным способом; в) агент не способен решить задачу в одиночку. В зависимости от ситуации агенты выбирают тип взаимодействия и могут проявлять разную степень заинтересованности в сотрудничестве.

Взаимные обязательства. Обязательства являются одним из инструментов, позволяющих упорядочить хаотические взаимодействия агентов. Они позволяют предвидеть поведение других агентов, прогнозировать будущее и планировать собственные действия. Можно выделить следующие группы обязательств:

– обязательства перед другими агентами;

– обязательства агента перед группой;

– обязательства группы перед агентом;

– обязательства агента перед самим собой.

Формальное представление целей, обязательств, желаний и намерений, а также всех остальных характеристик составляет основу ментальной модели интеллектуального агента, которая обеспечивает его мотивированное поведение в автономном режиме.

Перечисленные причины в различных сочетаниях могут приводить к разным формам взаимодействия между агентами, например:

- простое сотрудничество, которое предполагает распределение задач, обмен знаниями и т. п. без специальных мер по координации их действий;
- координируемое сотрудничество, когда агенты вынуждены согласовывать свои действия для того, чтобы эффективно использовать ресурсы и собственный опыт;
- непродуктивное сотрудничество, когда агенты совместно используют ресурсы или решают общую проблему, не обмениваясь опытом и мешая друг другу.

### **Координация поведения агентов в мультиагентной системе**

В процессе моделирования коллективной работы агентов возникает множество проблем:

- распознавание необходимости кооперации;
- выбор подходящих партнеров;
- возможность учета интересов партнеров;
- организация переговоров о совместных действиях;
- формирование планов совместных действий;
- синхронизация совместных действий;
- декомпозиция задач и разделение обязанностей;
- выявление конфликтующих целей;
- конкуренция за совместные ресурсы;
- формирование правил поведения в коллективе;
- обучение поведению в коллективе и т. д.

Особенностью коллективного поведения агентов является то, что их взаимодействие в процессе решения частных задач (или одной общей) порождает новое качество решения этих задач. При этом в моделях координации поведения агентов используются следующие основные идеи:

1. Отказ от поиска наилучшего решения в пользу «хорошего», что приводит к переходу от процедуры строгой оптимизации к поиску приемлемого компромисса, реализующего тот или иной принцип координации.

2. Использование самоорганизации в качестве устойчивого механизма формирования коллективного поведения.

3. Применение рандомизации (случайно-вероятностного способа выбора решений) в механизмах координации для разрешения конфликтов.

4. Реализация рефлексивного управления, сущность которого заключается в том, чтобы заставить субъекта осознанно подчиняться влиянию извне, то есть сформировать у него такие желания и намерения (интенции), которые совпадают с требованиями окружения.

### **Примеры мультиагентных систем**

Мультиагентная система для построения расписания полетов и грузоперевозок для международной космической станции. Данный проект был направлен на решение задачи построения программы полета и планирования грузопотока Международной космической станции.

Мультиагентная система предоставляет интерактивную поддержку разработки плана полетов и доставки грузов, учитывая множество настроек и ограничений: например, различные типы космических кораблей и МКС модулей, число космонавтов, расход топлива, минимальный интервал времени между операциями стыковки и отстыковки; постоянное присутствие по крайней мере одного

управляемого пилотом корабля, пристыкованного к станции, и многие другие особенности. Система планирует программу полета с учетом этих и множества других факторов, взаимодействуя с пользователем.

Основной особенностью системы стал тот факт, что она позволяет создавать программу грузопотока адаптивно, по мере выявления новых потребностей станции, когда новые грузы могут вытеснять уже распределенные, имеющие меньший приоритет или сроки доставки на станцию, с учетом наличия места на ближайшем корабле или места размещения на борту, утилизации грузов и т. д.

Интерактивный, гибкий и адаптивный характер взаимодействия с пользователями позволил повысить эффективность принятия решений в сравнении с использовавшимися ранее Excel-диаграммами.

Основной эффект внедрения был получен от сокращения времени на принятие решений при рассмотрении новых заявок и возможности моделировать различные варианты планирования для определения наилучшей реакции на поступающие события, что обеспечивает снижение рисков обеспечения станции критически важными грузами.

### Библиографический список

1. [Электронный ресурс]. URL: <http://intellect.ml/11-multiagentnye-sistemy-5354/>.
2. Семовский С. В. Стохастическая модель стаи рыб – от индивидуального поведения к групповому // Математическое моделирование. 1989. Т. 1. № 6. С. 49–55.
3. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустян С. Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. Физматлит. 2009. 280 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.twirpx.com/file/1200314/>.
4. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. Эдиториал УРСС. 2002. 352 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.twirpx.com/file/408565/>.
5. Каляев И. А. Метод коллективного управления группой объектов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2003.

### УДК 608.2

**Ю. А. Марков**

ученик 11-го «А» класса СОШ № 525 Санкт-Петербурга

**Н. А. Чуфарин**

магистрант кафедры управления в технических системах – научный руководитель

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

**Аннотация.** В данной статье произведен аналитический обзор разработок в области сверхпроводимости; рассматривается с точки зрения и эффективности внедрения такой технологии в различные отрасли.

**Ключевые слова:** сверхпроводимость, усовершенствование, генератор, ВТСП.

### Введение

«Величайшим триумфом человеческого гения является то, что человек способен понять вещи, которые он уже не в силах вообразить».

*Л. Д. Ландау*

Сверхпроводимость – свойство некоторых материалов обладать строго нулевым электрическим сопротивлением при достижении ими температуры ниже определенного значения.

**Краткая история развития сверхпроводников**



*Рис. 1. Первооткрыватель сверхпроводимости  
Хейке Камерлинг-Оннес*



*Рис. 2. Авторы наиболее популярной модели сверхпроводимости (БКШ) –  
Джон Бардин, Леон Купер, Джон Шриффер*



*Рис. 3. Родоначальники ВТСП.  
Лауреаты Нобелевской премии Алекс Мюллер и Георг Беднорц*

### Применение сверхпроводников

ВТСП (высокотемпературные сверхпроводники) – семейство материалов (сверхпроводящих керамик) с общей структурной особенностью, относительно хорошо разделенными медно-кислородными плоскостями. Их также называют сверхпроводниками на основе купратов. Температура сверхпроводящего перехода, которая может быть достигнута в некоторых составах в этом семействе, является самой высокой среди всех известных сверхпроводников. Нормальное и сверхпроводящие состояния показывают много общих особенностей между различными составами купратов.

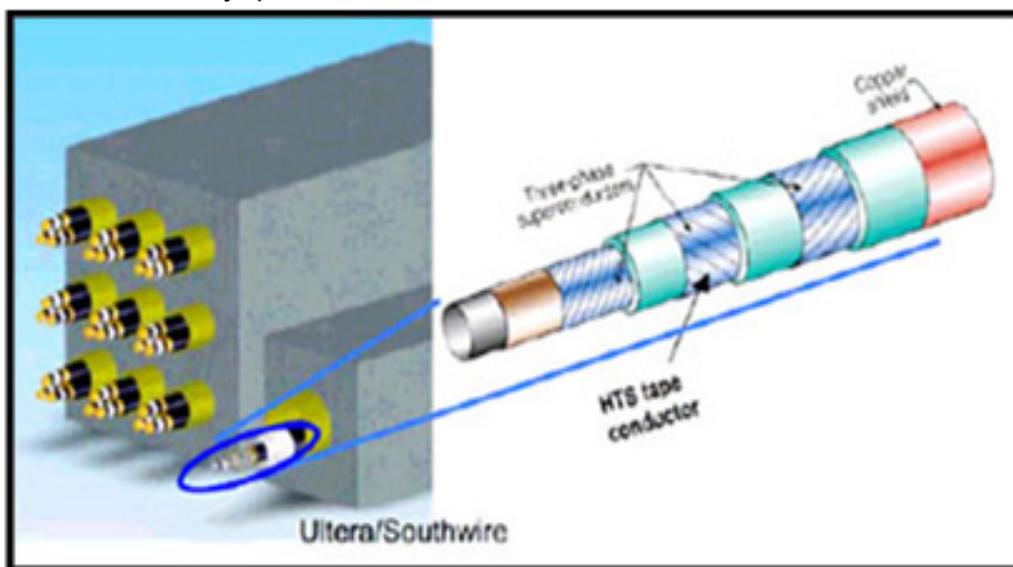


Рис. 4. Сравнение 3x3 сборки кабельного блока подземной распределительной сети из медного кабеля с одноканальным кабельным блоком ВТСП-кабеля на 13 кВ при одинаковой передаваемой мощности в 69 МВА

### Генераторы переменного тока



Рис. 5. Электрические машины ВТСП

Электрические машины ВТСП отличаются недостижимой для традиционных устройств перегрузочной способностью до 700% по крутящему моменту в кратковременном режиме и 150% в течение 15 минут по мощности. ВТСП-обмотки обоих устройств охлаждаются криокулерами через теплообменный газ до температуры 25 К. В 2005 г. был успешно испытан синхронный электродвигатель ВТСП мощностью 400 кВт. Такая машина представлена на рис. 5.

Широкое применение ВТСП найдет в вычислительной технике. Уже в настоящее время разработаны, изготовлены и испытаны макеты ячейки памяти, сверхчувствительный элемент считывания на ВТСП-пленках с кратным снижением энерговыделения по сравнению с полупроводниковыми усилителями считывания, сверхскоростные линии связи, которые позволят увеличить производительность систем в 10–100 раз (рис. 6).

### ВТСП-кабели (основные проекты)

Широкое применение ВТСП найдет в вычислительной технике. Уже в настоящее время разработаны, изготовлены и испытаны макеты ячейки памяти, сверхчувствительный элемент считывания на ВТСП-пленках с кратным снижением энерговыделения по сравнению с полупроводниковыми усилителями считывания, сверхскоростные линии связи, которые позволят увеличить производительность систем в 10–100 раз.

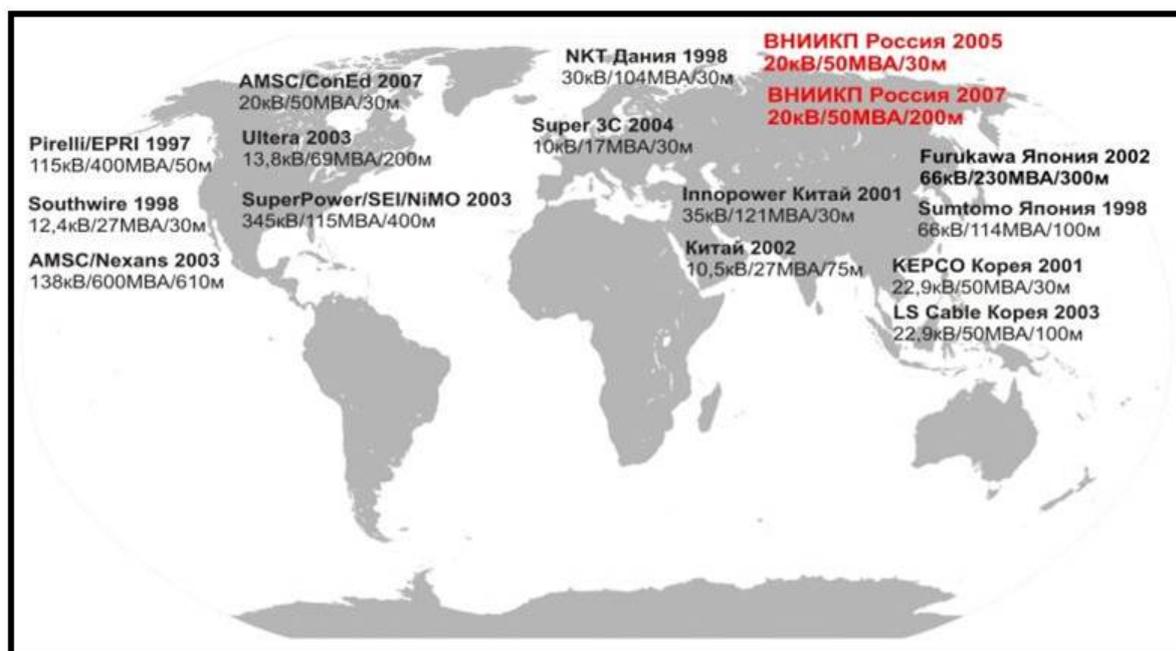


Рис. 6. Современные разработки с ВТСП-технологиями

Внедрение ВТСП в вычислительную технику даст кратное увеличение ее быстродействия и степени интеграции. Так, переход на ВТСП-соединения и снижение рабочей температуры полупроводниковых суперЭВМ позволит повысить их производительность с  $10 \times 9$  до  $10 \times 12$  операций в секунду.

Одной из перспективных областей применения ВТСП будет космическая техника – бортовые и «забортовые» измерительная аппаратура и вычислительные системы (возможна работа без специальных устройств охлаждения, так как «тенивая» температура у спутников – 90 К). При переходе на ВТСП удельная масса охлаждающей системы снизится в 50 раз, объем уменьшится в 1000 раз, надежность возрастет в 10 раз.

## Сверхпроводящие магниты



Рис. 7. Магнитно-резонансный томограф на основе использования сверхпроводящего магнита с напряженностью поля 1,5 Тл

## Поезда на магнитной подушке

Поезда на магнитной подушке считаются одним из наиболее перспективных видов транспорта будущего. От обычных поездов и монорельсов поезда на магнитной подушке отличаются полным отсутствием колес – при движении вагоны как бы парят над одним широким рельсом за счет действия магнитных сил. В результате скорость движения такого поезда может достигать 400 км/ч, и в ряде случаев такой транспорт может заменить собой самолет. В настоящее время в мире реализуется на практике только один проект магнитной дороги, называемой также Transrapid.

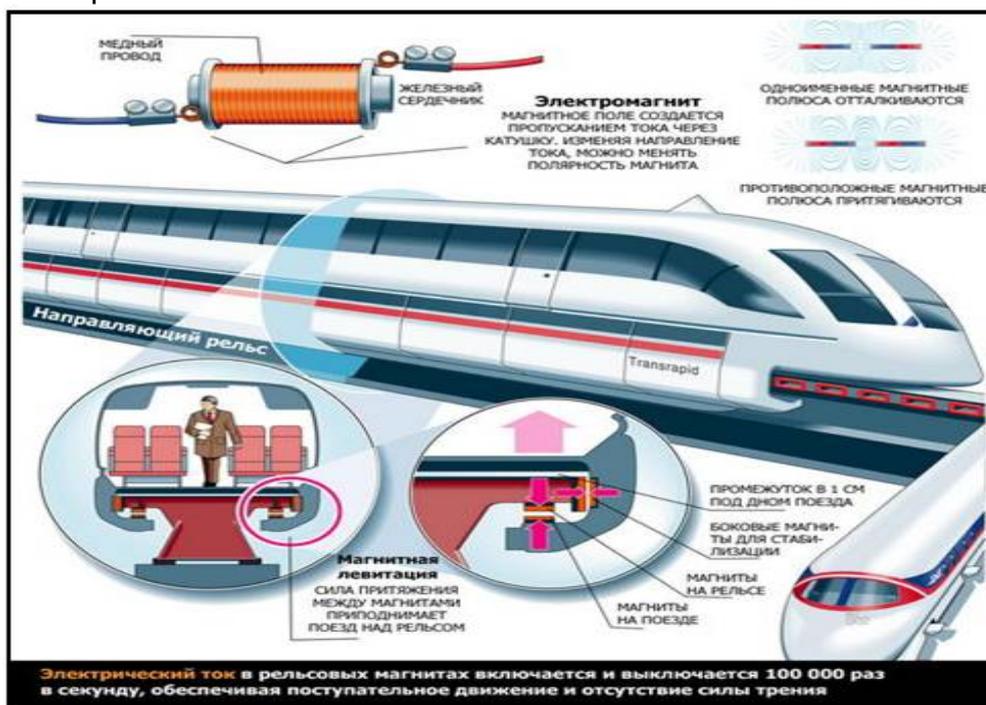


Рис. 8. Схема поезда на магнитной подушке

### Заключение

Через 10–20 лет сверхпроводимость будет широко использоваться в энергетике, промышленности, на транспорте и гораздо шире в медицине и электронике. Внедрение технологий, основанных на явлении сверхпроводимости, приведет как к простой замене традиционного оборудования на более эффективное сверхпроводящее, так и к изменениям структурного характера и к появлению совершенно новых технологических нововведений.

В недалеком будущем сверхпроводимость станет одной из базовых составляющих технического прогресса во многих секторах экономики и будет играть важную роль в нашей повседневной жизни.

### Библиографический список

1. Павлов Ю. М, Шугаев В. А. Сверхпроводимость.
2. Сверхпроводимость: исследования и разработки. № 6. 1994.
3. Тинкхам М. М. Введение в сверхпроводимость. Атомиздат, 1980.
4. Мнейян М.Г. Сверхпроводники в современном мире. М.: Просвещение, 1991. 159 с.

### УДК 629.734/.735

**Л. С. Марычев**

ученик 10-го класса ГБОУ гимназии № 177

**Н. Ю. Комендантов**

магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

## СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ САМОЛЕТОВ

Для функционирования человека на борту летательного аппарата необходима энергия в форме теплоты и света.

Кабина пассажирского самолета «Илья Муромец», построенного в 1914 году, уже имела электрическое освещение и отапливалась отработанными газами моторов. Кабина пилотов была оборудована пилотажными приборами: магнитными компасами, креномерами, указателями высоты и скорости полета, указателями контроля параметров двигателей, фотоаппаратами, которые не требовали для своей работы дополнительных источников энергии [1].

Современные самолеты имеют не только внутреннее освещение пассажирских кабин, рабочих мест экипажа, но и наружное освещение. Все самолеты оборудуются бортовыми габаритными и аэронавигационными огнями, мигающими огнями, помогающими предотвратить столкновение самолетов.

