

## УДК 608.2

**Д. И. Абрамов**

ученик 11 класса ГБОУ Гимназии 205 Санкт-Петербурга

**Д. Е. Попков, Э. В. Петров** – магистранты кафедры электромеханики и робототехники – научные руководители**РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ БЮДЖЕТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ**

На сегодняшний день промышленные средства автоматизации шагнули далеко вперед как в качестве и технологичности, так и в цене. Для некоторых предприятий именно стоимость обновления оборудования является сдерживающим фактором, не дающим увеличить эффективность и технологичность работы. Однако иногда получается и так, что дорогостоящее оборудование на производстве выполняет задачи, для которых его функционал избыточен. Такие ситуации создают необходимость в недорогих решениях, основанных на точном подборе нужных составляющих по требуемым характеристикам, а также разработке уникальных узкопрофильных конструкций, подходящих именно для поставленной задачи.

Во второй половине двадцатого века с появлением технологий автоматизации производства крупные компании, первыми получившие их, имели возможность использовать свои исследовательские мощности, чтобы разрабатывать наиболее подходящие решения для конкретных задач. Это было обусловлено и тем, что электроника стоила гораздо дороже механики. В наше время ситуация изменилась – системы автоматизации активно находят применение на небольших предприятиях, которые в свою очередь вынуждены довольствоваться дорогой широкопрофильной техникой, представленной на рынке. С распространением дешевых микроконтроллеров [1] появилась возможность разрабатывать свои решения для конкретных ситуаций в производстве. Чтобы наглядно показать преимущество узкоспециализированных бюджетных конструкций над дорогой широкопрофильной техникой, были собраны два функциональных макета:

1. Юникод-манипулятор: манипулятор с шестью степенями свободы и максимальным расстоянием захвата в 39,5 см, управляемый с инфракрасного пульта, с возможностью удаленного управления и наблюдения через Интернет.

2. Автоматический принтер: 3D-принтер с подробным управлением и обратной связью через Интернет, печатающий максимально быстро наиболее дешевым пластиком. При этом принтер должен быть безопасен для размещения в домашних условиях и не создавать шумового загрязнения (условие, диктованное средой проведения опыта).

3. Юникод-манипулятор в первую очередь обладает своей собственной конструкцией (рис. 1), созданной для максимальной экономии ресурса маломощных двигателей. Функциональные блоки манипулятора работают, используя механизмы активных и пассивных рычагов, позволяющие сервомоторам свободно передавать импульс. Манипулятор сильно отличается от традиционного варианта промышленной руки, который подразумевает последовательное размещение сервомоторов в конструкции, вместо этого взяв за основу идею порталного крана [2], реализованную рычагами и моторами, а не цилиндрами и тросами. Снизу у манипулятора располагается разборная основа, в которую можно как поместить противовес для устойчивости, так и спрятать большую часть проводки с контроллером. В основе так же располагается первый серводвигатель, вращающий всю «кадетку», которая поддерживает остальной манипулятор. Сама же каретка имеет по бокам по одному сервомотору, каждый из которых пользуется одним рычагом, чтобы передвигать манипулятор. Можно сказать, что левый мотор поднимает и опускает стрелу, а правый выдвигает и задвигает, однако это не совсем так. Из-за вращения рычага заметно влияют и на перпендикулярную ось движения манипулятора. Вверху, в местах сочленений, активные рычаги сервомоторов передают импульс дальше, а вес в какой-то степени компенсируется пассивными рычагами, опирающимися на подвижное крепление в каретке. Из верхнего сочленения же в свою очередь активные и пассивные рычаги протягиваются к штативу, тонкой конструкции с двумя миниатюрными сервомоторами, отвечающими за горизонтальный и вертикальный поворот окончания соответственно. И наконец, уже штатив держит еще один небольшой сервомотор, управляющий тонким и длинным захватом, кото-

рый сделан раздвижным, в противовес большинству манипуляторов, использующих монолитную конструкцию захвата, с двумя движущимися частями.

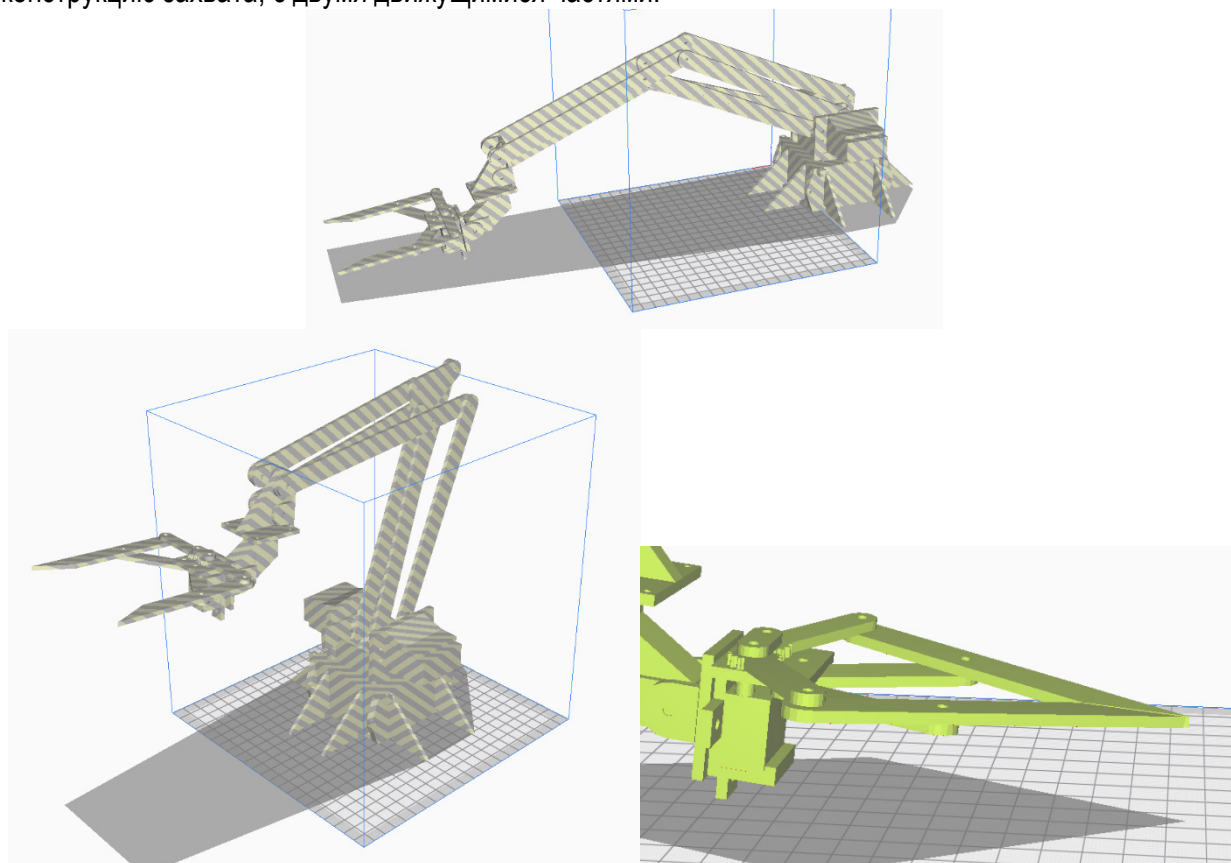


Рис. 1. Трехмерная модель разработанного манипулятора в разных положениях

4. Для проверки конструкции и функционала рычагов был изготовлен функциональный макет из ДВП. Полученный промежуточный результат являлся вполне удовлетворительным и даже был способен двигаться, но из-за низкой прочности материала быстро были выявлены точки, в которых приходилась наибольшая нагрузка во время работы. Полученные благодаря этой модели манипулятора данные помогли в создании окончательной версии из пластика, в которой потребовалось использовать большую толщину стенок каретки, а также противовес в сочетании с короткими опорами. Для управления манипулятором используется недорогая плата ESP-12 на чипе Tensilica L106, работающая на программе, написанной на языке C++. Для управления платой используется инфракрасный приемник, получающий сигналы с пульта. Эти сигналы преобразуются в понятные пользователю символы «стрелок», по которым он может дистанционно составить подходящий алгоритм и отправить на контроллер манипулятора для выполнения (рис. 2).