Конструкция самолета используется как нормальный минус или нейтраль для цепей нагрузки. Масса электросистем составляет 0,5–1,5% взлетной массы современных тяжелых самолетов и 4–8% взлетной массы сверхзвуковых маневренных самолетов.

Для питания потребителей электроэнергии на самолете имеются [1]:

- основная система переменного трехфазного тока напряжением 200/115 В и постоянной частотой 400 Гц;
- система переменного трехфазного тока напряжением 36 В и постоянной частотой 400 Гц;
- система постоянного тока напряжением 27 В.

Основная система электроснабжения включает в себя [1]:

- систему привод-генераторов (IDG), установленных на маршевых силовых установках;
- блоки управления генераторами (GCU);
- блоки трансформаторов тока (СТА), установленные на распределительных устройствах.

Вспомогательная система электроснабжения переменным током включает в себя:

- генератор вспомогательной силовой установки (ВСУ), установленный на двигателе ВСУ;
- блок управления генератором ВСУ и наземным питанием (GAPCU);
- блок трансформаторов тока канала генератора ВСУ.

Основными источниками электроэнергии являются два бесщеточных генератора переменного трехфазного тока напряжением 200/115 В с заземленной силовой нейтралью. Генераторы могут работать отдельно, но основным режимом работы является попарно-параллельная работа генераторов каждого борта, которые образуют автономные подсистемы левого и правого борта. В этом режиме обеспечиваются лучшее резервирование и высокая надежность питания потребителей. Для повышения надежности работы питание главных систем и приборов оборудования осуществляется от отдельной шины в подсистеме каждого борта. При отклонениях напряжения или частоты тока от нормы автоматически переключается на питание от подсистемы другого борта.

Резервными и аварийными источниками системы постоянного тока служат две аккумуляторные батареи. От аккумуляторных батарей в случае отказа основных генераторов осуществляются запуск ВСУ и питание наиболее важных потребителей до запуска ВСУ (статических преобразователей однофазного тока, статических преобразователей постоянного тока, агрегатов управления самолетом, основных приборов контроля работы двигателей и радиосредств, противопожарной системы и др.). При необходимости запуск ВСУ на земле также производится от аккумуляторных батарей.

Резервным источником питания бортовой сети переменного трехфазного тока служит установленный на ВСУ бесщеточный генератор переменного трехфазного тока напряжением 200/115 В и статический преобразователь однофазного тока. Установленный на ВСУ генератор используется как в полете – при отказе одного или всех основных генераторов, так и на земле – при техническом обслуживании самолета и обеспечивает питание любого потребителя.

На самолете отдельно установлена аккумуляторная батарея аварийного питания, от которой обеспечивается питание аварийного освещения в случае аварийной посадки и дежурного освещения при отключении электропитания бортовой сети самолета.

Статический преобразователь однофазного тока работает от бортовых аккумуляторных батарей и используется для питания переменным однофазным током 115 В, 400 Гц и 36 В, 400 Гц (через понижающие трансформаторы) наиболее важных потребителей в полете в случае отказа основной системы, до запуска ВСУ и при отказе понижающего трансформатора системы переменного трехфазного тока, которая получает питание от основной системы переменного трехфазного тока через два понижающих трансформатора [2].

Основные и резервный генераторы системы переменного тока работают в комплекте с блоками регулирования, автоматически включающими генераторы в работу, поддерживающими постоянными напряжение и частоту, обеспечивающими равномерную загрузку генераторов при параллельной работе. Блоки автома-

тически выключают неисправный генератор, отключая его сначала от параллельной работы, а затем от бортовой сети. Потребители при этом автоматически подключаются к шинам исправного генератора. Постоянная частота генерируемого тока обеспечивается приводом постоянных оборотов двигателя.

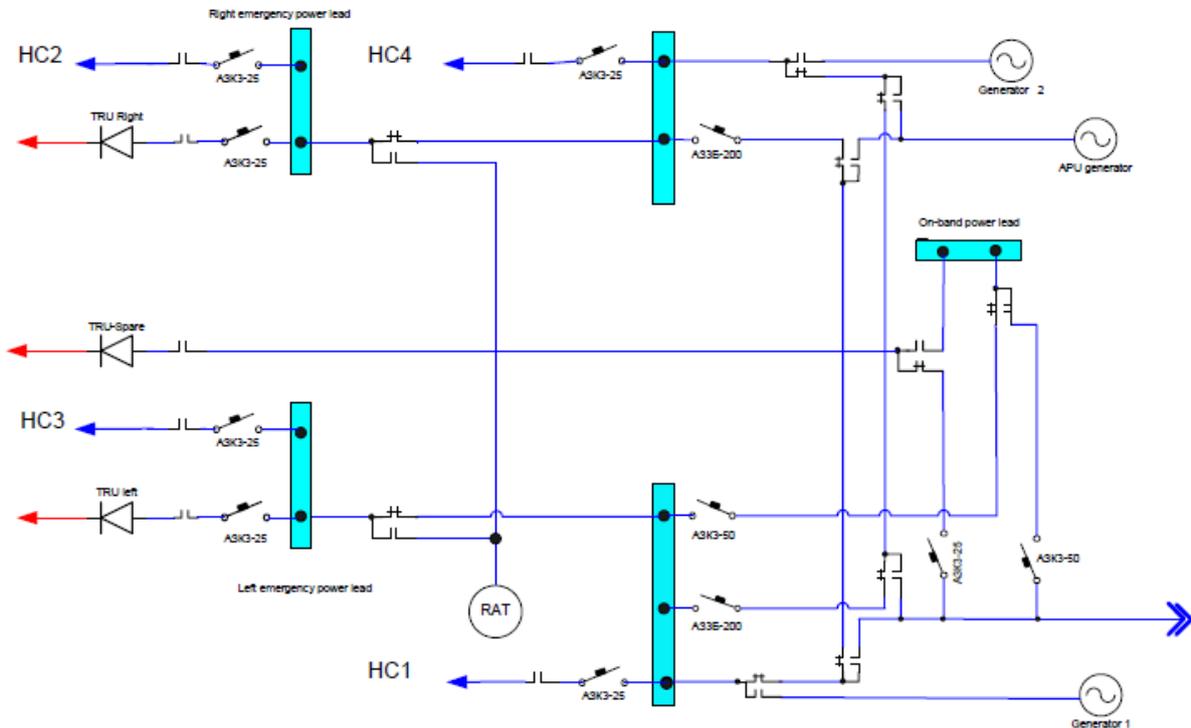


Рис. 1. Структурная схема электроснабжения переменным током 115 В 400 Гц

Система переменного трехфазного тока напряжением 36 В, постоянной частоты 400 Гц получает питание от основной системы переменного трехфазного тока через два понижающих трансформатора.

Автономное питание переменным трехфазным током стабилизированного напряжения 36 В, постоянной частоты 400 Гц таких наиболее важных потребителей, как резервный авиагоризонт, датчики системы МСРП и др., осуществляется от аварийной системы постоянного тока через статический преобразователь постоянного тока, который вырабатывает переменный ток напряжения 36 В, постоянной частоты 400 Гц.

Система электроснабжения постоянным током напряжения 27 В является вторичной и получает питание от основной системы переменного трехфазного тока напряжения 36 В, постоянной частоты 400 Гц через выпрямительные устройства. Система состоит из двух автономных подсистем – левой (левого борта) и правой (правого борта), чем обеспечивается высокая надежность питания потребителей. Каждая подсистема питается от двух блоков выпрямительных устройств, работающих параллельно друг с другом и с двумя аккумуляторными батареями.

Каждый генератор оснащен блоком GCU, который обеспечивает управление, защиту и возбуждение приводов-генераторов. Блок GCU также выполняет функцию защиты для оборудования в канале цепи генерации электрического тока. Блок GCU обеспечивает следующие виды защит [2]:

- от повышения напряжения в любой из фаз;
- от понижения напряжения в любой из фаз;
- от повышения частоты;

- от повышения частоты программным обеспечением, от понижения частоты;
- от превышения значения силы тока;
- от неправильного порядка чередования фаз;
- от всех видов короткого замыкания (замыкания внутри генератора или фидера, замыкания подвозбудителя и т. д.);
- от понижения скорости вращения входного вала привод-генератора;
- от разрыва фаз;
- от отказа сервоклапана;
- от сбоев процессора блока управления генератора;
- от отказа трансформатора тока генератора, от отказа линейного контактора генератора.

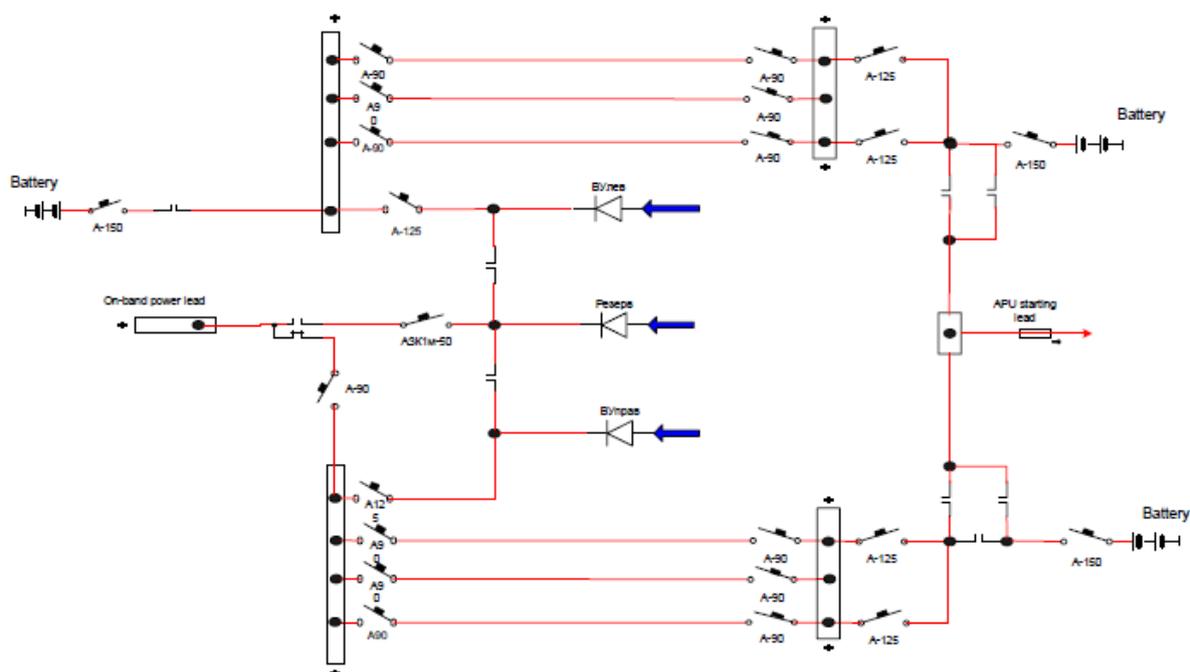


Рис. 2. Структурная схема электроснабжения постоянного тока 27 В

Все агрегаты электросистемы размещены близко от двигателей и ВСУ, на которых установлены генераторы, в изолированном отсеке за гермоднищем пассажирской кабины, что обеспечивает пожаробезопасность и облегчает обслуживание на земле.

Распределительная сеть систем переменного и постоянного тока за счет резервирования проводов, каналов генерирования, автоматов защиты и объединения подсистем левого и правого бортов позволяет питать потребители электроэнергии вплоть до выхода из строя последнего источника тока.

Оборудование всех систем самолета должно быть размещено так, чтобы к нему был обеспечен свободный и беспрепятственный доступ.

Объемно-пространственная компоновка различных систем, устанавливаемых на самолете, чрезвычайно сложна, поэтому все вопросы, связанные с компоновкой оборудования и систем самолета, отработкой интерьера кабины экипажа и пассажиров, решаются в процессе проектирования на макете самолета в натуральную величину. Широкое внедрение в процесс проектирования ЭВМ и, особенно, систем машинной графики позволяет существенно снизить трудоемкость этих работ, повысить точность и качество конструктивно-компоновочных решений, обеспечить высокое качество летательного аппарата в процессе производства.

### **Библиографический список**

1. Егер С. М., Матвеев А. М., Шаталов И. А. Современный летательный аппарат – сложная техническая система. Ч. 1.
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://superjet.wikidot.com/wiki:electric>.

### **УДК 621.0**

**А. А. Минина**

ученица 9 «Б» класса ГБОУ СОШ № 301 Санкт-Петербурга

**Н. Е. Шляхов**

магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

## **ИСКУССТВЕННАЯ КОЖА ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО РОБОТА**

### **Введение**

Искусственная кожа – это образное название комплекса тактильных датчиков, с помощью которого техническое устройство могло бы получать осязательную информацию, то есть определять тактильный контакт с поверхностью или предметом, а также определять форму предметов. С помощью тактильных датчиков также можно получать информацию о величине давления и форме поверхности, которая давление оказывает. Появление тактильных датчиков, предназначенных для геометрического распознавания предметов окружающего пространства, обусловлено развитием робототехники. Основная тенденция в области создания тактильных датчиков – воспроизведение осязательных свойств человеческой кожи.

Этой тенденции в наибольшей степени удовлетворяют тактильные устройства матричного типа, так как каждая ячейка матрицы, представляющая собой микроэлектронный датчик силы (или деформации, момента), дает конкретную информацию, а все вместе позволяют сформировать целостное представление о форме предмета. Конструкторские и технологические разработки тактильных датчиков находятся на начальном этапе развития, вследствие чего продолжается спор относительно определения четких технических требований и характеристик тактильных датчиков. Исследователи Кливлендского университета (США) считают, что современный тактильный датчик для робота должен обладать такими свойствами: высокой чувствительностью, способностью воспринимать давление (силу), преобразовывать его в электрические сигналы, позволяющие определить форму и материал предмета, то есть распознавать образы; высоким пространственным разрешением, соответствующим восприимчивости пальцев человека (пространственное разрешение человеческой кожи 2 мм); достаточным для сварочных или сборочных роботов в машиностроении, а также для роботов, применяемых в микрохирургии и микроэлектронике; хорошими линейными характеристиками (допустимы лишь отклонения, компенсируемые при обработке сигнала на ЭВМ); незначительным гистерезисом; устойчивостью к перегрузкам и тяжелым условиям работы; небольшим размером и массой; невысокой стоимостью. Разумеется, когда речь идет об экстремальной космической робототехнике, требования к параметрам тактильных датчиков становятся строже, поскольку они должны будут функционировать в условиях крайне агрессивной внешней среды. Примеры технологических решений, отвечающих данным характеристикам, будут рассмотрены далее.

### Основные типы тактильных датчиков

В зависимости от физических принципов работы различают: деформационные, пьезорезистивные, пьезоэлектрические, на основе проводящей резины, емкостные и тензорезистивные тактильные датчики. Наиболее распространенными являются следующие:

- резистивный;
- тензорезистивный;
- емкостной;
- пьезоэлектрический.

Резистивные сенсоры обычно образованы двумя проводящими поверхностями, разделенными тензочувствительной прослойкой. Под действием внешней силы в прослойке изменяется проводимость и величина электрического тока, и, как следствие, появляется напряжение на границах поверхностей. В простейшем случае на каждой поверхности расположено по два контакта. Измеряя возникшую разность потенциалов, определяют место приложения усилия. Этот тип сенсоров широко используется в различных терминалах. Тензорезистивные сенсоры изготавливаются из материалов, сопротивление которых изменяется под действием силы/давления. Тензорезистивные сенсоры широко применяются в серийно выпускаемой аппаратуре, особенно они востребованы в робототехнике. Емкостные сенсоры – это конденсаторы, расстояние между обкладками которых изменяется под действием внешней силы. Они достаточно технологичны, но очень требовательны к обслуживающей электронике. Пьезоэлектрические сенсоры (на основе пьезоэлектриков) генерируют заряды/напряжения, пропорциональные внешней силе/давлению. Одновременно они могут служить и актюаторами, то есть создавать усилие под действием электрических сигналов. Наибольшие преимущества имеют пьезоэлектрические полимеры в силу простоты их сопряжения с гибкими подложками. Основные характеристики данных типов тактильных датчиков приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики основных типов тактильных датчиков

Тип	Достоинства	Недостатки
Резистивный	Чувствительность, гибкость подложки, низкая стоимость	Большая потребляемая мощность, невысокая линейность, гистерезис, определение одной точки касания
Тензорезистивный	Высокая чувствительность, низкие шумы, простота электроники, низкая стоимость	Нелинейность, гистерезис, зависимость от температуры, временная нестабильность
Емкостной	Высокая чувствительность, совместимость с КМОП	Перекрестные наводки, сложность электроники, маленькая площадь
Пьезоэлектрический	Динамический отклик, широкополосность	Зависимость от температуры, сложность электроники

### Технологии создания тактильных датчиков

Наиболее распространенные технологии создания тактильных датчиков – кремниевая КМОП, МЭМС, технологии гибких печатных плат, проводящих полимеров и органических полевых транзисторов (ОПТ). Начинают использоваться и

более новые технологии (например, микрофлюидная) и материалы (полупроводниковые нанопроволоки (NW), фуллерены, графен).

В чистом виде КМОП- и МЭМС-технологии не применяются, так как не позволяют создавать дешевые приборы на большой площади и не обладают необходимой для тактильных датчиков гибкостью, однако в гибридном варианте – КМОП ИС или МЭМС на гибкой подложке – используются очень часто. Более того, в случае необходимости сложной обработки сигналов без КМОП-элементов вообще нельзя обойтись. Тем не менее, пока субмикронная КМОП-технология слишком дорога, если, конечно, речь не идет о создании тактильных датчиков с рекордными характеристиками, например, чувствительности. Оптимальными по критерию цена/качество являются применяемые в Т-сенсорах полимерные (органические) материалы. Технология полимеров может быть классифицирована по методам нанесения, создания рисунка и топографии и т. п. В идеале предполагается максимальное использование дешевой печатной (рулонной) технологии.

### **Точечные датчики**

Одной из наиболее прорывных технологий последнего времени в области создания тактильных датчиков можно назвать точечные волоконно-оптические датчики. Элементом точечных волоконно-оптических датчиков являются волоконные брэгговские решетки. Волоконная брэгговская решетка представляет собой селективирующее зеркало. Это значит, что если завести в оптоволокно излучение от широкополосного источника, то обратно отразится свет с очень узкой спектральной полосой с центром на длине волны Брэгга. Оставшийся свет продолжит идти в оптоволокне без каких-либо потерь. Длина волны Брэгга определяется периодом решетки и показателем преломления сердцевины. Технология волоконных брэгговских решеток позволяет размещать множество датчиков в одной оптоволоконной линии и производить абсолютные измерения без калибровки. Эти уникальные особенности делают данную технологию наиболее подходящим и надежным решением для продолжительного мониторинга.

Благодаря своим уникальным характеристикам оптоволоконные датчики на основе брэгговских решеток нашли применение во многих областях, таких как строительство и геотехника, аэрокосмическая, энергетическая и нефтегазовая промышленность. Системы мониторинга, основанные на данной технологии, экономически эффективны при использовании на крупномасштабных объектах – там, где необходима установка сотен датчиков для продолжительных измерений различных физических параметров. Волоконные брэгговские решетки также являются самым надежным решением при работе с агрессивными средами, где датчики находятся в экстремальных условиях.

### **Проекты по созданию высокоэффективных тактильных датчиков**

Основным элементом любого тактильного датчика является так называемый чувствительный элемент (далее ЧЭ). Именно на создание наиболее эффективного ЧЭ (а не систем считывания тактильной информации и управления датчиком) и направлена большая часть усилий исследователей. Примеры различных проектов по созданию ЧЭ тактильных датчиков приведены далее.

Тактильные датчики на интегральных схемах с применением кремния, кварца и поликристаллической керамики могут обеспечить измерения в диапазоне 0,01–40 Н (то есть динамический диапазон составляет 4000:1). Особое распространение получили кремниевые датчики благодаря высокой плотности расположения ячеек в матрице ЧЭ, надежности, низкому гистерезису, выносливости и небольшой стоимости.

Исследователи Станфордского университета предложили для формирования ЧЭ тактильных датчиков гибкую полосу толщиной 200–400 мкм. На полиамидной подложке располагаются кремниевые кристаллы, каждый из которых образует интегральную схему. «Островки» кристаллов соединяются золотыми проводниками, нанесенными методом фотолитографии. Датчики с ЧЭ из такой кремниевой ленты обеспечивают измерение «касания» в диапазоне 0–40 000 Па с чувствительностью 67 Па. В более узком диапазоне 5000–7000 Па чувствительность можно повысить до 13 Па.

Для выполнения ЧЭ пьезорезистивных тактильных датчиков используются различные материалы, например волокна углерода (графита). Пучки из нескольких тысяч волокон характеризуются высокими прочностью на растяжение, электропроводностью и гибкостью. При соответствующем подборе размеров пучка и подложки элементы могут воспринимать давление от 1 Па до десятков мегапаскалей. Они просты в изготовлении и относительно недороги.

Применяется также электропроводный эластомер на основе силиконовых каучуков с наполнителем (графитом, сажей, металлическим мелкодисперсным порошком). Анизотропная электропроводность эластеров дает возможность варьировать токопроводящие пути и места расположения контактов между электродами. Недостатками таких ЧЭ являются восприимчивость к электрическим помехам, нелинейность, значительный гистерезис, низкая чувствительность при существенной погрешности, малое быстродействие, довольно низкий порог усталости.

Применение волокон углерода и силиконовых эластомеров способствует миниатюризации пьезорезистивных датчиков, делает технологию их изготовления сравнимой с технологией изготовления интегральных схем. Эти датчики рассчитаны на широкий диапазон измерения и допускают значительные перегрузки.

Для изготовления резиновых мембран с рельефом сложной конфигурации и точным геометрическим профилем были использованы кремниевые литейные формочки, выполненные методом травления. Применение таких фасонных мембран позволило значительно улучшить точность тактильных датчиков.

Материалом для ЧЭ пьезоэлектрических датчиков служат полимеры, например поливинилиденфторид-2 (PVF2 или PVDE), обладающие хорошими механическими и химическими свойствами. Поскольку деформация этих материалов под действием давления незначительна, для достижения пространственного разрешения, сравнимого с восприимчивостью пальцев человека, ЧЭ устанавливается на подложку из эластичного полимера. Он может монтироваться как на плоскости, так и на поверхности сложной конфигурации. Диапазон измерения пьезоэлектрических датчиков достаточно широк при допустимых для материалов ЧЭ напряжениях сжатия 80 МПа, растяжения 50 МПа.

В последнее время получили развитие тактильные датчики, основанные на изменении оптических свойств материала под действием приложенной к ним силы. Интерес к таким оптическим датчикам объясняется их высокой чувствительностью, стойкостью к электромагнитным полям, нейтральностью к воздействиям окружающей среды и возможностью разнообразить конструктивные решения.

В Artificial Intelligence MJT создан один из самых миниатюрных емкостных датчиков. Матрица содержит 8x8 ячеек площадью 12,7x12,7 мм. Они расположены взаимно перпендикулярно на расстоянии 2,5 мм и разделены диэлектриком из силиконовой резины. Датчик крепится на небольшой печатной плате. В зависимости от эластичности диэлектрика он измеряет давление до 10 кПа. При этом измеряются емкость операционного усилителя, амплитуда синусоидальных сигналов, подсчитываемых шестиразрядным преобразователем. Такие датчики будут монтироваться на четырех пальцах руки робота. Каждый палец обладает четырьмя сте-

пенями свободы, запястье – тремя, рука в целом управляется пятью микропроцессорами (один центральный и по одному на каждый палец). В комбинации с другими датчиками, установленными на пальцах и ладони (в частности, пьезоэлектрическими на PVF<sub>2</sub>), это обеспечивает возможность определения смещения пальцев относительно друг друга.

### **Пример проекта по созданию искусственной кожи для космического робота**

Специалисты Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королева приступили к разработке элементов информационно-интегрированной системы для контроля усилия и положения захватов робота на основе волоконно-оптических датчиков. «Интегрированная система будет отвечать за контроль манипуляций, совершаемых роботом при помощи захватов. В основе комплекса – волоконно-оптические датчики, которые можно использовать не только в составе роботизированных систем наземного и воздушного базирования, но и в космических роботах», – говорят представители вуза.

Управлять движениями рук робота в космосе будет человек, находящийся в космическом корабле. Пальцы робота будут повторять все движения оператора. Сенсоры давления встроены в захваты-манипуляторы, и специальная система будет передавать всю необходимую информацию оператору. Таким образом, человек в специальных перчатках будет чувствовать то же самое, что и робот-космонавт за бортом станции. В перспективе такой механизированный помощник сможет самостоятельно выполнять обслуживание оборудования и узлов на внешних поверхностях космических станций: визуальную инспекцию, технологические, ремонтные операции и обслуживание научных приборов.

Космическая направленность разрабатываемой в Самаре «искусственной кожи» для роботов выгодно отличает ее от аналогичных проектов американских, немецких и японских ученых. «Первый робот, чьи "руки" будут покрыты "искусственной кожей", полетит к Международной космической станции в 2020 году», – рассчитывают в вузе. По мнению экспертов, использование роботов в открытом космосе значительно снизит не только риски для жизни и здоровья экипажа, но и затраты на космические экспедиции. Кроме того, роботы, снабженные «искусственной кожей», найдут широкое применение и на Земле при работе, например, под водой, при разборке завалов, а также там, где использование труда человека нецелесообразно или опасно для его здоровья.

### **Заключение**

Исследования в области создания тактильных датчиков с целью их применения в робототехнике ведутся уже достаточно давно. Тем не менее, работа еще далека от завершения, и в данный момент это направление исследований находится в состоянии экстенсивного развития. Исходя из проведенного обзора существующих решений в данной области, можно сделать вывод, что наиболее перспективным направлением развития технологий искусственного тактильного восприятия являются тактильные датчики на основе волоконно-оптических решеток. Интерес к таким оптическим датчикам объясняется их высокой чувствительностью, стойкостью к электромагнитным полям, нейтральностью к воздействиям окружающей среды и возможностью разнообразить конструктивные решения. Их существенным недостатком является крайне высокая сложность создания, однако их высокая чувствительность, а также необходимость создания датчиков, способных стабильно и с высокой точностью работать в экстремальных условиях,

таких как космическое пространство, вынуждают исследователей и конструкторов применять данную технологию все чаще, что подтверждается примером отечественного проекта самарских ученых. Существенную конкуренцию таким волоконно-оптическим датчикам составляют датчики на основе полимерных материалов, однако их эффективность в условиях работы в агрессивной среде является предметом споров. Очевидно, для прорыва в области создания высокоэффективных тактильных датчиков, которые смогли бы функционировать подобно человеческой коже, требуется удешевить технологию производства сложных волоконно-оптических датчиков, на что и направлены усилия многих исследователей.

### **Библиографический список**

1. Таланчук П. М., Голубков С. П., Маслов В. П. Сенсоры в контрольно-измерительной технике. Техника, 2007. 173 стр.
2. Новожилов А., Ракитин В., Сафронов А. Тактильные датчики на полимерных материалах. Конструкции, технологии // Электроника. 2014.
3. Искусственная кожа для космического робота [Электронный ресурс]. URL: <http://planet-today.ru/novosti/nauka/item/53623-samarskie-uchenye-sozdayut-iskusstvennuyu-kozhu-dlya-kosmicheskogo-robota> (дата обращения: 18.10.2016).

### **УДК 64-52**

**Н. С. Петрова**

ученица 10 «А» класса лицея № 378 Санкт-Петербурга

**П. С. Никулин**

магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

### **«УМНЫЙ ДОМ»**

В 1950 году был опубликован рассказ Рэя Брэдбери «Будет ласковый дождь». Писатель создал концепцию дома, который избавил бы человека от любых забот – безупречно выстроенная система поддерживает чистоту в доме, обеспечивает защиту, готовит еду, а по вечерам читает хозяевам стихи [1].

Людам свойственно стремиться к комфорту, поэтому идеи полностью автоматизированной системы жизнеобеспечения давно витают в воздухе. Понятие «умный дом» было сформулировано Институтом интеллектуального здания в Вашингтоне в 1970-х годах: Smart Home – жилой дом современного типа, организованный для удобства проживания людей при помощи высокотехнологичных устройств.

Датой рождения современного «умного дома» можно считать 1978 год, уже тогда была воплощена в жизнь идея управления различными датчиками и системами через электропроводку дома [2].

Сейчас под «умным домом» (Intelligent Building) следует понимать систему, которая должна уметь распознавать конкретные ситуации, происходящие в здании, и соответствующим образом на них реагировать: одна из систем может управлять поведением других по заранее выработанным алгоритмам.

Система «умного дома» включает в себя следующие системы:

- систему отопления, вентиляции и кондиционирования;
- охранно-пожарную сигнализацию, систему контроля доступа в помещения, контроль протечек воды, утечек газа;
- систему видеонаблюдения;
- сети связи (в том числе телефон и локальную сеть здания);

- систему освещения;
- систему электропитания здания (общественные и автономные источники);
- механизацию здания (открытие/закрытие ворот, жалюзи, шлагбаумов и т. п.);
- управление аудио-, видеотехникой, домашним кинотеатром и т. д.;
- телеметрия – удаленное слежение за системами;
- IP-мониторинг объекта – удаленное управление системами по сети;
- GSM-мониторинг – удаленное информирование об инцидентах в доме и управление системами дома через телефон [3].

Концепция управления жизненным пространством дома реализуется при помощи сценариев. Сценарий управления жизненным пространством – это запрограммированная реакция «умного дома» на то или иное событие. Другими словами – это реакция автоматизированных инженерных систем, которые входят в систему «умный дом» на определенное событие. При этом системы начинают совместно или последовательно менять свои параметры, например: включение/выключение различных групп света, на определенную яркость, в определенной последовательности, в определенном сочетании; закрытие/открытие определенных штор; установление определенной климатической обстановки в помещении; задание определенных параметров системы охранно-пожарной сигнализации системы видеонаблюдения и т. д. Определенная категория сценариев привязана ко времени суток. Они запускаются в определенное время, обеспечивая комфорт жильцам «умного дома» [4].

Стоит заметить, что на сегодня появилось множество модификаций и комплектов, в которых система управления «умный дом» может быть выполнена. Множество производителей предоставляют комплекты системы со встроенными Wi-Fi- и/или Bluetooth-передатчиками, посредством которых можно управлять системой беспроводным способом через мобильное устройство в пределах дома.

Имеются модификации, в которых управление происходит через интерфейс Ethernet (проводным способом, через современные домашние локальные компьютерные сети); к ним дополнительно нужно подключать коммутаторы и Wi-Fi роутеры для беспроводного управления. Ручные выключатели также могут подключаться к центральному контроллеру беспроводным способом или через электропроводку (рис. 1).

Система состоит из таких элементов:

- контроллер «умного дома» (главный и дискретные модуляторы ввода-вывода);
- модули расширения и связи (коммутаторы, роутеры, GPS/GPRS-модули);
- элементы коммутации электрической цепи (реле, диммеры, блоки питания);
- измерительные приборы, датчики и сенсоры (движения, температуры, света и др.);
- элементы управления системой (пульты, сенсорные панели, КПК, планшеты);
- исполнительные механизмы (клапаны воды, вентиляции, газа, ролеты и т. д.).

Контроллер «умного дома» – это аппарат, который руководит всеми приборами, а также высылает отчет хозяину о состоянии этих приборов. Руководствуется контроллер показаниями датчиков температуры, воздуха, света для контроля систем освещения, обогрева, кондиционирования. Контроллер может быть запрограммирован на совершение различных действий по временному графику. Кроме автономного режима, с контроллером можно связаться через специальный интерфейс (компьютерную сеть, мобильный оператор или радиосеть) и управлять вручную приборами.

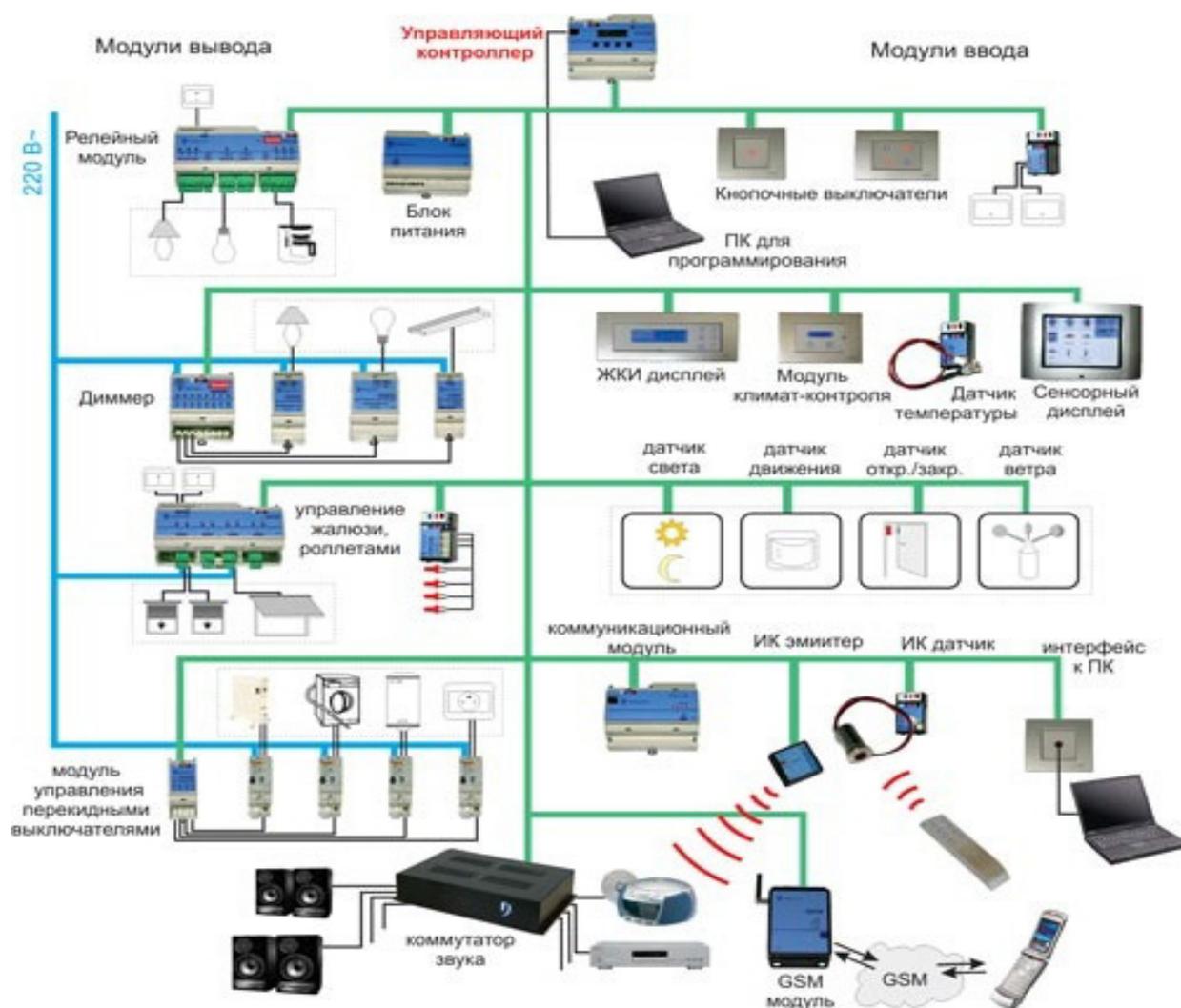


Рис. 1. Технология системы «умный дом»

Центральный контроллер для системы «умный дом» современного образца представляет собой компьютер, заключенный в небольшой пластиковый корпус, имеющий собственную операционную систему, оперативную память и множество электронных компонентов управления сигналами. Кроме того, разъемы для подключения к компьютеру и сетевому оборудованию: Ethernet, USB. Контроллер способен управлять такой техникой, как холодильники, микроволновки, инженерные коммуникации и т. д. (если в самой технике предусмотрена такая функция), докладывая хозяину даже такие данные, как температура в холодильнике, входные-выходные звонки телефонной линии и многое другое.