## Веб-интерфейс манипулятора

Принимаемые команды - ⌨↑↓←→⏪⏩⏴⏵⏶⏷⏸⏹⏺⏻⏼⏽⏾⏿ⓧ



Последовательность ИК команд:

↑↓↓↓⌨↑↓←→⏪⏩⏴⏵⏶⏷⏸⏹⏺⏻⏼⏽⏾⏿ⓧ

Рис. 2. Веб-страница управления манипулятором

В результате манипулятор хорошо показал себя на практике, будучи способен точно брать легкие грузы весом до 70 г и перемещать их в радиусе 39,5 см. Согласно теме работы следует подвести итог по цене составляющих в табл. 1.

Таблица 1

**Примерные цены на составляющие Unicode-манипулятора**

Шесть серво-моторов	ИК-пульт с приемником, контроллер, связка проводов	USB-разъем, блок питания 2А	Затраты пластика на печать деталей	3-мм крепеж	Итого:
1440 Р	250 Р	180 Р	245 Р	119 Р	2224 Р

Ближайший аналог, основанный на тех же двигателях, сделанный из пластика и имеющий столько же степеней свободы, был найден по минимальной цене за 11 000 руб. [3] (без управляющего элемента).

Переходя к 3D-принтеру, можно сказать, что приведенный ранее манипулятор во многом получился именно таким благодаря именно ему. На манипуляторе наглядно видно (рис. 3), как идет доработка способов печати, начиная с грубоватых деталей из серого пластика, заканчивая достаточно ровными деталями из красного пластика.

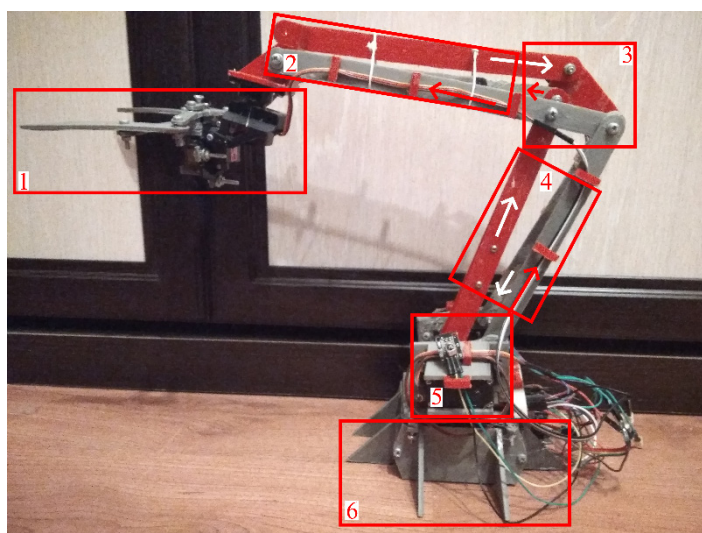


Рис. 3. Внешний вид Unicode-манипулятора: 1 – захват; 2 и 4 – рычаги; 3 – локоть; 5 – каретка; 6 – основание манипулятора. Стрелки на рычагах обозначают направление приложения силы

Принтер должен был обладать ключевой характеристикой – подогреваемой пластиной для того, чтобы он потреблял наиболее дешевый и достаточно сложный в печати пластик ABS, основная проблема которого – усадка пластика до 0,8 % объема модели [4]. Поэтому использовался Creality Ender 3 с рядом существенных доработок, таких как установка демпферов, выпрямителей тока и улучшенных пружин. В данном случае ставилась именно задача облегчения печати различных моделей для пользователя, а не превращение принтера в полностью автоматическую производственную линию, поэтому первый вариант проекта с автоматическим выключателем питания, pulverизатором для адгезивного раствора и механизмом для снятия готового изделия не подошел. Для этой системы потребовался достаточно мощный микрокомпьютер Raspberry Pi 3, камера 640x480 на шлейфе, виртуальная частная сеть, сторонняя прошивка OctoPi для взаимодействия с принтером через USB и средство потоковой трансляции для вывода изображения с камеры (рис.4). Из микрокомпьютера выходит шлейф к камере, закрепленной на верхней части рамы, которая осуществляет съемку рабочей поверхности принтера (рис. 5).

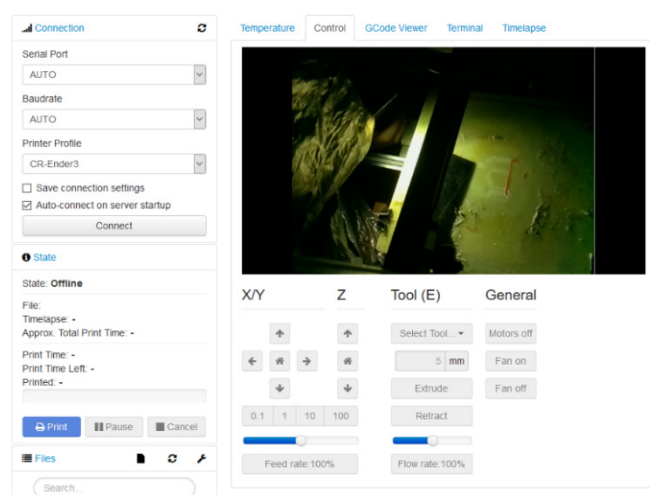


Рис. 4. Веб-страница для управления принтером

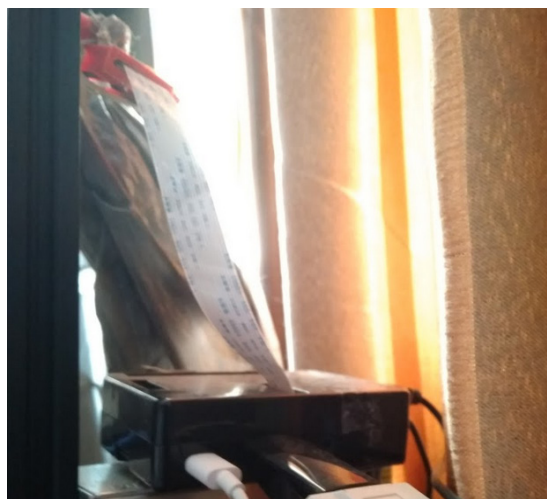


Рис. 5. Внешний вид микрокомпьютера

В результате получилась система, позволяющая удаленно ставить принтеру на печать модели, загружая их через браузер или выбирая из внутренней памяти принтера. Кроме наблюдения за показателями температуры, вида через камеру на процесс печати можно также сохранять записи печати на внутреннюю память для выявления внутренних дефектов модели; вручную замедлять и ускорять принтер на сложных и легких участках соответственно. Наконец, когда доработка принтера завершена, можно посмотреть на расходы и посчитать, сколько потребовалось для получения принтера, ориентирующегося на дешевые пластики от 400 руб. за кг, в табл. 2. Принтеры этого профиля в готовом виде расцениваются от 50 000 руб. [5].

Таблица 2

#### Примерные цены на составляющие автоматического принтера

Принтер	Микрокомпьютер	Камера	Другие детали	Итого
12 700 Р	2530 Р	462 Р	1570 Р	17 262 Р

Подводя итог, можно сказать, что создание узкопрофильной специализированной техники для конкретных задач пусть и достаточно трудоемко, но крайне выгодно. Можно предположить, что в будущем кроме, а возможно, и вместо дорогостоящих приборов будут выпускаться различные взаимосовместимые модули, которые в дальнейшем можно объединить в необходимое оборудование.