Региональный контроллер – это маломощный электронный блок управления, как правило, не имеющий операционной системы и настраиваемый системно. Его можно настроить на любые элементарные сценарии по времени или по сигналам тех или иных датчиков. Он руководит элементарными задачами и событиями. Например, датчик света, подключенный к нему, дает сигнал (при наступлении темноты); контроллер подает сигнал на исполнительное реле или группу для управления освещением. Также он уведомляет хозяина о каждом действии.

Другими словами, региональный контроллер – это своего рода интеллектуальное программируемое электронное реле.

Модули расширения – это устройства, подключаемые к контроллеру и расширяющие его функциональность. Такие устройства могут быть встроенными в контроллер или подключаемыми отдельно через специально предназначенный разъем.

Элементы управления цепями системы – автоматические выключатели, предназначенные для предохранения электропроводки от перегрузки или замыкания, реле и релейные блоки, регуляторы напряжения, блоки питания, трансформаторы, преобразователи.

Измерительные приборы, датчики и сенсоры – как органы обоняния и осязания для человека: они дают представление о происходящем в окружающей среде. Благодаря этим приборам на контроллер системы поступают данные о температуре, влажности, степени освещенности и атмосферном давлении снаружи и внутри помещения.

Имеются контрольно-измерительные приборы для контроля состояния инженерных коммуникаций: давления и учета расхода воды и утечки газа с электронным интерфейсом, позволяющим передавать эти данные интеллектуальной системе «умного дома».

Контроллер получает эти значения, обрабатывает их и, соответственно, посылает сигнал о включении/выключении групп различных приборов, для регулирования ситуации. Примерно аналогичная система, только с разными рабочими элементами, имеется в датчиках контроля движения и шума (свет, сигнализация), и многое другое.

Датчики и сенсоры нового поколения имеют расширенный функционал и являются интеллектуальными устройствами. Они способны измерять расстояние от датчика до движущейся цели, засекают задержки при передвижении объекта и многое другое. Все это обрабатывается встроенным в датчик микропроцессором и подается на контроллер в виде цифровых сигналов.

Контрольно-измерительные приборы – это более сложные в отличие от простых аналоговых сенсоров аппараты, которые вмещают в себя новые технологии «умный дом» и контролируют широкий диапазон параметров, предоставляют их физические единицы измерения. Цифровые барометры, счетчики воды и газа, того же напряжения – все это контрольно-измерительные приборы.

Исполнительные механизмы, которыми руководит интеллектуальное оборудование для системы «умный дом», являются сложными электромеханическими изделиями, приборами, рассчитанными на испытание высоких механических нагрузок.

Рабочий орган механических приборов (приводов открытия/закрытия ворот, жалюзи и т. д.) – это двигатель, у менее сложных (клапанов, замков) – сердечник, приводящийся в движение электромагнитом. Сегодня чаще всего встречаются автономные приводы для штор и жалюзи, которыми не управляет интеллектуальная система «умный дом»: управляемые с пульта инфракрасного передатчика и не имеющие никакой связи с контроллером «умного дома». Тем не менее, такие устройства тоже считаются отдельными элементами «умного дома».

Клапаны низкого, среднего и высокого давления – это более простые механизмы для управления водопроводными сетями (в том числе и пожаротушения), газовыми трубами и вентиляцией. Клапаны применяются в системах контроля: газовые – в системах контроля за газом, водные – контроль водообеспечения, предотвращения затопления и пожаротушения.

Стоит отметить систему вентиляционных клапанов, которая срабатывает от датчиков углекислого газа (CO<sub>2</sub>). Система выветривает вредный для человека газ и создает благоприятный микроклимат [5].

В свете борьбы с излишними выбросами CO<sub>2</sub> очень интересна концепция «умного дома» с автономным энергоснабжением. Такая система предназначена

для контроля энергопотребления и энергоснабжения, а также обеспечения пользователей собственным источником энергии для дома в условиях плохого электроснабжения или его отсутствия [6].

Главная составляющая автономного энергообеспечения такой системы – солнечные батареи или ветряные электростанции. Получаемая с их помощью электрическая энергия используется для бытовых нужд дома как напрямую, так и для накопления в аккумуляторных батареях, с целью последующего использования при отсутствии ветра или солнечной активности.

Экологическая чистота и бесшумность – основные преимущества солнечной электростанции. Понятно, что для оптимизации возможностей фотоэлектрических систем необходимо использование автоматического регулирования энергопотребления и энергоснабжения с целью наиболее эффективного и оптимального использования генерирующего и потребляющего оборудования.

### Библиографический список

1. ШАЛАШ. Учебно-развлекательный портал для школьников [Электронный ресурс]. URL: <http://shalash.dp.ua/index.php/interesnosti/618-rej-bredberi-i-umnyj-dom-do-kotorogo-on-ne-dozhil> (дата обращения: 16.02.2017).

2. Бест-строй. Строительный портал [Электронный ресурс]. URL: [https://best-stroy.ru/articles/chto-takoe-sistema-umnyj-dom\\_2251](https://best-stroy.ru/articles/chto-takoe-sistema-umnyj-dom_2251) (дата обращения: 15.02.2017).

3. Чижова К. Ю. Информационные технологии. Вопрос 53. Концепция «умный дом» в индустрии гостеприимства [Электронный ресурс]. URL: [http://itworld.ucoz.ru/index/vopros\\_53/0-36](http://itworld.ucoz.ru/index/vopros_53/0-36) (дата обращения: 12.02.2017).

4. Идеальный дом [Электронный ресурс]. URL: <http://ideal-house.ru/info/domotica.html> (дата обращения: 15.02.2017).

5. Mastery-of-Building: портал контента строительной тематики [Электронный ресурс]. URL: <http://mastery-of-building.org/sostavlyayushhie-elementy-sistemy-umnyj-dom-ix-naznachenie-i-princip-raboty> (дата обращения: 15.02.2017).

6. Развитие науки [Электронный ресурс]. URL: <http://v-nayke.ru/?p=1566> (дата обращения: 12.02.2017).

### УДК 004.032.26

**А. К. Попов**

ученик 10-го класса ГБОУ лицея № 384

**Д. Х. Нгуен**

студент кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

### ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Искусственная нейронная сеть (ИНС) это математическая модель (а также ее программное или аппаратное воплощение), построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма [1]. История нейронных сетей берет начало в середине XX века. Еще в 1943 году Мак-Каллоком и Питтсом была разработана компьютерная модель нейронной сети на основе математических алгоритмов и теории деятельности головного мозга. Они выдвинули свою модель, названную «пороговой логикой». Создатели модели показали, что такая сеть может выполнять почти любые числовые и логические операции, а также предположили, что она способ-

на самостоятельно обучаться, распознавать образы, то есть обладает почти всеми чертами интеллекта. В то время нейронные сети смогли вызвать у большого круга людей интерес, который стал угасать в начале 1970-х, когда Минский и Пейперт опубликовали работу по машинному обучению. Ими были обнаружены вычислительные проблемы, заключающиеся в невозможности реализации функции «Исключающее ИЛИ» и недостаточной вычислительной мощности у компьютеров тех лет. Уже к началу 2000-х годов благодаря разработке нового метода построения сетей ИНС снова начали обретать популярность, а следовательно, быстрее развиваться.

Особо заметно развитие нейронных сетей стало в 2010-х годах. Примерами могут послужить такие приложения, как Ostagram, Vinci и другие, суть которых заключается в обработке изображений. Но такие развлекательные сервисы – лишь малая часть того, что создается на основе ИНС, ведь использовать нейронные сети можно при решении задач, которые требуют сложных аналитических вычислений, подобных тем, что обрабатывает мозг человека [2]. Именно поэтому существует возможность их применения в таких областях, как медицина, экономика, безопасность и охранные системы, игровая индустрия, георазведка, политика, робототехника, авионика и других [3].

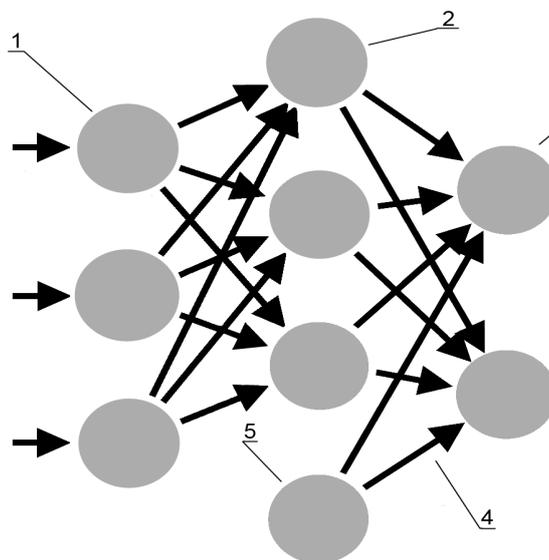


Рис. 1. Пример строения нейронной сети

Из чего же состоит ИНС? Главным образом из вычислительных единиц, которые получают информацию, производят над ней простые вычисления и передают ее дальше. Они делятся на несколько типов (рис. 1): входные (1), скрытые (2), выходные (3) и смещения (5). У каждого из нейронов есть 2 параметра: входные и выходные данные. У входных нейронов и у нейронов смещения эти параметры равны, но их различие в том, что у нейронов смещения эти параметры всегда равны 1. У всех остальных входными данными будет являться обобщенная информация всех нейронов предыдущего слоя. Если нейронная сеть состоит из большого количество нейронов, то вводится такое понятие, как слои. Таким образом, есть входной слой, который получает информацию, некоторое количество скрытых слоев и выходной слой, который и выводит результат. Нейроны соединены с помощью синапсов (4). Важно подчеркнуть, что у нейронов смещения нет входных синапсов. У синапсов есть один параметр – вес, благодаря которому входная информация обрабатывается и преобразуется в конечный результат.

Нужно отметить, что во время инициализации нейронной системы веса синапсов расставляются случайно. Нейроны работают с числами в диапазоне  $[0; 1]$  или  $[-1; 1]$ , поэтому если во входных данных нейрон получил значение, не попадающее в этот диапазон, то это число пропускается через функцию активации.

Рассмотрим основные функции активации: линейную, сигмоид и гиперболический тангенс. Главные их отличия – это диапазон значений. Линейная функция (Равенство 1) используется редко. Чаще всего для передачи значения без преобразования.

$$f(x) = x. \quad (1)$$

Сигмоид (Равенство 2) – самая распространенная функция активации. Ее диапазон  $[0; 1]$ , поэтому она не может работать с отрицательными значениями.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}. \quad (2)$$

Гиперболический тангенс (Равенство 3) – функция, которую следует использовать, только если значения могут быть не только отрицательными, но и положительными, так как ее диапазон  $[-1; 1]$ . При использовании этой функции только с положительными значениями ухудшает результаты нейросети.

$$f(x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1}. \quad (3)$$

Рассмотрим пример работы части нейронной сети (рис. 2). Буквами  $i_1$  и  $i_2$  здесь обозначены входные нейроны, буквами  $W_1$  и  $W_2$  – веса синапсов, а буквой  $S$  – скрытый нейрон. У  $S$  в данном случае есть такие параметры, как  $S_{\text{вход}}$  – входная информация и  $S_{\text{выход}}$  – выходная информация. В данном случае обобщенной информацией предыдущего слоя будет являться сумма произведений значений входных нейронов и веса их синапсов (Равенство 4).

$$S_{\text{вход}} = (i_1 W_1) + (i_2 W_2). \quad (4)$$

Теперь можно получить выходное значение  $S_{\text{выход}}$  (Равенство 5), воспользовавшись функцией активации.

$$S_{\text{выход}} = f_{\text{активации}}(S_{\text{вход}}). \quad (5)$$

Далее значение передается следующему нейрону, который проводит те же операции. И так, пока следующим нейроном не окажется выходной.

Если запустить даже такую простую сеть, то сначала результаты, выдаваемые ей, часто будут ошибочными, так как сеть не натренирована. Поэтому для улучшения результатов работы сеть нужно обучить. Здесь стоит сказать про такие понятия, как тренировочный сет, итерация, эпоха и ошибка. Тренировочный сет – последовательность данных, которыми оперирует ИНС. В данном случае существует всего 4 возможных решения:  $0 \text{ xor } 0 = 0$ ;  $1 \text{ xor } 0 = 1$ ;  $0 \text{ xor } 1 = 1$ ;  $1 \text{ xor } 1 = 0$ . Итерация – счетчик, увеличивающийся каждый раз при прохождении нейронной сетью одного тренировочного сета. Эпоха – величина, устанавливаемая в 0 при инициализации ИНС, имеющая задаваемый вручную потолок и увеличивающаяся каждый раз при прохождении сетью всех тренировочных сетей. В данном случае – 4 сета или 4 итерации. Ошибка ( $E$ ) – процентная величина, показывающая расхождение между предполагаемым и полученным результатами. Каждую эпоху эта

величина должна становиться меньше. Существует несколько методов выявления ошибок: MSE (Равенство 6), Root MSE (Равенство 7) и другие. Здесь  $i_1, i_2, i_n$  – идеальные результаты каждого из сетей,  $a_1, a_2, a_n$  – полученные результаты каждого из сетей, а  $n$  – количество сетей [4].

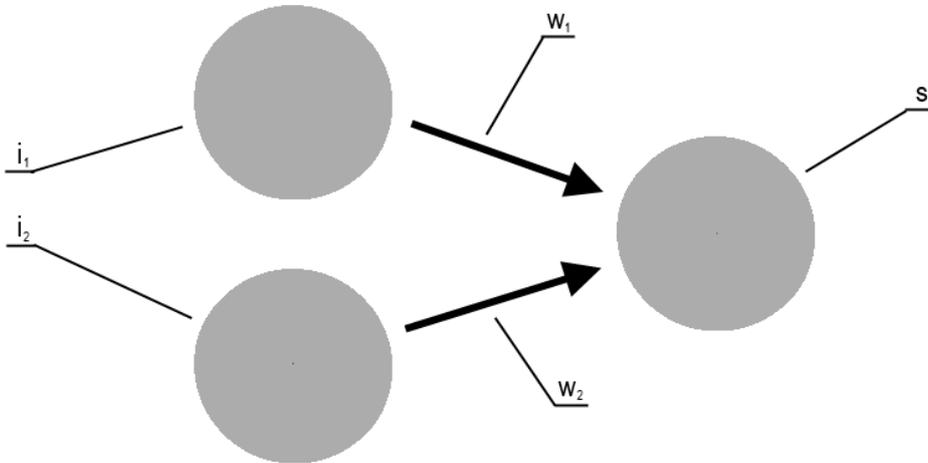


Рис. 2. Небольшая часть нейронной сети

$$E = \frac{(i_1 - a_1)^2 + (i_2 - a_2)^2 + \dots + (i_n - a_n)^2}{n} \quad (6)$$

$$E = \sqrt{\frac{(i_1 - a_1)^2 + (i_2 - a_2)^2 + \dots + (i_n - a_n)^2}{n}} \quad (7)$$

Отдельно стоит отметить нейроны смещения. Они служат для того, чтобы получать выходной результат путем сдвига графика функции активации влево или вправо. Также такие нейроны помогают в случае, если все входные нейроны получают на вход 0. С нейроном смещения на следующий нейрон будет передан результат уже отличный от 0.

Как же обучить нейросеть? Существует несколько методов, среди которых можно отметить метод обратного распространения, использующий алгоритм градиентного спуска. Градиентный спуск – это метод нахождения локального минимума или максимума функции путем движения вдоль градиента. Градиент – вектор, который определяет крутизну склона и указывает его направление относительно любой точки на поверхности или на графике. На данном графике зависимости  $E(w)$  (рис. 3) глобальным минимумом будет являться точка  $(w_2; E_2)$ . Это значит, что, выбрав вес синапса  $w_2$ , можно получить самую маленькую ошибку  $E_2$ . Обучение сети методом обратного распространения ошибки представляет из себя три этапа: подачу на вход данных с последующим распространением данных в направлении выходов, вычисление и обратное распространение соответствующей ошибки и корректировку весов. Обучение нейросети, как правило, длительный и непростой процесс, однако уже обученная и натренированная ИНС может довольно быстро выполнять свою задачу [5].

Таким образом, искусственные нейронные сети – одно из самых перспективных направлений не только в области программирования, но и в совершенно других разделах науки. К примеру, в области медицины русские специалисты из

Mail.Ru Group, Insilico Medicine и МФТИ недавно привлекли нейронные сети к поиску противораковых лекарственных средств. Также подобные сети используются в системах автоматического управления автомобилями. Эту функцию сейчас активно внедряют такие компании, как Tesla, Toyota, Google и прочие.

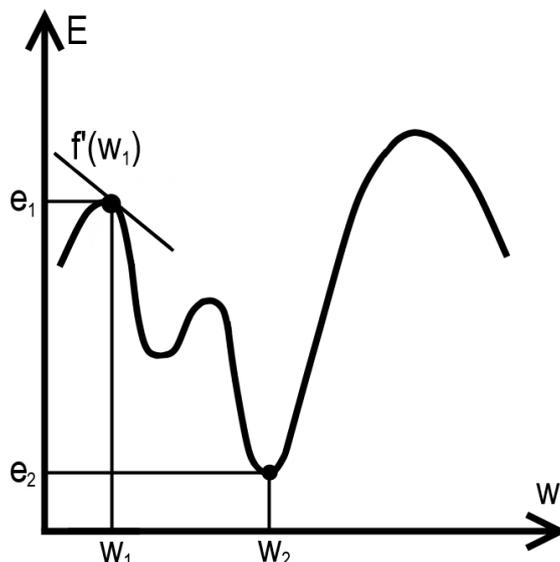


Рис. 3. График зависимости

### Библиографический список

1. Материал из «Википедии». Искусственная нейронная сеть [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственная\\_нейронная\\_сеть](https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственная_нейронная_сеть) (дата обращения: 15.03.2017).

2. Материал из «Нейроньюс». История возникновения нейронных сетей [Электронный ресурс]. URL: <http://neuronus.com/history/5-istoriya-nejronnykh-setej.html> (дата обращения: 18.03.2017).

3. Ежов А. А., Шумский С. А. Нейрокомпьютинг и его применение в экономике и бизнесе. М.: МИФИ, 1998. 224 с.

4. Материал из Habrahabr. Нейронные сети для начинающих. Ч. 1. [Электронный ресурс]. URL: <https://habrahabr.ru/post/312450/> (дата обращения: 16.03.2017).

5. Материал из Habrahabr. Нейронные сети для начинающих. Ч. 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://habrahabr.ru/post/313216/> (дата обращения: 18.03.2017).

УДК 007.52.629.78

**Д. Д. Салогуб**

ученик 9-го класса лицея им. Дмитрия Кантемира, г. Кишинев, Молдова

**Д. Р. Чухно**

магистрант кафедры программно-целевого управления в приборостроении – научный руководитель

### РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В КОСМОСЕ

В эру космонавтики человек вступил не так уж и давно. На первых порах функции человека в космосе сводились только к его присутствию в космическом аппарате и переключению некоторых тумблеров. Сегодня человек решает такие

сложные задачи, как строительство космических станций и спутников прямо на орбите, ремонт технологического оборудования, уборка космического мусора, техническое обслуживание кораблей, использование ядерных энергоустановок на орбите. В условиях космоса человеку приходится действовать в скафандре или в других защитных приспособлениях. Их применение значительно сковывает движения и крайне нежелательно влияет на эффективность работы человека в условиях космоса, а уж перемещать тяжелые грузы на орбите, стыковать большие блоки и целые модули, сваривать их – очень проблематично. В таких условиях человеку необходимы роботизированные устройства.

В литературе встречается понятие робота как автоматического устройства, созданного по принципу живого организма, предназначенного для осуществления производственных и других операций, которое действует по заранее заложенной программе и получает информацию о внешнем мире от датчиков. В моем понимании, робот – это устройство или приспособление, выполняющее любое воздействие на окружающую среду, заменяющее аналогичное действие биологического организма, в частности, человека.

Не так давно появились манипуляторы, способные выполнять различные необходимые человеку задачи на орбите.

Технологические ограничения по созданию роботов, основывающиеся на рычагах с 1–3 степенями свободы, позволяют каким-то образом приблизить движения манипулятора к движению, например, руки человека. Наиболее известный пример применения космической робототехники – канадский пятнадцатиметровый манипулятор на американском корабле Shuttle. Аналогичная отечественная разработка, уже в виде системы из двух подобных манипуляторов, была выполнена ЦНИИ РТК для корабля «Буран» (рис. 1) [1], [2], [3].



Рис. 1. Система из двух манипуляторов

Перспективными разработками космической робототехники занимаются фирмы в США, Европе (рис. 2), Японии, Китае.

Можно отметить разработки Европейского космического агентства с тремя манипуляторами для помощи космонавтам в открытом космосе, американский летающий робот Mini AERomote для МКС, манипулятор на японской МКС, ряд конструкций роботов и робототехнических аппаратов для исследования дальнего космоса и планет, в том числе отечественной разработки.

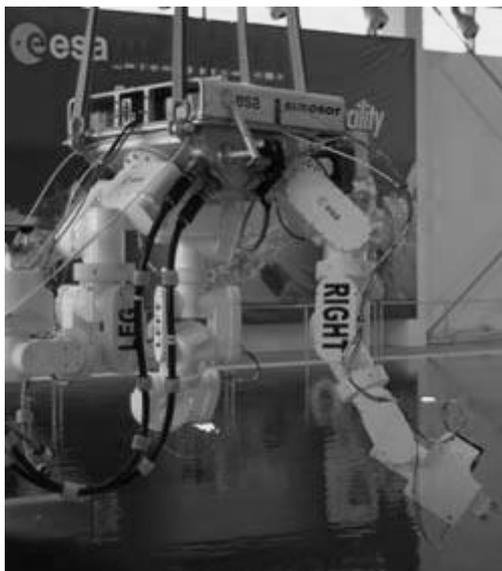


Рис. 2. Eurobot

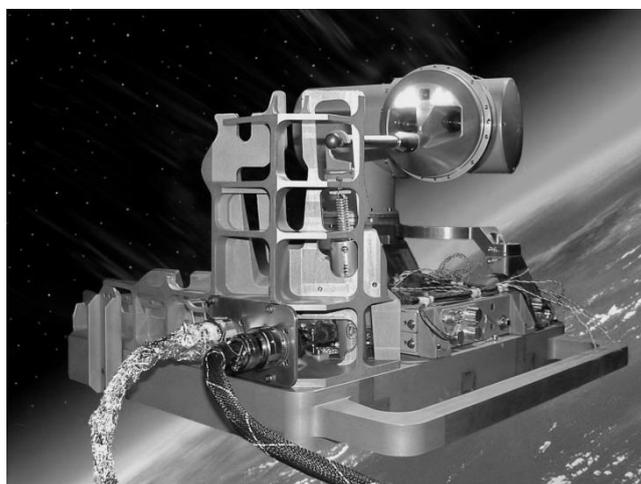
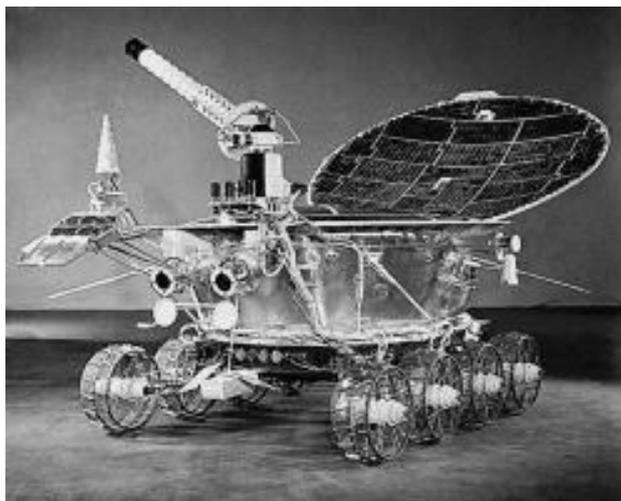


Рис. 3. ROKVISS

На российском сегменте МКС завершается отработка шарниров немецкого манипулятора ROKVISS (рис. 3) для последующих совместных проектов по созданию новых космических роботов. Это подтверждает актуальность разработки шарниров движения, осей. Недавно возникло новое направление – групповое применение мини- и микророботов на орбите, открывающее принципиально новые возможности по использованию околоземного пространства. И мы должны стремиться к созданию блочных роботов, составные части которых должны представлять собой автономные установки, способные объединяться в структуры, для решения различных задач.

Необходимость исследования планет, недоступных для человека, предполагает развитие и создание планетоходов (рис. 4, 5), обеспечивающих автоматическое или операторское выполнение большого количества технологических задач [8], [9], [10].

Важной задачей для разработчиков таких планетоходов является «обучение» этих роботов автономному принятию решений, поскольку управлять роботами удаленно невозможно из-за столь огромных расстояний. Задержка сигнала на таких расстояниях может достигать десятков минут. Именно поэтому так важно создание алгоритмов действий робота, основанных на «искусственном интеллекте» [4], [5], [6].



*Рис. 4. Планетоход*



*Рис. 5. Планетоход*

Исследователи выделяют несколько принципов построения робототехнических систем.

Первый принцип: унификация функциональных компонентов средств робототехники. Этот принцип обеспечивает практически неограниченную номенклатуру создаваемых на его основе технических систем, повышение их технического уровня, сокращение сроков проектирования, облегчение технического обслуживания и ремонта основанных на нем технических систем. Принцип модульного построения был впервые предложен и получил широкое распространение в рамках промышленной робототехники, минимизируя материально-техническое обеспечение неограниченно растущей номенклатуры промышленных роботов в целом. В тех случаях, когда нужно достичь высокого качества выполнения нестандартной задачи, этот принцип может быть отвергнут, например, при проектировании робототехнических систем длительного специализированного применения.

Второй принцип: реконфигурируемость робототехнических систем, то есть возможность создания систем переменной структуры. Возможность изменения состава робототехнической системы непосредственно в ходе ее использования. Основа принципа – указанное выше модульное построение средств робототехники. Реализация этих двух принципов означает поставку на борт космического аппарата робототехнических систем в некоторой базовой комплектации и набора функциональных модулей к ней. Недостатком данного принципа является необходимость участия человека или другого робота при реконфигурации путем добавления новых блоков или излишнюю загроможденность машины ненужными блоками при базовой их установке.

Третий принцип: оптимальное сочетание (симбиоз) средств робототехники и человека при выполнении конкретных физических действий (операций). Речь идет о специфическом именно для космонавтики, оптимальном взаимодействии человека и техники. При этом приоритет дается средствам робототехники при выполнении операций, которые они могут качественно выполнять. Однако эти процессы должны находиться под оперативным контролем человека с возможностью блокировки их действий при возникновении каких-либо нестандартных ситуаций. Таким образом, робототехника позволяет кардинально решить проблему «человеческого фактора» путем такого распределения задач между человеком и техникой, когда человек максимально освобождается от непосредственного выполнения психологически напряженных и утомительных работ, сохраняя за собой только контроль за их выполнением. Но на сегодняшний день существующий технологический уровень сохраняет ряд операций, доступных в выполнении только космонавту. Однако в этом случае для исключения эффекта «человеческого фактора», в свою очередь, должен быть осуществлен контроль со стороны автоматики за действиями человека, установлением формализованных рамок для этих действий, чтобы исключить его неадекватные действия, в том числе и с переходом к внешнему управлению из центра. Такое распределение функций между человеком и робототехникой должно быть дополнено программой постоянного освоения робототехникой выполняемых человеком операций робототехнических систем, от которых требуется достаточно длительное автономное функционирование, необходимо развитие таких свойств, как самодиагностика и ремонт (при групповом применении – взаиморемонт) и самосовершенствование (самообучение).

Четвертый принцип комбинированного управления от человека-оператора может ограничиваться скоростью передачи информации и расстояниями до управляемой машины.

Формулирование этих принципов не означает, что они охватывают все проблемы и направления, но могут послужить основой для долгосрочного планирования развития робототехники. На мой взгляд, наиболее жизнеспособными будут роботы, способные самоорганизовываться из отдельных простых блоков-роботов в сложные машины, позволяющие решать всю гамму задач, возникающих перед человеком в космосе, оставляя обязательным участие человека только в контроле над машинами с точки зрения собственного сохранения [7].

Можно считать, что на сегодняшний день космическая робототехника только начала свой путь, однако уже были достигнуты определенные успехи. Эта область крайне важна для человека, ведь от нее зависит покорение космических просторов. Все быстрее и быстрее протекает развитие космических манипуляторов, призванных для решения трудных задач в космосе. Мы знаем только одно биосущество, способное создавать и эксплуатировать роботов. Очевидно, что логика, определяющая действия робота, ничем не будет отличаться от человеческой, а следовательно, наиболее удачный робот будет совершать движения, максимально схожие с движениями человека. Я считаю, что сегодня молодым разработчикам открываются широчайшие горизонты робототехнического проектирования, начиная от осей, шарниров и приводов, оканчивая технологией, материалами и искусственным интеллектом. Да, пока что они не совершенны, но я надеюсь, что уже в недалеком будущем люди достигнут значительных успехов в развитии такой важной сферы, как космическая робототехника, и покорение космоса значительно упростится.

Область исследования робототехнических систем для работы в космосе крайне важна, ведь именно от нее зависит скорость покорения человеком космических просторов.

**Библиографический список**

1. Крючков Б. И., Карпов А. А, Усов В. М. Перспективные направления робототехники для поддержки социально значимых сфер активности человека (на примере сервисных роботов в пилотируемой космонавтике) [Электронный ресурс]. URL: [http://innoj.tversu.ru/Vipusk3\(4\)2014/3%20%D0%BA%D1%80%D1%8E%D1%87%D0%BA%D0%BE%D0%B2,%20%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%BF%D0%BE%D0%B2.pdf](http://innoj.tversu.ru/Vipusk3(4)2014/3%20%D0%BA%D1%80%D1%8E%D1%87%D0%BA%D0%BE%D0%B2,%20%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%BF%D0%BE%D0%B2.pdf).
2. Рабочая группа под руководством Ю. Н. Коптева. Стратегия развития космической деятельности России до 2030 года и на дальнейшую перспективу (проект), 28 с.
3. Шустиков В. Главные тенденции развития современной робототехники обсудили мировые эксперты в «Сколково» // Control Engineering Россия. 2016. № 3. 16 с.
4. Параскевов А. В., Левченко А. В. Современная робототехника в России: реалии и перспективы (обзор) // Политематический сетевой электр. науч. журнал Кубанского госуд. аграрного ун-та. 2014. № 104.
5. Виноградов П. В., Железняков А. Б., Спасский Б. А. Актуальные направления развития космической робототехники // Робототехника и техническая кибернетика. 2015. № 4 (9). 3–12 с.
6. Белоножко П. П. Космическая робототехника. Современное состояние, перспективные задачи, тенденции развития. Аналитический обзор // Наука и образование. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2016.
7. Юревич Е. И. Космическая робототехника: состояние и перспективы развития // Информационные системы. 2011. № 4. С. 24–26.
8. Лопота В. А., Юревич Е. И. О некоторых перспективных направлениях развития космической робототехники.
9. Лопота В. А., Минаков Е. П., Юревич Е. И. Современное состояние и перспективы развития отечественной космической робототехники // Актуальные проблемы защиты и безопасности. СПб.: Астерион, 2008. Т. 5.
10. Лопота В. А., Юдин В. И., Юревич Е. И. О системном подходе к развитию экстремальной робототехники // Актуальные проблемы защиты и безопасности. СПб.: Астерион, 2005. Т. 5

**УДК 524.882****М. А. Сергеев**

ученик 11-го класса ГБОУ СОШ № 489 Санкт-Петербурга

**В. Д. Кудрин**

магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

**ЭНЕРГИЯ ЧЕРНЫХ ДЫР****Введение**

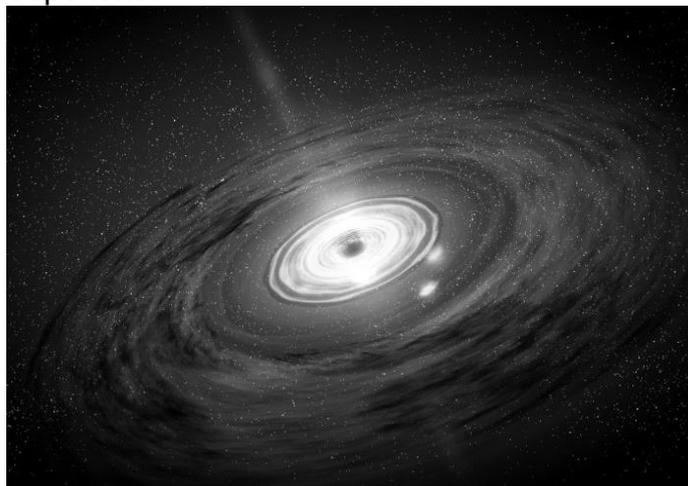
Черная дыра – область пространства-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть ее не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света, в том числе кванты самого света (рис. 1) [1].

Черные дыры настолько массивны, что их вторая космическая скорость быстрее, чем скорость света. Поскольку ничего не может двигаться быстрее, чем свет, то ничего и не может избежать гравитации черной дыры. Гравитация черной

дыры настолько огромна, что она практически останавливает ход времени. Если снаружи черной дыры наблюдать, как падает космический корабль, то можно увидеть, что он все больше и больше замедляется и, в конце концов, исчезает.

Черные дыры всасывают материю, которая находится на определенном расстоянии, называемом горизонтом событий.

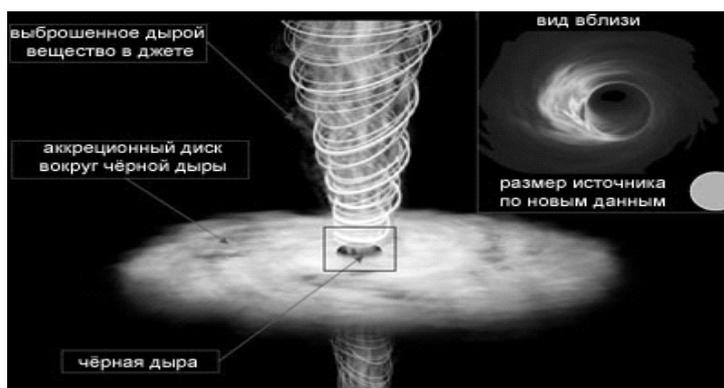
Главной особенностью черной дыры является сингулярность, и она определяет ее центр – область, где фундаментальные законы физики и самой ткани пространства прекращают свое существование. Все, что пересекает горизонт событий, даже свет, обречено.