#### Библиографический список

1. Скробов А. Законы Мура. URL: <http://cs.usu.edu.ru/study/moore/#sect5> (дата обращения: 22.03.2020).
2. Портальные краны. URL: <https://konspekta.net/lek-3833.html> (дата обращения: 22.03.2020).
3. Amazon – 6 DOF Robot Arm. URL: <https://www.amazon.com/6DOF-Robot-Arm/s?k=6DOF+Robot+Arm> (дата обращения: 22.03.2020).
4. ABS-пластик для 3D-печати. URL: [https://3dtoday.ru/wiki/abs\\_plastic/](https://3dtoday.ru/wiki/abs_plastic/) (дата обращения: 22.03.2020).
5. 3D принтеры для печати из ABS-пластика. URL: <https://www.cubicprints.ru/3d-printers/3d-printer-ABS-plastic> (дата обращения: 22.03.2020).

## УДК 53.02

**В. Н. Алексеева**

ученица МБОУ «Гатчинской СОШ № 9 С УИОП»

**А. В. Болтнева, Д. В. Юров** – студенты кафедры электромеханики и робототехники – научные руководители**ЭНЕРГИЯ ЧЕРНЫХ ДЫР**

В XXI веке для жизнедеятельности человека требуется огромное количество энергии. Как известно, черная дыра является источником энергии.

Черная дыра – область пространства времени черная и пустая. Черная, потому что свет не может из нее выйти, гравитация затягивает его. Пустая, потому что объект, благодаря которому она появилась, съехался до точки. Когда масса звезды концентрируется в точке, черная дыра становится проколом в пространстве времени. Во время рождения дыры энергия материи трансформируется в искривленную энергию пространство времени. Таким образом, черная дыра обладает огромным количеством энергии, с помощью которой она может воздействовать на окружающие объекты.

Гипотетическая возможность наличия таких областей пространства-времени следует из некоторых решений уравнений Эйнштейна. В табл. 1 представлены все возможные решения гравитационных уравнений [1].

Таблица 1

**Решения уравнений поля, описывающие черные дыры**

Типы черной дыры	Описание черной дыры	Название решения	Год получения
Только масса (параметр M)	Самая «простая» черная дыра. Обладает лишь массой. Сферически симметрична.	Решение Шварцшильда	1916
Масса и заряд (параметры M и Q)	Заряженная черная дыра. Обладает массой и зарядом (электрическим или магнитным). Сферически симметрична	Решение Райснера-Нордстрема	1916 и 1918
Масса и момент импульса (параметры M и a)	Вращающаяся черная дыра. Обладает массой и моментом количества движения. Осесимметрична	Решение Керра	1963
Масса, заряд и момент импульса (параметры M, Q, a)	Вращающаяся заряженная черная дыра, самая сложная из всех. Осесимметрична	Решение Керра-Ньюмена	1965

Существование черных дыр объясняется наличием верхнего предела скорости.

Интенсивное рентгеновское излучение, наблюдающееся из определенной области звездного неба, астрономы объяснили резким ускорением звездного вещества, втягивающегося в исключительно мощный гравитационный центр. В то же время излучение непосредственно из центра, в отличие от звезд, отсутствует, что и послужило основанием назвать подобный астрономический объект черной дырой.

Для оценки радиуса черной дыры используем выражение для расчета второй космической скорости:

$$R_w \quad u = \sqrt{2gr} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}.$$

Отсюда можно выразить радиус:

$$R = \frac{2GM}{c^2}.$$

Согласно первому постулату специальной теории относительности (СТО) максимальное значение второй космической скорости:

$$U_{\max} = c.$$

Соответственно, можно определить критический радиус (радиус Шварцшильда):

$$R_{ш} = \frac{2GM}{c^2}.$$

Если частица находится от центра черной дыры на расстоянии  $R > R_{ш}$ , то, как видно из формул, для преодоления гравитационного притяжения она должна обладать скоростью, которая больше скорости света:  $u > c$ .

Противоречие этого неравенства постулатам СТО означает, что, находясь внутри сферы радиусом  $R_{ш}$ , никакая частица не может покинуть черную дыру. Именно поэтому не наблюдается излучение, выходящее из черной дыры.

Мы не можем наблюдать события, происходящие внутри сферы, ограничивающей черную дыру, так как свет не может выйти из него наружу. Поэтому поверхность черной дыры радиусом  $R_{ш}$  называется горизонтом событий [2].

Свет от черных дыр не отражается, однако ученые умеют определять их местонахождение. Черная дыра притягивает газ от ближайшей звезды, которая образует вокруг звезды ореол в виде крутящегося диска. При вращении газового диска газ нагревается и испускает рентгеновские лучи, которые можно обнаружить.

Черная дыра образуется в результате катастрофического сжатия массивной звезды, исчерпавшей запасы водородного топлива. Чтобы звезда могла превратиться в черную дыру, ей нужно быть достаточно массивной. Масса такой звезды должна быть минимум в 3 раза больше массы Солнца [3].

Звезды излучают свет, сжигая легкие элементы, например водород. В самых крупных под воздействием высоких температур эти элементы превращаются в более тяжелые, например кремний, углерод. Тепло и свет от этих ядерных реакций создают направленное во вне давление, препятствующее гравитационному коллапсу. Топливо заканчивается. Энергия уходит через звезду в космос. Звезда начинает сжиматься, и когда вес достигает 1,4 массы Солнца, она уже не может противостоять давлению, происходит гравитационный коллапс.

Черные дыры известны человеку способностью «проглатывать» материи. Когда объект попадает в черную дыру, высвобождается энергия, которая может достигать огромных значений. Падающее вещество передает дыре свое движение, которое раскручивает ее края почти до скорости света. Во время вращения под воздействием магнитного поля черная дыра способна выпускать тонкие струи – джеты. Они представляют собой воронку, внешняя часть которой вращается, а внутренняя содержит в себя газ и частицы энергии. Чем больше масса звезды, тем большей скорости она может достичь. Не стоит забывать и про внешнее воздействие, в какой-то момент джеты распадаются. В результате образуются огромные облака из высокоэнергетических частиц.

При рождении черной дыры масса звезды очень сильно сжимается. В результате этого сжатия, помимо гравитационного поля, вокруг дыры образуется вихревое поле тяготения, и вращательная энергия, содержащаяся в вихревом поле, постепенно переходит в излучение. Таким образом, происходит образование квантов излучения. В вакууме происходят спонтанные процессы, в результате которых образуются античастицы. Из-за тяготения черной дыры античастицы могут появиться за горизонтом событий, поэтому в пространстве возникает поток частиц. Черная дыра уменьшается, так как расходуется энергия.

Большие черные дыры излучают небольшое количество энергии, этот процесс называют квантовым излучением. Во время излучения изменяется температура. Также нужно отметить: чем меньше масса дыры, тем больше ее температура. Таким образом, стоит обратить внимание на достаточно малые дыры. В ходе излучения их масса уменьшается, а температура возрастает. В определенный момент этот процесс превратиться во взрыв, при котором высвободится огромное количество энергии [4].

От черных дыр можно получить огромное количество энергии, однако уровень развития науки пока не позволяет этого сделать. В лаборатории создать достаточно малую черную дыру также невозможно. Для создания черной дыры потребуется сжать вещество до огромной плотности. Идеальная искусственная черная дыра должна иметь огромную массу, а ее размер должен быть гораздо меньше протона.

На данный момент человечество не достигло каких-либо успехов в получении энергии из черных дыр, но будем надеяться, что в скором времени научно-технический прогресс достигнет таких высот, при которых это может стать реальностью.

### Библиографический список

1. *Кауфман У.* Космические рубежи теории относительности, 1981. С. 28–43.
2. *Касьянов В. А.* Физика. 10 класс. Углубленный уровень, 2013. С. 203–204.
3. *Люмине Ж.* Черные дыры: Популярное введение. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1180462/index.html> (дата обращения: 05.04.2020).
4. *Такер У., Тананбаум Х., Фабиан Э.* Энергия черной дыры. URL: <http://www.modcos.com/articles.php?id=159> (дата обращения: 08.04.2020).

УДК 62-752.2

**Р. Н. Аминев, И. И. Балгазин**

студенты кафедры электромеханики\*

**Р. Р. Саттаров** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель\*

\*Уфимский государственный авиационный технический университет

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДЕМПФЕР В ПРОМЫШЛЕННОСТИ****Введение**

Колебательный процесс, возникающий при внешнем воздействии на эксплуатируемый объект, сильно уменьшает срок его использования и способен привести к внезапному выходу из строя в результате разрушения. В связи с этим возникает потребность гашения возникающих вибраций, особенно остро данный вопрос возникает при проектировании космических аппаратов [1], автомобилей [2–4] и других сферах конструкторской и эксплуатационной деятельности. Одним из способов решения проблемы возникающих колебаний является использование демпферов.

Демпферы разделяют на электромагнитные, магнитоиндукционные, пневматические, механические, магнитомеханические и гидравлические.

В данной статье будут описаны электромагнитные демпферы.

**Применение электромагнитных демпферов (ЭМД)**

Если рассматривать электромагнитные демпфирующие элементы со стороны безопасности, надежности, износостойкости в эксплуатации и обслуживании, то данный вид демпферов более предпочтителен в современном развивающемся мире, поскольку в силу их конструкционной специфики при больших значениях демпфирующих сил возникает малая инерционность движения [2, 5].

Применение же электромагнитных демпферов было найдено практически во всех отраслях промышленности: в тормозах железнодорожного транспорта [6], наземного транспорта [2, 7], авиационного транспорта [8], в амортизационных системах стыкующихся объектов [1–3].

ЭМД представляет собой магнитоэлектрическую машину, в которой в кольцевом зазоре статора, образованном электромагнитами 1, вращается полый, немагнитный ротор 2. Принцип работы ЭМД основан на взаимодействии вихревых токов с магнитным полем в зазоре, изменение которых в большую или меньшую сторону зависит от скорости вращения ротора [9]. Для увеличения значений вихревых токов возможно изменение конструкции для использования эффекта, описанного в [10]. Эффект характеризуется замыканием внутреннего потока пакета обмоток в пределах их объема, что приводит к резкому уменьшению потокосцепления, а, следовательно, и потерь на вихревые токи.

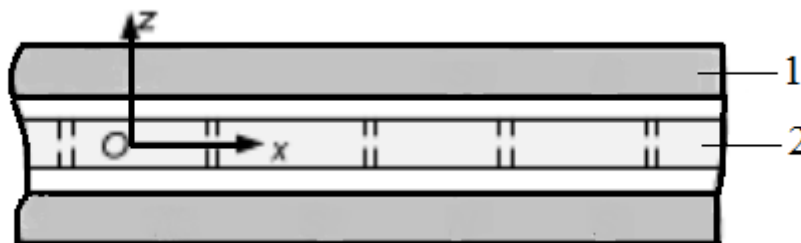


Рис. 1. Электромагнитный демпфер

**Заключение**

Данная статья кратко описывает сферы применения электромагнитных демпферов. Дается основное представление конструкционного исполнения и принципа действия данного устройства. В перспективе планируется представить свой вариант демпфера.



**Библиографический список**

1. *Саттаров Р.Р.* Исследование влияния реверса на электромагнитный момент электромеханических демпфирующих элементов // *Электричество*. 2010. № 8. С. 67–71.
2. *Sattarov R. R.* Electromechanical transients in passive suspension systems with eddy current dampers // IX International Conference on Power Drives Systems (ICPDS), IEEE, 2016. P. 1–5.
3. *Sattarov R. R.* 2D model of axial-flux eddy current brakes with slotted conductive disk rotor // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), IEEE, 2017. P. 1–6.
4. *Бабанин Н. В., Корчагина Е. Е.* Демпфер паразитных колебаний // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 2017. Т. 23. № 1. С. 179–183.
5. *Исмагилов Ф. Р., Саттаров Р. Р., Гумерова М. Б.* Математическое моделирование динамических режимов электромагнитных демпфирующих элементов. Уфа: УГАТУ, 2010. Т. 14. № 5 (40). С. 86–90.
6. Патент RU 2003133485. Замедлитель железнодорожных вагонов электромагнитный, авторы: Нагорный М. А., Ковалев А. П., Колчак В. Н., Чернов И. Я., Миновский Ю. П., Левшова Е. А. Дата приоритета 2003.11.19. Оpubл.: 2006.01.20.
7. Патент RU 133231. Электромагнитный амортизатор автомобиля, авторы: Исмагилов Ф. Р., Бекузин В. И., Хайруллин И. Х., Вавилов В. Е. Дата приоритета 2013.05.07. Оpubл.: 2013.10.10.
8. Патент RU 150839. Гибридный амортизатор, авторы: Исмагилов Ф. Р., Хайруллин И. Х., Вавилов В. Е., Бекузин В. И. Дата приоритета 2014.01.27. Оpubл.: 2015.02.27.
9. Патент RU 2287729. Электромагнитный демпфер, авторы: Сидоров Е. В., Тюкавин Р. И. Дата приоритета 2005.04.22. Оpubл.: 2006.11.20.
10. *Острейко В. Н.* Расчет электромагнитных полей в многослойных средах. Л., 1981.

УДК 62-254.3

**Р. Н. Аминев, И. И. Балгазин**

студенты кафедры электромеханики\*

**Р. Р. Саттаров** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель\*

\*Уфимский государственный авиационный технический университет

## ЭЛЕКТРОМОТОР-КОЛЕСО ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

### Введение

Проблема излишнего загрязнения окружающей среды требует разработок более чистых технологических решений, одним из которых является технология гибридных автомобилей [1].

Гибридные автомобили различают по устройству двигателей на ДВС, используемые совместно с электродвигателями; электродвигатели; электродвижители. Наиболее предпочтительным является последний, поскольку он обеспечивает широкий диапазон управления транспортным средством и является более компактным, однако имеет недостаток в виде низкой производительности [1].

Одним из способов повышения производительности является применение мотор-колес. Преимущества, которые они могут дать, широко известны

- возможность использования менее мощного ДВС;
- энергетическая эффективность мотор-колес, которая обеспечивается регулированием вырабатываемой ими мощности исходя из поступающей нагрузки; также при необходимости возможна кратковременная работа с мощностью, превышающей номинальную [1–3];
- при применении совместно с аккумуляторами они способны вырабатывать суммарную мощность больше, чем мощность ДВС;
- возможна подзарядка при рекуперативном торможении;
- благодаря высокой приспособляемости к нагрузке мотор-колес происходит упрощение передаточного механизма [5].

Тем не менее мотор колеса на сегодняшний момент имеют ряд недостатков, ограничивающих их широкое применение:

- большая масса, габариты;
- малая автономность в силу отсутствия высокоэффективных аккумуляторов;
- низкий КПД из-за большого количества преобразований энергии.

### Обзор последних публикаций

Мотор-колеса часто используются в гибридных и электромобилях [6–7]. На данный момент существует тенденция к улучшению мотор-колес: к примеру, использование датчиков Холла, микропроцессорного управления позволило повысить показатели пробега у электровелосипедов [2]. За счет обратной связи датчиков положения ротора удалось стабилизировать скорость трактора и повысить его маневренность на малых скоростях [4]. Опыт эксплуатации мотор-колес на большегрузных карьерных самосвалах (БЕЛАЗ, КАМАЗ, и т. д.) показал экономию топлива [5]. Наиболее современные конструкторские решения различных компаний-производителей мотор-колес описаны в [7].

### Заключение

В данной работе был проведен анализ существующих на данный момент тенденций модернизации мотор-колес, даны краткие положительные и отрицательные особенности выявленные в ходе их эксплуатации. В дальнейшем планируется предложить свой вариант улучшения мотор-колес.