*Рис. 1. Горизонт событий*

### Испускаемая энергия черной дыры

Помимо поглощения материи, черные дыры еще и испускают рентгеновские лучи в большом количестве. Газ, падающий в черную дыру, становится сжатым и горячим. Часть его преодолевает точку невозврата и навсегда попадает внутрь черной дыры, другая же часть ускоряется и в виде мощного и яркого потока частиц выбрасывается в окружающее космическое пространство. Этот поток частиц называют джетом (рис. 2). Это выброс в обе стороны огромного потока радиоактивной энергии.



*Рис. 2. Джет – выброс радиоактивной энергии*

Для черных дыр больших размеров излучаемое количество энергии является меньшим, но маленькие черные дыры смогут за достаточно короткий промежуток времени превращать свою массу в большое количество энергии.

Исходя из расчетов ученых, масса идеальной искусственной дыры должна составлять примерно миллион метрических тонн, при размерах, равных примерно 0,001 протону (рис. 3).



Рис. 3. Наглядное отображение размеров идеальной искусственной черной дыры

### Квантовые черные дыры

Их масса – не больше массы большого астероида. Такие черные дыры могут рождаться и при соударениях частиц большой энергии. Вместо того чтобы заглатывать материю, эти черные дыры должны породить излучение частиц и быстро испаряться (распадаться, коллапсировать, взрываться).

Несмотря на такую микроскопичность, черная дыра будет невероятно тяжелой. При этом энергия излучения составит около 129 пета ватт. Это в 10 млн раз больше, чем общее энергопотребление Нью-Йорка за июль 2015 года.

Известна теория струн, которая позволяет выстраивание исключительно плотных и мелкомасштабных структур из самих струн и других описываемых теорией объектов – бран, часть из которых имеют более трех измерений (рис. 3). При этом черная дыра может быть составлена из струн и бран очень большим числом способов, а самым удивительным является то обстоятельство, что это число микросостояний ровно соответствует энтропии черной дыры, предсказанной Хокингом [2].

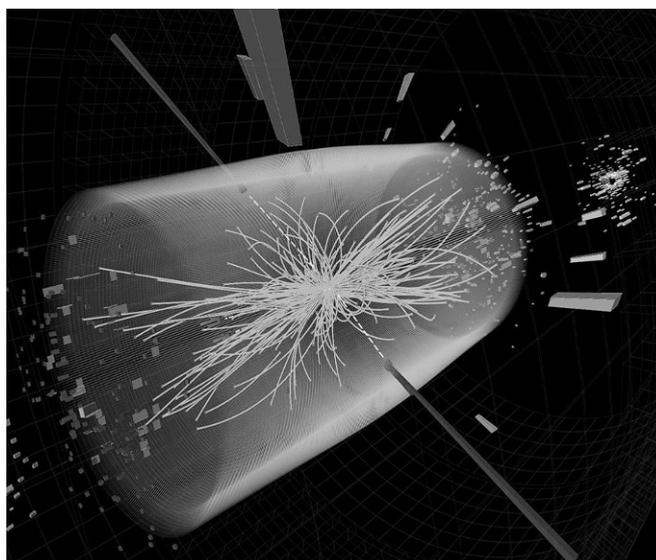


Рис. 4. Квантовая черная дыра и ее струны

Осознание того, что черные дыры могут быть маленькими и какие квантовые эффекты могут при этом возникать, приводят к выводам, что энергия у черной дыры с массой, выраженной Планком, прямо пропорциональна массе, это достаточно для испускания как безмассовых частиц типа фотонов, так и массивных – электронов и позитронов. У квантовой черной дыры (рис. 4) исходит количество

квантов энергии в миллионы раз больше, чем у обычной элементарной частицы, равной по размеру.

Уравнение энергии черной дыры имеет вид

$$E = \frac{E_0}{c^2} (\lambda \cdot \nu)^2,$$

где  $\lambda$  – длина волны излучения,  $\nu$  – частота излучения.

### Способы получения черных дыр в земных условиях

Черную дыру можно получить не только сжатием имеющегося объема вещества, но и экстенсивным путем, накоплением огромного количества материала. Средняя плотность падает с ростом массы черной дыры. Так, если черная дыра с массой порядка солнечной обладает плотностью [3], превышающей ядерную плотность, то сверхмассивная черная дыра с массой в 10<sup>9</sup> солнечных масс (существование таких черных дыр подозревается в квазарах) обладает средней плотностью порядка 20 кг/м<sup>3</sup>, что существенно меньше плотности воды.

Ученые пытаются создать такую искусственную черную дыру на земле при помощи ускорителя частиц – адронного коллайдера. Большой адронный коллайдер – ускоритель заряженных частиц на встречных пучках, предназначенный для разгона протонов и тяжелых ионов (ионов свинца) и изучения продуктов их соударений. Коллайдер построен в ЦЕРНе (Европейский совет ядерных исследований), находящемся около Женевы, на границе Швейцарии и Франции. Является самой крупной экспериментальной установкой в мире: длина основного кольца ускорителя составляет 26 659 м. (рис. 5).



Рис. 5. Большой адронный коллайдер

Чем легче тело, тем сильнее нужно на него воздействовать, прежде чем его собственная гравитация станет достаточной для создания черной дыры. Две частицы при условиях сверхмагнетизма или сверхдавления, столкнувшись, могут создать квантовую черную дыру. Новорожденная дыра асимметрична, она может вращаться, вибрировать и иметь электрический заряд. Время и масса приблизительно. Энергия квантовой черной дыры в 1 ТэВ эквивалентна ее массе около 10–24 кг. Успокаиваясь, квантовая черная дыра излучает гравитационные и электромагнитные волны. То есть становится невыразительным объектом, имеющим только заряд, частоту и скорость вращения, и массу. Да и заряд быстро уходит, когда дыра испускает заряженные частицы. Зародившиеся квантовые дыры выделяют такую энергию из этого объема, которая будет неимоверно разрушительна, и создаст все элементы, рождаемые в центре звезд. И при управляемом этом процессе и сверхмагнетизме черные дыры различных размеров могли бы выде-

лать безграничное количество энергии из элементарной материи. Физики могут изменять размер черных дыр, настраивая ускоритель частиц на разную мощность энергии.

Для осуществления этой идеи ученые постепенно делают улучшение БАКа. Таким образом, в 2008 году его мощность составляла 7 ТэВ, в 2015 году – 14 ТэВ, а в будущем должна составлять 28 ТэВ. Это минимальная энергия, необходимая для создания квантовой черной дыры.

Проводятся разработки по созданию нового БАКа длиной в 100 км. Его мощность будет составлять около 100 ТэВ.

Для того чтобы была возможность использовать энергию черной дыры, она должна располагаться в центре сферы, которая будет отражать излучаемую энергию. Ученые считают, что черные дыры небольшого размера можно будет использовать как генераторы электрического тока, которые смогут преобразовывать всякую материю в энергию.

### Вывод

Любая попытка исследовать существование более коротких расстояний, осуществляя столкновения при более высоких энергиях, неизбежно закончилась бы рождением черной дыры. В столкновениях при больших энергиях, вместо того чтобы дробить вещество на мелкие кусочки, надо стремиться к рождению черных дыр планковского размера. Таким образом, их появление ознаменует конец всех споров и начало важного направления в науке, возникнут новые задачи – исследования дополнительных измерений, времени, энергии и пространства, антигравитации и антиматерии, темной материи и энергии. Возможность использования практически безграничной энергии черных дыр позволит в будущем построить космические двигатели на основе энергии черных дыр, что даст возможность исследования космического пространства на околосветовых скоростях.

### Библиографический список

1. Hawking S. Black Holes and Baby Universes. London, 1994. P. 43–48
2. Климец А. П. Геоны, черные дыры и фундаментальная планковская длина // Философия физики. Брест, 2000. С. 2–10.
3. Steven B., Bernard C. Scientific American. V. 292. 2005. № 5. P. 48–55.

**УДК 004.032.26**

**И. Д. Ситько**

ученик 11-го класса ГБОУ лицея № 101

**Н. В. Кривенко, А. В. Бадаев**

магистранты кафедры управления в технических системах – научные руководители

## НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ

**Искусственная нейросеть (ИНС)** – математическая модель, а также ее программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма. В научном мире нейросети имели 3 пика популярности, 2 из которых приходится на середину и конец XX века, а последний на наши дни, начиная

с 2012 года. Впервые попытка воссоздать математическую модель мозга была проделана учеными Уорреном Мак-Калокком и Уолтером Питтсем. Они предложили модель мозга как множество нейронов, имеющих одинаковую структуру. В 1949 г. Д. Хэбб предположил, что условный рефлекс человека происходит потому, что некоторые нейроны способны к ассоциациям, и сформулировал правила их обучения. Именно это кардинально отличает математические алгоритмы от нейросетей, ведь нейросети способны учиться. А доказал это опыт Розенблатта, он разработал модель «перцептрон», работающую по принципу «вход – обработка информации – выход». Модель доказала возможность искусственных нейросетей к обучению и к решению задач классификации (рис. 1).

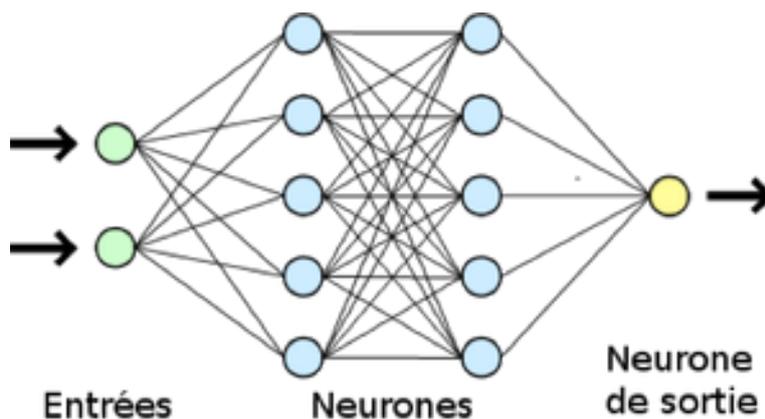


Рис. 1. Пример нейросети

Далее ученые разрабатывали различные применяемые модели ИНС, но из-за недостатка вычислительной мощности работы продолжились только в 80-е годы XX века. Широкое распространение ИНС получили именно в XXI веке в связи с развитием графических процессоров (GPU), они позволяют существенно ускорить вычисления за счет высокого уровня параллелизации [1].

### Принцип работы нейронной сети

Имеется сеть нейронов, определенным образом связанных друг с другом, где выход для одного нейрона является входом для другого (рис. 2, 3).

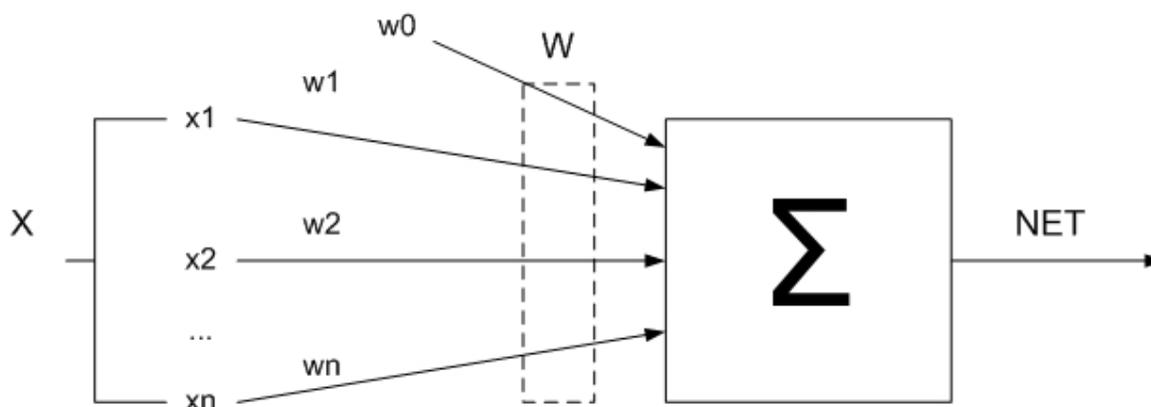


Рис. 2. Искусственный нейрон в первом приближении

$$NET = \Sigma$$

$$NET = \sum_{i=1}^n W_i x_i + W_0,$$

где  $W_0$  – биас;  $W_i$  – вес  $i$ -го нейрона;  $x_i$  – выход  $i$ -го нейрона;  $n$  – количество нейронов, которые входят в обрабатываемый нейрон.

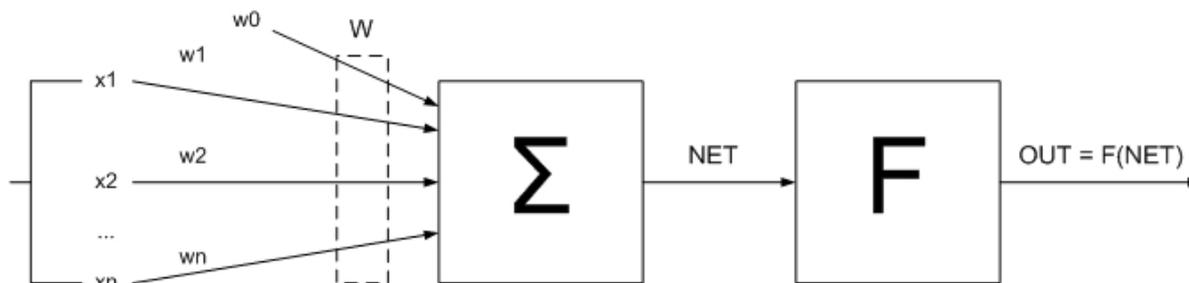


Рис. 3. Искусственный нейрон с функцией активации

На рис. 3  $F$  – функция активации (активационная функция, функция возбуждения) – функция, вычисляющая выходной сигнал искусственного нейрона [2].

### Обучение нейросети

Веса входных сигналов, поступающих на нейроны, складываются, они могут быть положительными или отрицательными. После этого с сумматора на функцию активации поступают данные для нормализации их выходных значений, например – от множества чисел до 1 и 0 [3].

$$\frac{1}{(1 + \exp(-ANET))},$$

где  $A$  – степень крутизны на графике функции.

Установив порог допустимых значений, функция активации выдает или 1, или 0.

Процесс обучения сети заключается в том, чтобы предоставить сети обучающую выборку. Обучение может происходить с «учителем» – тем, кто контролирует процесс обучения, или в автоматическом режиме. После того как ИНС, обучающаяся с учителем, полностью пройдет полный круг выборки (это называется *эпоха обучения*), она готова к тестированию ранее неизвестными образами. Если в ходе тестирования ошибка уменьшается, значит, сеть выполняет обобщение или, другими словами, учится. Если же ошибка на обучающихся данных уменьшается, а на тестовых увеличивается, то сеть просто запоминает обучающие данные – это называется переобучением сети. В таком случае обучение сети продолжать нет смысла, и его заканчивают. Гарантии для сетей, использующих такое обучение (итерационных сетей), нет. Также нельзя полностью обеспечить автоматическое обучение сети, однако такое возможно для неитерационных сетей [4].

### Типы ИНС

Существуют следующие типы ИНС:

- однослойные;
- многослойные;
- прямого распространения;
- обратного.

Хочется выделить сети с обратными связями: они имеют способность к ассоциативной памяти и поэтому способны обучаться лучше всех остальных ИНС других типов.

## Применение ИНС

Нейросети можно использовать для следующих целей:

1. Классификация образов (определение принадлежности образа по ряду векторных признаков).
2. Аппроксимация функций (нахождение подходящей ИНС для дальнейшего соответствия).
3. Кластеризация (самостоятельное разбиение на группы разных неизвестных образов).
4. Прогнозирование (прогнозирование событий на основе анализа входных и выходных данных).
5. Ассоциативная память (создание ассоциативных образов на примере ранее изученных и схожих по признакам).
6. Управление (перевод системы из начального состояния в заданное).

Применение ИНС получило распространение в очень многих сферах, например:

1. Автомобилестроение.
2. Оптимизация поиска в интернете.
3. Распознавание лиц, отпечатков пальцев, речи.
4. Медицина.
5. Авиация.

С развитием авиации системы управления летательными аппаратами (ЛА) становятся все сложнее. Нейроуправление – это качественно новый подход к управлению ЛА, уже сейчас производители внедряют новую технологию управления самолетами. Нейросети в режиме реального времени принимают решение, исходя из информации, поступающей с приборной панели пилота, а именно:

- для управления силовой установкой ЛА;
- управления взлетом, посадкой и маневрированием ЛА;
- обеспечения отказоустойчивости управления полетом ЛА;
- контроля и диагностики силовой установки ЛА;
- идентификации аэродинамических параметров ЛА;
- систем авионики, бортовых навигационных экспертных систем;
- систем управления воздушным и наземным движением ЛА;
- диагностики и прогнозирования усталостного разрушения авиационных конструкций.

В качестве ИНС для космических аппаратов предлагаются нейронные сети:

- 1) для адаптивного управления переориентацией и угловой стабилизации космического аппарата (КА) в условиях непредвиденных изменений его динамической схемы и априорной неопределенности возмущающих моментов;
- 2) минимизации потерь бортовой системы электроснабжения (СЭС) вследствие оптимального токораспределения;
- 3) диагностирования бортового оборудования КА на основе автономного анализа формируемой на борту телеметрической информации;
- 4) повышения качества функционирования системы управления сближением КА путем оптимизации состава селективных признаков и оперативного определения параметров относительного состояния [5].