**Библиографический список**

1. *MacLean H., Lave L.* Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies. *Progress in energy and combustion Science* № 29. P.1–69.
2. *Ломакин И. В., Оленин А. Г.* Моделирование автономных электроприводов для сельскохозяйственной техники // *Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана*. 2015. № 223.
3. *Шакиров Т. И., Саттаров Р. Р.* Компьютерное моделирование вентильно-индукторного электропривода в составе промышленного робота // *Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов*. 2016. С. 116–119.
4. *Зрелов В. И., Зрелов В. В., Белов В. И.* Велогибриды: взгляд в будущее // *Автомобильный транспорт*. 2011. № 29.
5. *Александров И. К.* Адаптивная электромеханическая трансмиссия // *Транспорт на альтернативном топливе*. 2013. № 1 (31).
6. *Левицкий Б. Ю., Федосеев А. А.* Концепция мотор-колеса // *Ученые заметки ТОГУ*. Т. 9. № 2. 2018. С. 722–726.
7. *Sabri M., Danapalasingam K., Rahmat M.* A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. № 53. 2016. P.1433–1442.

УДК 62-83:621.314:621.382

**А. А. Андришко**

студент кафедры управления в технических системах

**А. А. Ефимов** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ**

Об уровне развития автоматизированного электропривода говорит увеличение доли регулируемых электроприводов переменного тока (ЭППТ), в которых преобразователь частоты преимущественно выполняется двухзвенным (ДПЧ) с неуправляемым выпрямителем и автономным инвертором напряжения (АИН) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

С вводом новых стандартов, а также ужесточением требований к потребителям исключается использование простых выпрямительных схем на входе ДПЧ. В случае необходимости реализации в ЭППТ режима рекуперативного торможения и улучшения электромагнитной совместимости с сетью наиболее подходящим вариантом реализации является ДПЧ на базе двух идентичных активных преобразователей (АП), которые объединены звеном постоянного тока [1–5]. Такое построение ДПЧ позволит улучшить энергетическую и электромагнитную совместимость с питающей сетью, несмотря на усложнение силовой схемы и системы автоматического регулирования (САР).

В настоящее время схемы АПН более широко исследованы и даже внедрены в практику промышленного применения. В АПН реализуется один из возможных алгоритмов импульсно-модуляционного управления (синусоидальная или векторная ШИМ (СШИМ или ВШИМ), разрывное управление, прогнозирующее релейно-векторное и т. д.) [1–3].

Цель данной работы – описание основных алгоритмов регулирования активных преобразователей напряжения.

Одним из алгоритмов является векторная ШИМ, которая используется для управления активным трехфазным преобразователем. Силовая схема АПН и его таблица состояний представлены на рис. 1 и в табл. 1.

Силовая схема АПН состоит из шести ключей, каждый из которых может находиться либо во включенном, либо в выключенном состоянии. Каждой комбинацией состояний ключей обеспечивается определенная совокупность линейных и фазных напряжений на входе полупроводникового коммутатора (ПК) АПН. В трехфазной схеме АПН имеется всего 8 допустимых комбинаций одновременного проводящего состояний трех ключей ПК, поскольку комбинации, которые приводят к короткому замыканию выходного напряжения АПН, недопустимы. Каждой допустимой комбинации ключей соответствует определенный результирующий вектор входного напряжения полупроводникового коммутатора АПН, шесть из которых ненулевые, а два – нулевые.

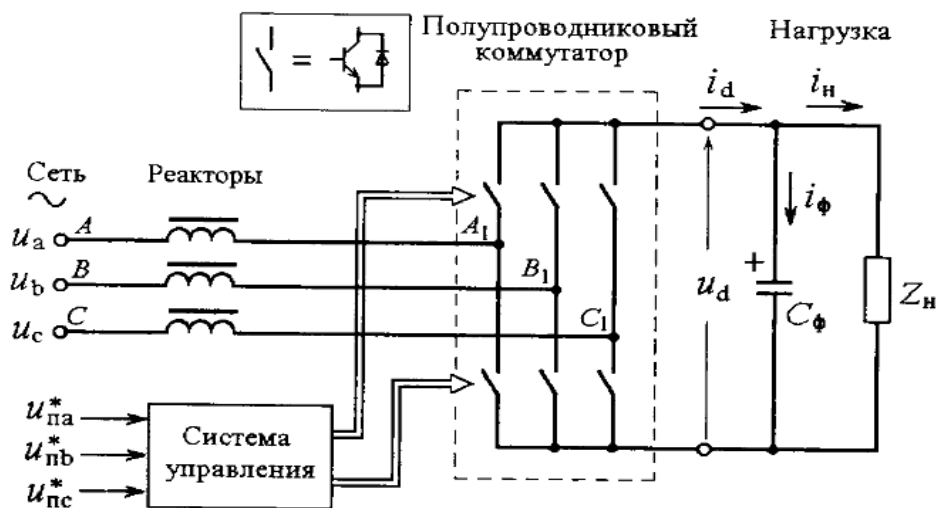


Рис. 1. Принципиальная схема активного преобразователя напряжения

Состояния системы «АПН – нагрузка»

Базовый вектор	A <sup>+</sup>	B <sup>+</sup>	C <sup>+</sup>	A <sup>-</sup>	B <sup>-</sup>	C <sup>-</sup>	V <sub>AB</sub>	V <sub>BC</sub>	V <sub>CA</sub>	
V <sub>0</sub> = {000}	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВКЛ	0	0	0	нулевой вектор
V <sub>1</sub> = {100}	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВКЛ	+V <sub>dc</sub>	0	-V <sub>dc</sub>	активный вектор
V <sub>2</sub> = {110}	ВКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	0	+V <sub>dc</sub>	-V <sub>dc</sub>	активный вектор
V <sub>3</sub> = {010}	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	-V <sub>dc</sub>	+V <sub>dc</sub>	0	активный вектор
V <sub>4</sub> = {011}	ВЫКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	-V <sub>dc</sub>	0	+V <sub>dc</sub>	активный вектор
V <sub>5</sub> = {001}	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	0	-V <sub>dc</sub>	+V <sub>dc</sub>	активный вектор
V <sub>6</sub> = {101}	ВКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	+V <sub>dc</sub>	-V <sub>dc</sub>	0	активный вектор
V <sub>7</sub> = {111}	ВКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	0	0	0	нулевой вектор

$\bar{U}_1, \dots, \bar{U}_6$  и две комбинации – два ненулевых вектора  $\bar{U}_7 = 0$  и  $\dots = 0$ . Ненулевые векторы одинаковой длины в случае симметрии нагрузки и расположены под углами, кратными  $60^\circ$  (рис. 2).

Трехразрядный двоичный код описывает состояния трех ключей. Единица – включен, ноль – отключен. Код состояния:

$$S_{1i} = f_{1A} f_{1B} f_{1C},$$

где  $i = 1, \dots, 8$  – номер состояния.

На рис. 2 показан шестиугольник с образующими векторами  $\bar{U}_1, \dots, \bar{U}_6$ .