Также нейросети можно применить в сфере навигации самолетов. Вместо диспетчеров с помощью функций ИНС, таких как классификация и распознавание, можно составить подходящий маршрут по наиболее выгодному для всех ЛА воздушному коридору. В расчет также предлагается ввести значимость полета (грузоперевозки или пассажироперевозки), дальность полетов n-го количества

самолетов и другие меры для обеспечения наиболее выгодного для всех маршрута. Эта технология позволит автоматизировать работу диспетчера и свести ее к нулю.

Очевидно, что мы вошли в эру глобального использования ИНС для решения многочисленных проблем в жизни человечества. Еще недавно мало кто верил в успех нейросетей, а сейчас они помогают решить миллионы проблем по всему миру. ИНС значительно облегчат жизнь как в сложных научных задачах, так и, например, могут почти полностью избавить мир от консультантов и пр. Нельзя скрыть этот факт – будущее за искусственными нейросетями.

### Библиографический список

1. Нейронные сети: технологии XXI века [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gubkin.ru/departaments/university\\_departments/DIaCS/gazeta/pub/2016/16-17-2016-7/pub.pdf](http://www.gubkin.ru/departaments/university_departments/DIaCS/gazeta/pub/2016/16-17-2016-7/pub.pdf).
2. Статья из «Гиктаймс» [Электронный ресурс]. URL: <https://geektimes.ru/post/40137/>.
3. Статья из «Хабрахабр» [Электронный ресурс]. URL: <https://habrahabr.ru/post/320742/>.
4. Статья из «Википедии» [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственная\\_нейронная\\_сеть](https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственная_нейронная_сеть).
5. М. В. Бураков. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учеб. пособие. СПб, 2013. 284 с.

### УДК 621.3.051

**А. А. Хасанов**

ученик 10-го класса ГБОУ гимназия № 177 Санкт-Петербурга

**В. А. Пархоменко, С. А. Шалаев**

магистранты кафедры электромеханики и робототехники – научные руководители

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕТИ SMART GRID

Smart Grid – термин, обозначающий интеллектуальную сеть, которая расширяет при помощи цифровых технологий распределительную и транспортную системы для оптимизации текущих операций и открытия новых рынков для альтернативной энергетики. Реализация концепции «интеллектуальная сеть» (Smart Grid в России больше распространен как термин «активно-адаптивная сеть») позволит в онлайн-режиме отслеживать и контролировать работу всех участников процесса выработки, передачи и потребления электроэнергии, в автоматическом режиме оперативно реагировать на изменения различных параметров в энергосистеме и осуществлять электроснабжение с максимальной надежностью и экономической эффективностью [1].

Термин Smart Grid («интеллектуальные сети») имеет несколько определений, но все эти определения сходятся на том, что эти сети должны обеспечивать:

- получение информации от поставщиков электроэнергии о ее генерации;
- получение информации от потребителей о расходе электроэнергии;
- управление как производством, так и потреблением электроэнергии.

Причем все это должно производиться в режиме реального времени и иметь конечной целью достижение максимальной эффективности работы каждого элемента энергосистемы.

Среди целей создания интеллектуальной сети выделим следующие:

- увеличение использования цифровых и контролирующих технологий для обеспечения надежности, безопасности и эффективности электрической сети;
- динамическая оптимизация операций в сети с обеспечением полной информационной защищенности;
- развитие и интеграция распределенной генерации, включая возобновляемые источники энергии;
- управление спросом. Повышение энергоэффективности потребителей;
- использование интеллектуальных технологий для мониторинга состояния сети и управления сетью;
- интеграция «умных» приборов учета и устройств потребителя;
- развертывание и интеграция технологий хранения электроэнергии и снятия пиков нагрузки;
- предоставление потребителям своевременной информации и возможностей управления;
- разработка стандартов взаимодействия «умных» приборов и оборудования, подключенного к сети, включая инфраструктуру управления сетью (Plug&Play);
- идентификация и снижение неразумных и излишних барьеров, препятствующих развитию технологий, практик и услуг в области интеллектуальных сетей.

Появление и развитие концепции Smart Grid является естественным этапом эволюции электроэнергетической системы. Это обусловлено, с одной стороны, насущными потребностями энергорынка, на котором взаимодействуют производители и потребители электроэнергии, а с другой стороны, наличием технических возможностей решать эти проблемы, в первую очередь с использованием новых компьютерных и телекоммуникационных технологий. Общие идеи, заложенные в Smart Grid, показаны на рис. 1, а именно показано взаимодействие элементов традиционной энергосистемы (электроэнергетическая инфраструктура), с одной стороны, и системы управления, систем телекоммуникаций, «умных» приборов учета, ветрогенераторов, солнечных панелей и т. п. («интеллектуальная» инфраструктура) – с другой стороны [3].

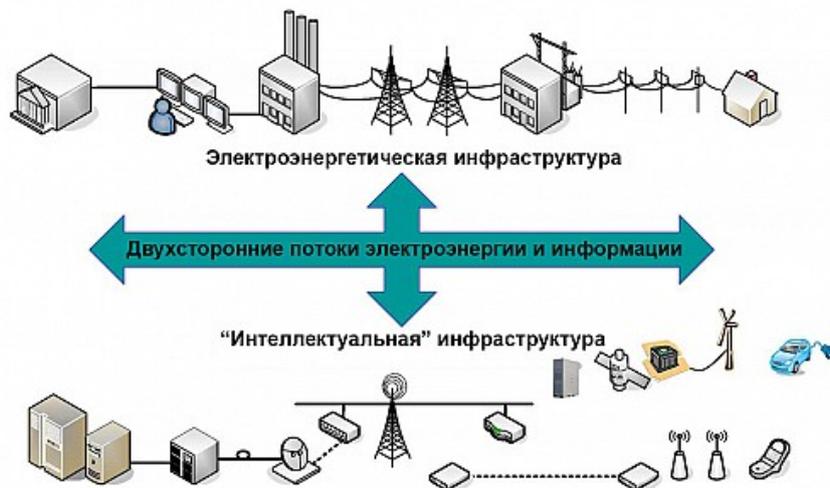


Рис. 1. Взаимодействие элементов традиционной энергосистемы и систем управления

По мнению Европейской комиссии, занимающейся вопросами развития технологической платформы в области энергетики, Smart Grid можно описать следующими аспектами функционирования:

*Гибкость.* Сеть должна подстраиваться под нужды потребителей электроэнергии.

*Доступность.* Сеть должна быть доступна для новых пользователей, причем в качестве новых подключений к глобальной сети могут выступать пользовательские генерирующие источники, в том числе ВЭИ с нулевым или пониженным выбросом CO<sub>2</sub>.

*Надежность.* Сеть должна гарантировать защищенность и качество поставки электроэнергии в соответствии с требованиями цифрового века.

*Экономичность.* Наибольшую ценность должны представлять инновационные технологии в построении Smart Grid совместно с эффективным управлением и регулированием функционирования сети.

### Архитектура Smart Grid

Оптимизируя существующие энергосистемы, можно увеличить их эффективность без значительных капиталовложений в новые технологии производства, передачи и распределения энергии. На самом деле, модернизируя существующую энергосистему до интеллектуальной, можно создать полностью интегрированную систему, начиная от производства и передачи, заканчивая распределением и потреблением электричества частными пользователями (рис. 2). К тому же концепция Smart Grid подразумевает использование возобновляемых источников энергии за счет интеграции локальных микроэнергосетей, что позволяет отказаться от радиационных поставщиков электричества, например атомных или угольных электростанций [4].



Рис. 2. Архитектура Smart Grid

### Технологии Smart Grid

Внедрение интеллектуальных сетей в нашей стране очень важно, учитывая все имеющиеся проблемы в нынешнее время в энергетической отрасли. Однако развитие Smart Grid в России существенно приостанавливает отсутствие нормативной базы, довольно слабые экономические стимулы и то состояние, в котором сейчас находится энергетическая инфраструктура.

Благодаря уже проведенной реформе в данной отрасли удалось создать огромнейшие комплексы. Но в них все же остались проблемы:

- недостаточный уровень зрелости системы мониторинга;
- слабый контроль ресурсов;
- изношенное состояние основных фондов;
- довольно существенные потери электрической энергии и многое другое.

Но это не является причиной опускать руки. Сегодня технологии Smart Grid активно разрабатываются и внедряются во многие сетевые компании с непосред-

ственным участием тут государства. Выполняется это в рамках корпоративного инновационного развития. Все это важно по той причине, что в нынешнее время происходит настоящая революция в мировой электроэнергетике. Данные интеллектуальные технологии активно внедряются в таких странах, как Китай, США, Япония и Европа. Нашей стране нельзя отставать в этом.

Преимущества использования сетей Smart Grid:

- эффективное использование электроэнергии;
- увеличение доли распределенных систем производства энергии и возобновляемых источников энергии;
- увеличение гибкости подачи питания;
- снижение общей стоимости доставки электричества;
- увеличение стабильности и качества подачи электричества;
- увеличение безопасности энергосистем.

В настоящее время многие государства внедряют системы Smart Grid и строят распределенные энергосистемы вместо классических централизованных систем. Распределенные системы легко интегрируют в себя узлы производства, передачи и распределения, при этом частью сети становятся даже обычные электросчетчики и домашние бытовые приборы. При создании интеллектуальных энергосистем инженеры должны решать задачи управления энергией, передачи данных и анализа информации.

#### **Библиографический список**

1. Дьяков А. Ф., Платонов В. В. Единая энергетическая система России в период рыночных преобразований: учеб. пособие. М.: изд-во МЭИ, 2003. 152 с.
2. Современная электроэнергетика / под ред. А. П. Бурмана, В. А. Строева. М., 2010. 632 с.
3. Международный электротехнический журнал [Электронный ресурс]. URL: <http://electrician.com.ua/posts/1389>.
4. Зеленая энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <http://greenevolution.ru/enc/wiki/smart-grid/>.

#### **УДК 620**

**В. А. Шашлов**

ученик 11-го класса ГБОУ СОШ № 485 Санкт-Петербурга

**М. Ю. Кузов**

магистрант кафедры управления в технических системах – научный руководитель

**И. Ю. Воробьев**

магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

### **БИОНИЧЕСКОЕ ПРОТЕЗИРОВАНИЕ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

Бионические протезы – это протезы, созданные при взаимодействии трех наук: бионики, биологии и робототехники. Данные протезы представляют из себя роботизированные конечности, снабженные датчиками, процессорами и сервоприводами. Отличительная особенность бионического протеза от протеза другого типа заключается в конструкционных особенностях и в реализации системы управления.

Управление протезом осуществляется за счет регистрации изменения электрического потенциала. Каждое действие человека осуществляется за счет электрического сигнала, который по нервам достигает мышечных тканей и нервных окончаний, находящихся в мышцах. Многочисленные научные группы занимаются разработкой протезов, действующих по такому же принципу. В американском Хьюстонском университете велись эксперименты по снятию нервных импульсов методом электроэнцефалографии (ЭЭГ) с помощью электродов на коже головы человека. Сложность этого метода в том, что ЭЭГ – это набор большого количества разных сигналов, и выделить среди них те, которые управляют движениями конечности, на данный момент почти невозможно. Исследователи из Шведского университета Чалмерса решили располагать электроды не на поверхности кожи, а вшивать электроды под кожу с целью избежать помех, но столкнулись с проблемой, обусловленной физиологией человека. Анатомические особенности и кучность расположения нейронов не позволяют с необходимой точностью считывать сигнал [1].

На данный момент наиболее перспективным методом является метод считывания электрических импульсов с мышц культи. Протезы с подобным методом считывания сигнала уже давно вышли за пределы лабораторий и производятся массово. В лаборатории прикладных кибернетических систем Московского физико-технического института пытаются написать программное обеспечение, которое должно способствовать правильной расшифровке электрических импульсов человеческого мозга благодаря подключению нескольких пар электродов. Такой метод позволяет добиться максимальной точности и даст возможность реализовать алгоритмы «машинного обучения». Ученым из лаборатории уже удалось добиться работоспособности прототипа системы: человек с ампутированной конечностью смог перемещать курсор мышки по экрану с помощью мышечных сигналов. В дальнейшем планируется реализовать машинное обучение для ускорения процесса обработки данных и повышения точности. Также ученые ищут способ повысить автономность работы протезов.

Есть несколько удачных проектов, так или иначе увидевших свет. Наиболее удачными считаются BeBionic и MyoFacil. Также есть ARM, но данный протез недоступен для покупки, так как является прототипом. Конструкция протеза должна позволять пользователю выполнять каждодневные задачи, не принося дискомфорта. Протезы MyoFacil, в отличие от BeBionic, больше похожи на анатомическую конечность человека и не станут привлекать взгляды окружающих, в то время как протезы BeBionic выглядят футуристично, но при этом имеют гораздо больший потенциал в работе. В таблице отображены технические характеристики [2].

Таблица

Технические характеристики протезов

Протез	Разработчик	Вес(г)	Количество суставов	Количество приводов	Степени свободы
BeBionic	RSL STEEPER	495–539 г	11	5	6
MyoFacil	Otto Bock	420 г	6	2	2

Протез MyoFacil является более легким, но менее мобильным и функциональным. Зачастую люди с односторонней ампутацией выбирают протезы MyoFacil, но людям с двусторонней ампутацией нужны функциональные протезы, способные выполнять большинство задач, с которыми человек сталкивает-

ся каждый день. Протез MyoFacil имеет всего один хват, для большинства ежедневных задач этого вполне достаточно, но зачастую это доставляет неудобства пользователю.

Протез VeBionic имеет 14 хватов, для повседневной жизни достаточно 5–7 хватов, но благодаря 14 хватам VeBionic становится универсальным инструментом [3].

Управление отдельными пальцами пока недоступно в силу того, что научное сообщество не имеет возможности обучить ПО точно считывать нервные импульсы, но, благодаря ученым из лаборатории Физико-технического института, управление отдельными пальцами станет абсолютно тривиальной задачей. Также протезы отличаются способом соединения с телом человека, все крепления разрабатываются для каждого индивидуально. Наиболее технологичные проекты в области протезирования верхних конечностей выполняются при поддержке Агентства передовых оборонных технологий и исследовательских проектов США. О запуске проекта «Революционное протезирование» было объявлено еще в 2006 году, исследовательское бюро показывает миру впечатляющие результаты. Одна из разработок – протез ARM. Бионическая рука способна выполнять множество одновременных точных движений (сгибание и повороты в плечевом, локтевом суставах и запястье, а также захваты пальцами), преобразуя электрические сигналы от мышц и передавая их на встроенный компьютер, управляющий электрическими приводами. Также есть возможность управлять протезом при помощи импульсов с мозга, но по сей день ученые не нашли способ точно считывать мозговые импульсы и передавать их на процессор протеза. Данный протез позволяет выполнять все повседневные задачи и не приносит дискомфорта пользователю. Испытания протезов проходили как в условиях повседневной жизни, так и в условиях военного конфликта [4].

Технологии при использовании бионических протезов могут быть полезны не только в области протезирования, но и при создании связи между человеком и роботом, управлении транспортных средств, создании экзоскелетов и иных приспособлений, призванных упростить выполнение различных задач. На данный момент основной задачей является повышение точности считывания сигнала с нервных окончаний и нахождения правильного вектора развития для создания прибора, позволяющего считывать импульсы непосредственно с головного мозга человека. Также стоит найти способ сделать протезы наиболее приближенными к человеческой руке благодаря внедрению в производство искусственной кожи, созданной из полимеров, и повысить автономность работы.

### **Библиографический список**

1. Материал с сайта Департамента помощи ветеранам США. Механическая конструкция и эксплуатационные характеристики антропоморфных протезов рук [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rehab.research.va.gov/jour/2013/505/belt-er505.html>.

2. Материал с сайта «Наука» [Электронный ресурс]. URL: <https://geektimes.ru/post/277032/>.

3. Бионический протез: устройство, установка, принцип работы. Бионические протезы конечностей [Электронный ресурс]. URL: <http://fb.ru/article/196231/bionicheskiy-rotez-ustroystvo-ustanovka-printsip-raboty-bionicheskie-rotezyi-konechnostey>.

4. Обзор рынка бионических рук на 2016 год: что можно купить в России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.popmech.ru/science/235633-kak-rabotayut-bionicheskie-rotezy/>.

**УДК 620.97**

**М. Е. Щербаков**

ученик 9-го класса ГБОУ СОШ № 367 Санкт-Петербурга

**М. В. Коновалов**

магистр кафедры программно-целевого управления в приборостроении – научный руководитель

## **ЭНЕРГИЯ ЧЕРНЫХ ДЫР**

Долгое время многие ученые бьются над тем, чтобы получить доступ к дешевому и доступному источнику энергии. Одним из этих источников энергии являются черные дыры. Черные дыры – область пространства-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть ее не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света, в том числе кванты самого света. Граница этой области называется горизонтом событий, а ее размер – гравитационным радиусом, который равен радиусу Шварцшильда [1] (радиус, до которого нужно сжать массу, чтобы она приобрела свойства черной дыры. Например, для Солнца радиус Шварцшильда равен около 3 км). Существует 4 версии возникновения черных дыр:

1. Гравитационный коллапс достаточно массивной звезды (более чем 3,6 масс Солнца) на конечном этапе ее эволюции.

2. Коллапс центральной части галактики или прогалактического газа. Современные представления помещают огромную черную дыру в центр многих, если не всех, спиральных и эллиптических галактик.

3. Формирование черных дыр в момент Большого взрыва в результате флуктуаций гравитационного поля и/или материи. Такие черные дыры называются первичными.

4. Возникновение черных дыр в ядерных реакциях высоких энергий – квантовые черные дыры.

### **Виды энергии**

В космосе множество различных видов энергий: тепловая энергия, энергия потоков плазмы, световая энергия, энергия антиматерии, электромагнитное излучение... Однако, несмотря на все разнообразие энергий, не каждую из них можно использовать.

Можно заставить черную дыру уступить малую толику энергии в виде электромагнитного излучения. И это возможно: сорок лет назад Стивен Хокинг показал, что горизонт черной дыры непрерывно излучает фотоны, спектр которых точно соответствует спектру абсолютно черного тела. Правда, их температура почти всегда очень низка – для дыры солнечной массы она составляет всего 5·10<sup>-8</sup> К, а для черных дыр в центрах галактик – еще в миллионы и миллиарды раз меньше. Поскольку излучающая дыра теряет массу, она нагревается, светит все ярче и в конце концов взрывается, формируя из газа две тонкие струи – джеты. Это был бы отличный источник энергии, если бы процесс не был настолько медленным, к тому же скромная дыра солнечного калибра может стать реальным источником энергии где-то через 10<sup>65</sup> лет после своего рождения. Никакая цивилизация столько не протянет.

Но есть и другая возможность, которую рассмотрел физик-теоретик из Станфордского университета Адам Браун. Все дело в том, что окрестность чер-

ной дыры покидают отнюдь не все частицы хокинговского излучения. Некоторые из этих фотонов в самом деле улетают в бесконечность, однако по большей части они захватываются гравитационным полем дыры и возвращаются к горизонту событий. Вращение дыры не только не устраняет этот эффект, но даже его усиливает. В результате вблизи горизонта накапливаются фотоны, в том числе и довольно горячие. Извлечь их несложно. Опустим на прочном тросе к горизонту «фотоночерпалку» – контейнер с зеркальными стенками, заполним его излучением, закроем и поднимем наверх. Ничто не мешает раз за разом повторять эту операцию, превратив дыру в практически неиссякаемый источник ценнейшей лучевой энергии. Но никакая сталь, никакие сверхпрочные полимеры и даже углеродные нанотрубки, прочность которых на много порядков превосходит известные сегодня материалы, не выдержат нагрузки – вблизи дыры они порвутся просто под действием собственного веса [2].

Наиболее выгодным будет добыча античастиц, вылетающих из черной дыры. При столкновении с материей антиматерия аннигилирует, выбрасывая в пространство тепловую энергию. При аннигиляции 1 кг антивещества выделяется порядка  $1.8 \cdot 10^{17}$  Дж энергии (это эквивалентно 43 мегатоннам тротила), что эквивалентно 50 миллиардам кВт·ч электроэнергии. Однако при аннигиляции как минимум половина энергии выделяется в виде нейтрино, которые не взаимодействуют с веществом, а значит, не могут быть использованы в современных энергетических установках. Считая КПД самого процесса равным 50%, получаем, что для получения 1 кВт·ч электричества нам нужно  $4 \cdot 10^{-8}$  грамма (400 мкг) антивещества [3].

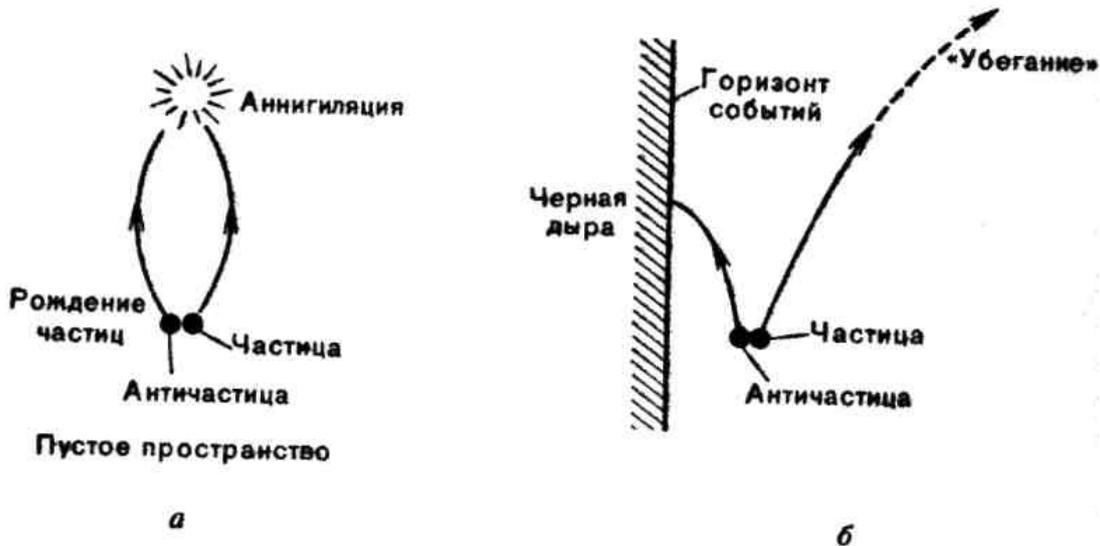


Рис. 1. Получение античастиц

### Энергия античастиц

Можно было бы создать искусственную черную дыру. «Черная дыра солнечной массы может вырабатывать частицы излучения Хокинга с малой скоростью, в связи с чем его практически будет невозможно заметить. Но если ее уменьшить до размеров холма, то тогда черная дыра будет вырабатывать рентгеновское и гамма-излучение с суммарной мощностью около десяти миллионов мегаватт, чего хватит на питание электроприборов Земли», – сказал физик. Малые черные дыры, по мнению ученого, могут представлять опасность для планеты, поскольку

могут мигрировать к центру Земли и таким образом вызывать глобальную катастрофу. Гораздо безопаснее было бы удерживать эти массивные объекты на значительном расстоянии от планеты (например, на околоземной орбите) [4]. Однако этот способ доступен только в далеком будущем, когда ученые смогут создавать искусственные черные дыры.

Вместо этого можно построить станцию для добычи антиматерии, где ее можно было бы ловить, упаковывать и отправлять на Землю. Однако возникает вопрос – как транспортировать в контейнерах то, что при соприкосновении с любым объектом взрывается? Эта проблема была частично решена учеными ЦЕРНа. Они создали глубокий вакуум, чтобы избежать столкновения случайных атомов воздуха с антивеществом. Чтобы удержать античастицы, была создана «магнитная бутылка», состоящая из комбинации магнитных и электрических полей. Однако в ловушке можно удержать лишь ничтожное количество антипротонов и позитронов, иначе она будет разрушена зарядом [5].

Как устроена станция? Сначала нужно озаботиться вопросом защиты станции от потоков плазмы вокруг черной дыры. Международная группа ученых во главе с Рут Бамфорд (Ruth Bamford) из британской лаборатории Резерфорда и Эплтона (Rutherford Appleton Laboratory – RAL) разработала проект «Мини-магнитосферы» (Mini Magnetosphere), которая могла бы закрыть станцию от воздействия плазмы.

Исследователи посчитали, что чистый магнитный барьер действительно не справился бы с задачей (как и чистая электростатическая защита или «голый» плазменный барьер). Это должно быть не просто магнитное поле, но сочетание поля с плазменным барьером, контролируемым этим самым полем. Такой барьер образуется из самих частиц солнечного ветра, набегающего на корабль, и этот же барьер взаимодействует с остальным потоком, а также с магнитным полем Солнца. Предыдущие исследования упускали из виду сложное взаимодействие сил в динамической квазинейтральной плазме, пронзаемой магнитным полем, как утверждают нынешние экспериментаторы. Везде, где есть плазма с различными по плотности и температуре областями, есть и собственные ее локальные поля, поясняют ученые.

Прогресс в области токамаков – прообразов реакторов синтеза, где взаимодействию плазмы и поля уделяется огромное внимание, – позволил исследователям из Британии, Португалии и Швеции по-новому взглянуть на проблему магнитного щита для космических кораблей. Он фактически должен включать в себя все три активные защиты, рассмотренные ранее (плазменную, магнитное и электрическое поля), причем именно взаимодействие всех трех приводит к желаемому результату [6].

Далее – сама ловушка. Физический ускоритель, где антиматерия сразу после «поймки» будет рассортировываться по магнитным контейнерам и отправляться на Землю. Однако сразу возникает вопрос транспортировки. Ближайшая к нам черная дыра – Сагиттарид находится в 26000 световых лет от Земли или 14 млн миль. Транспортировка антиматерии займет весьма долгое время, но, изучив ее, ученые смогут создать новые двигатели, ускорить транспортировку и наладить добычу энергии.

### **Заключение**

Потенциал энергии черных дыр для человечества безграничен, однако с сегодняшним уровнем развития технологий такой способ добычи энергии возможен только в теории. Возможно, через сотни лет человечество сможет подчинить себе необъятную силу космоса.

**Библиографический список**

1. «Википедия» [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Черная\\_дыра](https://ru.wikipedia.org/wiki/Черная_дыра) (дата обращения: 18.03.17).
2. Популярная механика [Электронный ресурс]. URL: <http://www.popmech.ru/science/176501-наука-nevozmozhnogo-kak-dobyt-energiyu-iz-chernykh-dyr> (дата обращения: 18.03.17).
3. Антивещество. [Электронный ресурс]. URL: <http://dmitryga.ru/2010/316> (дата обращения: 18.03.17).
4. Частный корреспондент [Электронный ресурс]. URL: [http://www.chaskor.ru/news/energiya\\_chernyh\\_dyr\\_39980](http://www.chaskor.ru/news/energiya_chernyh_dyr_39980) (дата обращения: 18.03.17).
5. Нанотехнологии [Электронный ресурс]. URL: <http://nanodigest.ru/interesnoe-v-seti/interesnoe-v-seti/antimateriya-i-ee-ispolzovanie> (дата обращения: 18.03.17).
6. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.membrana.ru/particle/3298> (дата обращения: 18.03.17).

<b>Баранова А. А.</b> <i>Современные технологии и применение новых коагулянтов и флокулянтов в очистке воды</i> .....	3
<b>Белай В. Е.</b> <i>Особенности дистанционного управления промышленным роботом-манипулятором</i> .....	9
<b>Берестюк Е. А.</b> <i>Блок управления двигателем в составе силового гироскопического комплекса (СГК250)</i> .....	12
<b>Ватаева Е. Ю.</b> <i>Обзор методов исследования систем экстремального регулирования</i> .....	17
<b>Веретехин А. В., Гертнер И. В., Гурулев А. Н., Пась Д. Е., Фадеев А. С.</b> <i>Система «умный дом»</i> .....	20
<b>Вострикова Е. А.</b> <i>Использование современных ионообменных технологий в водоочистке</i> .....	23
<b>Гончарова В. И., Бакустина М. И.</b> <i>Автономный робот-вездеход</i> .....	27
<b>Гречкин Н. Л.</b> <i>Анализ использования инновационных разработок в «мягкой робототехнике»</i> .....	30
<b>Давлетов Б. Б., Левен А. С.</b> <i>Методы снижения коммерческих потерь в электроэнергетике</i> .....	32
<b>Далматова А. А.</b> <i>Практика ценообразования на розничном рынке электроэнергии РФ</i> .....	33
<b>Ибраев Р. Б., Поваляев П. В.</b> <i>Система дистанционного управления «умной» бытовой аппаратурой</i> .....	40
<b>Ильин А. А.</b> <i>Адаптивные системы с настраиваемой моделью объекта управления</i> .....	45
<b>Калюжный Д. О.</b> <i>Использование метода конечных элементов для исследования магнитных муфт различной конструкции</i> .....	50
<b>Кашаев А. Р., Некоз П. С.</b> <i>Перспективы развития электроэнергетики как инфраструктурной отрасли экономики</i> .....	54
<b>Козырь П. С.</b> <i>Искусственные мышцы: новые перспективы на основе использования углеродных наноструктурных материалов</i> .....	56
<b>Комендантов Н. Ю.</b> <i>Грозовые перенапряжения в системах электроснабжения</i> .....	60

<b>Кондратков А. В.</b> Светодиодные 3D-массивы.....	64
<b>Корнюшин А. М.</b> Управление уровнем жидкости в технологическом процессе.....	67
<b>Крестовников К. Д.</b> Система беспроводной зарядки мобильных роботов .....	71
<b>Кривенко Н. В.</b> Использование нейронных сетей в системе автоматизированного управления газоперекачивающего агрегата .....	76
<b>Крижановский В. В.</b> Проблемы современной энергосистемы в России и программа их реализации .....	78
<b>Купеева В. А.</b> Лексический анализ текста на основе инструмента «Томита-Парсер».....	81
<b>Лавринович Д. В.</b> Инженерный анализ механических и термомеханических характеристик экранов магнитных муфт .....	83
<b>Лач С. Ю., Казаков А. И., Рысин А. В., Шевцов В. В.</b> Система интеллектуального управления освещением.....	91
<b>Мельникова А. А.</b> Эффективность систем программного регулирования на примере промышленных станков с программной конфигурацией.....	94
<b>Мельникова А. А.</b> Понятие системы программного регулирования.....	96
<b>Михеев Л. В., Перфильев А. В.</b> Сенсоры изгиба в системах управления антропоморфными роботами .....	97
<b>Назойкина И. С.</b> Математическая модель процесса стерилизации в автоклаве .....	101
<b>Никулин П. С.</b> Релейная защита и автоматика на микропроцессорной базе .	104
<b>Очередин А. Д.</b> Передача интернета по системе электроснабжения объекта .....	106
<b>Панчак В. П.</b> Роль физико-химических процессов в области конструирования и технологии электронных средств на примере выращивания монокристаллов кремния.....	108
<b>Пархоменко В. А.</b> Применение гибких систем передачи электроэнергии (FACTS) в современных объектах энергетики .....	112
<b>Пищалкина Н. Д.</b> SMART GRID – «умные» системы энергетического снабжения .....	118

<b>Платонов А. К.</b> Система управления ядерным реактором.....	124
<b>Попков Д. Е.</b> Реализация декодирования и воспроизведения сжатых аудиоданных через ЦАП.....	130
<b>Пржевальский Х. Е., Медведев М. В.</b> Ядерный топливный цикл.....	132
<b>Проказов К. А.</b> Оценка функционирования энергоэффективного жилого комплекса в России.....	140
<b>Прусак Н. И.</b> Применение современных преобразователей и электромеханических систем в электромобилях.....	145
<b>Пылин Ю. С., Консон Ю. А.</b> Сверхпроводниковые генераторы для автономных электрических сетей от 1 МВт и выше.....	148
<b>Роговская М. Д., Толстой М. И., Гречкин Н. Л.</b> Реализация светового будильника на базе микрокомпьютера INTEL EDISON.....	151
<b>Сабиров А. М., Хайруллин А. К.</b> Модификация танинсодержащего растительного экстракта в среде низкотемпературной плазмы.....	153
<b>Савченков М. К.</b> Обзор современных технологий в ветроэнергетике.....	154
<b>Седов Р. В., Бурьянов Р. О.</b> Управление спросом на электроэнергию.....	156
<b>Семикозова Е. М.</b> Влияние отклонений зеркальной системы радиотелескопа от источника радиоизлучения на принимаемый сигнал.....	161
<b>Соколовский М. М.</b> Разработка математической модели турбоагрегата с учетом внешних случайных воздействий.....	168
<b>Степанищева Д. С.</b> Сравнительный анализ обеззараживания воды методом озонирования и ультрафиолетового излучения.....	172
<b>Терещенко Е. Р., Колесов И. С.</b> Лидары – «умные» помощники.....	176
<b>Толстой И. М.</b> Построение карты глубины с использованием стереопары и библиотеки компьютерного зрения OPENCV.....	180
<b>Чуфарин Н. А.</b> Системы генерирования электрической энергии летательных аппаратов.....	183
<b>Шалаев С. А.</b> Использование линий передач со сверхпроводниковым кабелем.....	188
<b>Щеголев М. Н.</b> Предиктор СМИТА для управления объектами с запаздыванием.....	192

---

<i>Асфар Д. Б. Энергоаудит как инструмент энергосбережения.....</i>	197
<i>Бачурин Д. Я. Ветроэнергетика .....</i>	200
<i>Бобина Е. С. Транспорт на солнечной энергии .....</i>	204
<i>Власов А. Ю. Развитие и перспективы электротранспорта .....</i>	208
<i>Жеребко С. О. Симбиоз робота и человека в работе над хирургическими задачами .....</i>	213
<i>Карбушев Н. А. Энергия черных дыр .....</i>	215
<i>Кондратьев И. А. Достоинства и недостатки противообледенительных систем самолета .....</i>	218
<i>Крижановский В. В. Проблемы современной энергосистемы в России и программа их реализации .....</i>	221
<i>Куделин А. С. Алгоритмы интеллектуальных мультиагентных систем .....</i>	224
<i>Марков Ю. А. Перспективы применения явления сверхпроводимости .....</i>	229
<i>Марычев Л. С. Система электроснабжения самолетов .....</i>	234
<i>Минина А. А. Искусственная кожа для космического робота .....</i>	238
<i>Петрова Н. С. «Умный дом» .....</i>	243
<i>Попов А. К. Искусственные нейронные сети .....</i>	247
<i>Салогуб Д. Д. Робототехнические системы в космосе.....</i>	251
<i>Сергеев М. А. Энергия черных дыр.....</i>	256
<i>Ситько И. Д. Нейронные сети в решении проблем .....</i>	260
<i>Хасанов А. А. Интеллектуальные сети SMART GRID.....</i>	264
<i>Шашлов В. А. Бионическое протезирование верхних конечностей .....</i>	267
<i>Щербаков М. Е. Энергия черных дыр.....</i>	270

Научное издание

ЗАВАЛИШИНСКИЕ ЧТЕНИЯ'2017

Молодежная секция

Сборник докладов

17–21 апреля 2017 г.

Ответственный за выпуск:  
д-р техн. наук проф. *В. Ф. Шишлаков*

Редактор *В. С. Гончарова*  
Компьютерная верстка *С. Б. Мацапуры*

---

Подписано в печать 16.11.17. Формат 60x84 1\16. Уч.-изд. л. 24,7.  
Усл. печ. л. 16,1. Тираж 150 экз. Заказ № 479.

---

Редакционно-издательский центр ГУАП  
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67