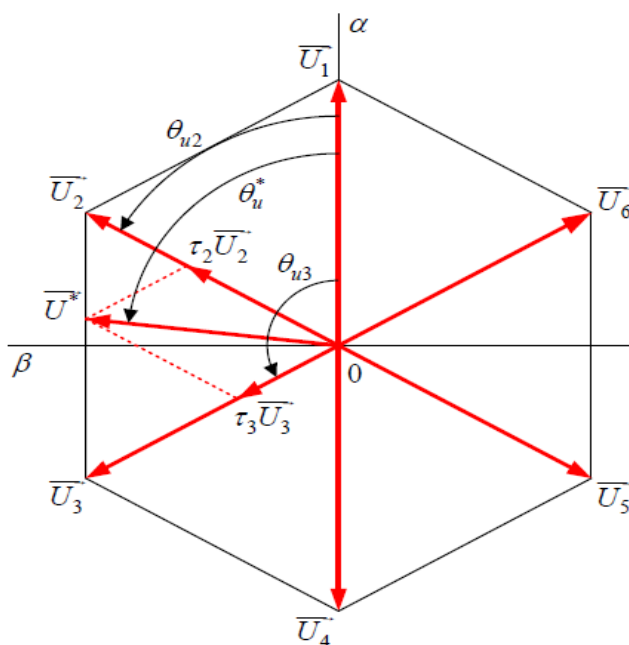


Рис. 2. Векторная диаграмма полупроводникового коммутатора

Еще одним из способов управления является способ прогнозирующего релейно-векторного (ПРВ) управления, который рассматривается в замкнутых САР и применим к различным схемам активных преобразователей. Задача ПРВ управления, к примеру, сетевыми токами АВН состоит в том, чтобы на интервале управления  $T$  обеспечить значение вектора тока  $I^G$  (управляемой величины),

максимально приближенное к исходному значению  $I^G$ . Для выбора оптимального решения используются различные критерии: 1 – по оценке мгновенных значений управляемых величин в конце интервала управления, 2 – по оценке средних значений. При использовании первого критерия улучшается точность отработки задающего воздействия и более низкий коэффициент гармоник сетевых токов. Выбор результирующего вектора напряжения для интервала управления осуществляется на основе прогнозирования результатов управления [7].

Значения векторов токов сети прогнозируются на силовом входе АВН по формуле:

$$I_i^G(t) = I^G + \Delta I_i^G(t),$$

где  $I^G$  – значение вектора токов сети в начале интервала управления;  $\Delta I_i^G(t)$  – прогнозируемое отклонение вектора токов в конце интервала управления от вектора токов сети в начале интервала.

При сравнении систем, которые используют регулярную ШИМ и ПРВ-управления, выяснилось, что при одинаковой средней частоте переключений ПРВ-управление обеспечивает меньшее значение высокочастотных пульсаций сетевого тока, а также более низкий коэффициент гармоник [1, 7]. Системы с ПРВ-управлением имеют более высокую динамику при отработке задающих и возмущающих воздействий. В системах с ПРВ-управлением средняя частота коммутационных циклов одного ключа примерно в 5–6 раз меньше частоты дискретизации. Из-за простоты системы с ПРВ-управлением время расчета управляющих воздействий значительно меньше, чем в системах с векторной САР. Данный способ управления отлично подходит для микропроцессорной реализации и позволяет использовать возможности силовой и управляющей микропроцессорной элементной базы.

В рамках магистерской диссертации в дальнейшем будет проведен детальный анализ и сравнение динамических и энергетических показателей работы АПН, работающего как в режиме активного выпрямителя напряжения, так и сетевого инвертора напряжения в соответствующих системах автоматического регулирования.

### Библиографический список

1. *Ефимов А. А., Шрейнер Р. Т.* Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока. Новоуральск: НГТИ, 2001. 250 с.
2. *Ефимов А. А.* Динамические и энергетические показатели активного преобразователя напряжения при его работе на повышенных частотах // Труды XIV Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» (АПЭП-18). Новосибирск: НГТУ (2–6 октября 2018 г.). Т. 7. С. 44–49.
3. *Ефимов А. А.* Управление активными преобразователями в составе электромеханических систем // Известия ГУАП. Аэрокосмическое приборостроение: науч. журнал. Вып. 2. СПб.: ГУАП, 2012. С. 58–67.
4. *Ефимов А. А., Базарнов А. А., Глухов В. А.* Энергетические и динамические показатели работы опытного образца активного выпрямителя напряжения // Завалишинские чтения'13: сб. докл. СПб.: ГУАП, 2013. С. 57–61.
5. Алгоритмы и системы управления активным выпрямителем напряжения / А. А. Ефимов, А. А. Базарнов, В. А. Глухов и др. // Известия ГУАП. Аэрокосмическое приборостроение: науч. журнал. Вып. 3. СПб.: ГУАП, 2013. С. 20–31.
6. *Шрейнер Р. Т.* Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. Екатеринбург: УРО РАН, 2000. 654 с.
7. *Ефимов А. А.* Электромеханические системы с активными преобразователями // Завалишинские чтения'11: сб. докл. СПб.: ГУАП, 2011. С. 120–127.

УДК 520.3

**Д. Б. Асфар, А. Р. Худайбердина, С. О. Жеребко, М. М. Виноградов**

студенты кафедры управления в технических системах

**Ю. А. Ганьшин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### **ДЕТЕКТОРЫ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН, ОСНОВАННЫЕ НА ПРЯМОМ МЕТОДЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Детекторы гравитационных волн основаны на принципе физического воздействия на пробные тела. Существуют два вида установок: твердотельные антенны и лазерные интерферометры. При воздействии гравитационной волны рабочая составляющая детекторов первого типа должна деформироваться, а в детекторах второго типа должно изменяться взаимное расположение свободных масс.

Твердотельные детекторы начали появляться с середины 1960-х годов, а Джозеф Вебер является первым экспериментатором, целью которого было обнаружения гравитационных волн с помощью резонансных антенн [1]. В качестве антенн используются цилиндрические массивные тела, подвешенные на тонких стальных нитях в поле тяжести Земли. Впоследствии Вебер создал две антенны, где система регистрации состояла из нескольких пьезоэлектрических кристаллов кварца (датчиков деформации), преобразующих механические колебания в электрический сигнал [2].

По вышеописанному принципу работают: сферическая антенна MiniGRAIL в Лейденском университете (Нидерланды), антенна Allegro в Батон-Руже (штат Луизиана, США), где проводил свои эксперименты и Дж. Вебер, AURIGA и Nautilus в Италии, Explorer в Швейцарии, а также Niobe в Австралии.

При обнаружении гравитационных волн с помощью резонансных антенн возникает ряд проблем, которые ограничивают возможности их регистрации [3]. Главная проблема – невозможность регистрации сигнала в широкой полосе частот при сравнительно высокой резонансной частоте самих приемников.

Твердотельные антенны отличает наличие резонансной частоты. Когда в спектре гравитационной волны появляется частота, близкая к резонансной частоте антенны, то акустические колебания в цилиндре усиливаются на этих частотах. Для изготовления цилиндров используют такие материалы, как алюминий, сапфир, ниобий. Время затухания колебаний прямо пропорционально чувствительности антенны, так как резонансное детектирование позволяет накапливать сигнал [4]. Современные цилиндрические антенны, изолированные от внешних воздействий, имеют массу до нескольких тонн и охлаждены до низких температур – около 10 мК. Понижение температуры снижает шумы и увеличивает добротность.

По мнению разработчиков, резонансно-массовые детекторы гравитационных волн обладают такой чувствительностью, которые позволяют обнаруживать сигнал гравитационных волн в нашей Галактике с амплитудой 10–22 за время 1 сек., или с амплитудой 19–23 за 100 сек. С 1997 года вышеуказанные детекторы составили ядро Международного сотрудничества по изучению гравитационных событий (IGEC).

EXPLORER /393/ является криогенным резонансно-массовым детектором гравитационных волн, антенна которого представляет собой сплошной металлический цилиндр, работает при температуре 2 К. Расположен в CERN (Швейцария) и работает с 2001 года. Наблюдения с использованием резонансных антенн не дали существенных результатов по сей день [2]. Детектор ALLEGRO /338/ – детектор со сверхпроводящим индуктивным преобразователем и усилителем SQUID. Резонансный диапазон составляет около 900 Гц. Не было обнаружено никаких совпадающих событий ALLEGRO с данными других детекторов с 1991 года [5]. NIOBE /315/ – высокочувствительный детектор гравитационных волн, базирующийся на акустических свойствах ниобия, металла с самыми низкими акустическими потерями как при комнатных, так и при криогенных температурах [6]. Детектор NIOBE состоит из 1,5-тонного монолитного бруска ниобия, находящегося в температурной и вибрационной изоляции. Излучения, вызванные колебаниями в антенне, считываются с помощью микроволнового излучателя. Его чувствительности достаточно, чтобы обнаружить излучения от сверхно-

вых до рождения нейтронных звезд, слияния черных дыр в нашей Галактике. Гравитационно-волновая антенна NAUTILUS /395/ – это самая низкотемпературная антенна. Она размещена в лаборатории Национального института ядерной физики Нидерландов [7]. Детектор гравитационных волн AURIGA /400/ – это в своем роде двойник NAUTILUS, принцип действия которого во многом аналогичен и детектору EXPLORER [8]. Детектор MINIGRAIL – криогенная сферическая антенна гравитационных волн, сделанная из сплава меди с алюминием. Две антенны с аналогичным принципом работы планируется построить в Риме и Сан-Паоло, что повысит вероятность обнаружения гравитационных волн при совпадении сигналов. Группы MiniGRAIL в Лейдене и Отделения низкой температуры в университете г. Твенте сотрудничают в разработке специального квази-квантового устройства SQUID для повышения восприимчивости детектора [9].

После создания лазерных интерферометров многие резонансные антенны перестали вести наблюдения, в настоящий момент действуют только NAUTILUS и AURIGA, которые по рекомендации Международного комитета по гравитационным волнам (*Gravitational Wave International Committee*) выполняют мониторинг пока осуществляется апгрейд больших лазерных интерферометров. В будущем эти антенны будут переснащены под поиск источников непрерывного излучения ГВ.

К лазерным интерферометрам относятся Advanced LIGO, Advanced Virgo, Geo-600, KAGRA и LISA – космическая обсерватория для регистрации гравитационных волн, реализация которой намечена на 2029 год [1].

Основой таких конструкций является интерферометр Майкельсона с резонатором Фабри-Перо в каждом плече для создания сдвига фаз, вызванного изменением длины плеча. Рециркуляция мощности – еще одна стандартная особенность таких интерферометров: зеркало рециркуляции мощности образует резонансную полость между источником лазера и Майкельсоном для увеличения эффективной мощности лазера [10].

LIGO – это, по существу, более крупный интерферометр Майкельсона, способный измерять небольшие пульсации в пространстве-времени. Интерферометр Майкельсона расщепляет когерентный свет на два перпендикулярных плеча, где он затем отражается от зеркал, после чего свет рекомбинируется для создания интерференции на фотоприемнике. Эти пульсации вызывают изменение длины руки детектора, что приводит к изменению интерференционной картины на фотоприемнике. Наряду с этим измерением вспомогательные каналы регистрируют изменения во всех компонентах прибора [11].

Интерферометрический гравитационно-волновой детектор Advanced LIGO предназначен для прямого обнаружения гравитационных волн. Он состоит из двух 4-километровых интерферометрических детекторов, установленных в Хэнфорде (Вашингтон) и Ливингстоне (Лос-Анджелес). Каждый детектор использует 11 вакуумных резервуаров для обеспечения сейсмической изоляции [12]. Пять из них представляют собой большие камеры (примерно 4,5 м в высоту и 2,5 м в диаметре), в которых размещена основная оптика интерферометра. Шесть из них представляют собой небольшие камеры (примерно 2,5 м в высоту и 2,5 м в ширину), в которых размещена вспомогательная оптика интерферометра.

Advanced LIGO действует в качестве преобразователя возмущений пространственно-временной метрики, зависящих от времени. Зеркала интерферометра действуют как «свободно падающие» тестовые массы. LIGO измеряет линейное дифференциальное смещение вдоль плеч, которое пропорционально амплитуде деформации гравитационной волны [13].

Совместный проект Италии и Франции Advanced Virgo находится около Пизы. Длина плеч лазерного интерферометра составляет 3 км. Оптическая схема Virgo также представляет собой лазерный интерферометр Майкельсона, в плечах которого используются оптические резонаторы Фабри-Перо. Лазерный луч распространяется в вакуумной трубе с диаметром 1,2 м. Вместо зеркала перед детектором установлен дополнительный интерферометр Фабри-Перо. Он служит для выделения сигнала интерференции и очистки от нежелательных компонентов излучения [1].

В Advanced Virgo резонатор рециркуляции сигнала позволяет изменять форму кривой чувствительности и оптимизировать ее для конкретных целевых источников. Мощность лазера составляет 200 Вт. Испытуемыми массами являются цилиндры диаметром 350 мм, толщиной 200 мм и весом около 42 кг. Субстрат сделан из самого чистого стекла сплавленного кремнезема. Полировка произво-



дится на атомарном уровне, и достигается субнанометровая среднеквадратичная шероховатость. Наконец, равномерное многослойное покрытие на поверхности позволяет отражать более 99,999 % света при поглощении менее 1 части на миллион. Поглощающие лазерный луч перегородки размещены вокруг всей критической оптики в вакуумной системе таким образом, чтобы перехватывать рассеянные фотоны. Все критические фотодиоды сейсмически и акустически изолированы [14].

KAGRA – это первая в мире крупномасштабная гравитационно-волновая антенна, расположенная под землей. Он расположен в префектуре Гифу в Японии на глубине 200–500 м от поверхности горы Камиока. Длина плеч интерферометра составляет 3 км. Есть два основных преимущества в построении гравитационно-волнового детектора под землей. Во-первых, низкий сейсмический шум, низкие показатели которого не только улучшают чувствительность в полосе наблюдения, но и увеличивают стабильность детектора, что снижает требования к системам управления. Во-вторых, низкий гравитационный градиент шума, препятствующий повышению низкочастотной чувствительности [15]. На детекторе KAGRA используют криогенные зеркала, охлажденные до 20 К. Зеркальные подложки сделаны из кристаллов сапфира диаметром 22 см и толщиной 15 см, а для покрытия с высокой отражательной способностью используются слои аморфного кремнезема и пятиокси тантала [16].

Geo-600 – самый маленький среди сети действующих интерферометров, длина плеч которого составляет всего 600 м. Именно на нем впервые протестировали влияние наличия сжатого света на чувствительность интерферометра. Свет от 2-ваттного лазера подается на схему генерации второй гармоники, преобразующей его в свет с двойной частотой. Это излучение поступает на оптический параметрический усилитель, где происходит генерация сжатого света. После чего он отображается в интерферометр вместо нулевого излучения в фотодетекторе. Использование сжатого света улучшает чувствительность детектора GEO-600 примерно в полтора раза без увеличения оптической мощности [10].

В случае GEO 600 источником сжатого света является оптический параметрический усилитель (ОПУ), образованный нелинейным кристаллом внутри резонатора. Благодаря ОПУ большая часть рассеянного света попадает в полость, где она испытывает параметрическое усиление, прежде чем отражается обратно к интерферометру [17].

Ведутся работы по созданию космического интерферометра расстояние, между зеркалами которого составит 1 млн км. LISA-Laser Interferometer Space Antenna является совместным проектом NASA и Европейского космического агентства [1]. Космический интерферометр будет включать в себя новые технологии: инерциальный метод измерений, системы управления ориентацией без лобового сопротивления и интерферометрия с зеркалами в свободном падении [16].

«Материнский» космический аппарат с двумя «дочерними» аппаратами, входящими в схему eLISA, образуют V-образную конфигурацию, похожую на равносторонний треугольник в плоскости, наклоненной на 60° относительно эклиптики. Космический аппарат движется по независимым гелиоцентрическим орбитам. Лазерные лучи распространяются вдоль плеч длиной 106 км. Полезная нагрузка LISA состоит из четырех одинаковых блоков: по два на материнском космическом корабле и по одному на каждом дочернем космическом корабле. Каждый блок содержит гравитационный эталонный датчик (ГЭД) со встроенной испытательной массой свободного падения, которая выступает конечной точкой оптического измерения длины и в качестве геодезической контрольной испытательной частицы. Телескоп диаметром 20 см пропускает свет от лазера мощностью 2 Вт при длине волны 1064 нм вдоль плеча. Необходимые сигналы лазерного излучения формируются на оптическом стенде между телескопом и ГЭД [18].

### Библиографический список

1. В. И. Пустовойт. О непосредственном обнаружении гравитационных волн. 2016. С. 2–4.
2. Ю. В. Филатов. Обнаружение гравитационных волн с помощью лазерной интерферометрии и возможность повышения точности навигационных измерений. 2017. С. 5.
3. Васькин Н. М. Гравитационные волны. 2017. С. 3–4.
4. Бисноватый-Коган Г. С., Моисеенко С. Г. Гравитационные волны и сверхновые с коллапсирующим ядром. 2017. С. 8.
5. *Nei F., Oliveira Jr., Odylio D.* The Mario Schenberg Gravitational Wave Antenna. 2016. P. 2–5.

6. *Blair D., Li J., Yiqiu M.* Optomechanics for Gravitational Wave Detection – from resonant bars to next generation laser interferometers. 2017. P. 6.
7. *Pizzella G.* Birth and initial developments of experiments with resonant detectors searching for gravitational waves. 2016. P. 3.
8. *Branca A., Bonaldi M.* Search for an Ultralight Scalar Dark Matter Candidate with the AURIGA Detector. 2017. P. 4.
9. *Pustovoit V.* On the direct detection of gravitational waves. 2016. P. 3–5.
10. *Халили Ф. Я.* Лазерная интерферометрия: за занавесом триумфа. 2016. С. 7.
11. *Moffa D., Rose K., Wade L.* Using Artificial Neural Networks for Gravitational-Wave Glitch Identification in Advanced LIGO. 2017. P. 4–5.
12. Seismic isolation of Advanced LIGO: Review of strategy, instrumentation and performance / F. Matchard, B. Lantz, R. Mittleman et al. 2015. P. 4–6.
13. *Abbott B.* GW150914: The Advanced LIGO Detectors in the Era of First Discoveries. 2016. P. 5.
14. *Losurdo G.* Advanced Virgo. 2017. P. 2.
15. Construction of KAGRA: an Underground Gravitational Wave Observatory / K. Agatsuma, Y. Akiyama, N. Arai et al. 2017. P. 2–4.
16. Gravitational wave astronomy: the status / D. Blair, Ju Li, Z. ChunNong et al. 2015. P. 3.
17. Doktor der Naturwissenschaften. Gravitational-wave detection beyond the quantum shot-noise limit The integration of squeezed light in GEO 600. 2018. P 6.
18. Status of the eLISA on table (LOT) electro-optical simulator for space based, long arms interferometers / P. Gruning, H. Halloin, P. Prat et al. 2015. P. 4–5.

УДК 520.3

**Д. Б. Асфар, А. Р. Худайбердина, С. О. Жеребко, М. М. Виноградов**

студенты кафедры управления в технических системах

**Ю. А. Ганьшин** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ФИКСИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Гравитационные волны – это распространяющиеся в пространстве возмущения гравитационного поля, которые возникают при слиянии массивных тел, совершающих колебательные и вращательные движения с переменным ускорением (такие как нейтронные звезды или черные дыры, вращающиеся вокруг общего центра масс). Идея существования гравитационных волн восходит к работе Эйнштейна, созданной им в 1916 году, – общей теории относительности (ОТО) [1]. Гравитационные волны обладают определенными свойствами. Волны, распространяясь в пространстве со скоростью света, сохраняют ее при встрече с материальными объектами (соударение со сверхплотным веществом пренебрежительно мало уменьшает скорость гравитационных волн). Поперечная гравитационная волна искажает структуру пространства в плоскости, перпендикулярной вектору ее распространения. В результате этого твердое тело, попавшее в область фронта гравитационной волны, деформируется. Чем дальше находится источник, тем меньше амплитуда гравитационных волн, но при этом она никогда не падает до нуля. Гравитационные волны уносят энергию, которую они отбирают у излучающей их материи. Относительная слабость гравитационных сил (по сравнению с прочими) способствует малой энергетической величине гравитационной волны, с трудом поддающейся регистрации [2].

На вышеперечисленных свойствах основаны косвенные методы регистрации гравитационных волн. Одним из таких методов является метод хронометрирования, то есть тайминга пульсаров. Данный метод использовали астрономы и астрофизики из США, Германии, Канады, Китая и Голландии для исследования стохастических (случайных) сигналов гравитационного фона [3].

*Хронометрирование (тайминг) пульсаров* – современный и один из наиболее точных астрономических методов, заключающийся в длительном (до десятков лет) высокоточном измерении моментов прихода импульсов в точку наблюдения. Источниками импульсов являются пульсары, представляющие собой нейтронные звезды с магнитным полем, направленные к оси вращения звезды. Пульсары классифицируются в зависимости от характера излучений, приходящих на Землю в виде периодических импульсов. Существуют радиопульсары, оптические пульсары, рентгеновские пульсары и гамма-пульсары. Хронометрирование пульсаров используется для решения ряда задач в области астрофизики нейтронных звезд и межзвездной среды, фундаментальной астрономии, в задачах тестирования Общей теории относительности (ОТО) и альтернативных теорий гравитации [4].

Ученые из международного объединения астрономов NANOGrav фиксируют импульсы, приходящие от 54 пульсаров, отобранных специально для регистрации гравитационных волн. Ученые наблюдают за тем как в момент, когда гравитационная волна проходит между источником излучения импульсов (пульсаром) и Землей, время прихода импульсов будет меняться. Данные изменения незначительны и гораздо меньше колебаний периодов, вызванные другими факторами излучения. Однако в математической модели все эти факторы были учтены и убраны из полученных сигналов гравитационного фона [5]. Такой метод регистрирует не особо согласованные сбой времени прихода импульсов и изменение местоположений большей части пульсаров. Сама суть состоит в анализе данных изменений положений множества точечных источников. Прохождение гравитационной волны через точку наблюдения дает возможность к хорошо предсказуемой картине осцилляций положений источников [6]. Ученые используют пульсары, которые совершают полный оборот вокруг своей оси за очень короткий промежуток времени, буквально за долю миллисекунды. Они смогли точно определить время, в течение которого радиосигнал от таких объектов достигает Земли. Земля находится под действием электромагнитного и гравитационного полей пульсаров. Но гравитационные волны, в отличие от электромагнитных, слишком слабы для наблюдения существующими способами [7].

Еще одним косвенным методом регистрации гравитационных волн является метод астрометрических наблюдений смещения положений звезд. Астрометрия является разделом астрономии, в котором изучаются геометрические, кинематические и динамические свойства небесных объектов для построения пространственной картины Вселенной [8]. В астрометрии гравитационные волны играют большую роль в эволюции двойных звезд. Принцип роли описывается таким образом, что любая пара объектов, вращающихся вокруг общего центра масс, является источником гравитационных волн. Мощность излучения имеет прямо пропорциональную зависимость от массы объектов и расстояния между ними. Излучение уносит энергию и момент вращения, что приводит к сближению тел и возрастанию мощности излучения. Таким образом, появляются очень тесные пары звезд.

Расчеты эволюции двойных систем показали, что темп слияний звезд в расчете на одну галактику типа нашей составляет примерно раз в 20 000 лет. Чтобы увидеть одно событие в год, необходимо охватить объем, содержащий 20 000 галактик. Черные дыры сливаются еще реже, но зато их видно с большего расстояния, поскольку они тяжелее. Согласно расчетам вначале вероятнее увидеть слияние именно черных дыр [9].

Косвенный метод наблюдения влияния гравитационных волн на различные тела основывается на том, что гравитационные волны излучает любой объект, который обладает массой и движется с переменным ускорением [10]. В данном методе ученые рассматривают влияние гравитационных волн, исходящих от слияния двух сверхмассивных черных дыр, на перемещение звезды [11]. Если звезда находится на расстоянии в несколько астрономических единиц от точки слияния пары черных дыр, то гравитационные волны могут зарядить большое количество энергии в волны колебаний на частотах, резонансных по отношению к гравитационной волне, что приводит к фотометрическим эффектам. Если такую звезду увидит космический спутник PLATO, планируемый в 2026 году, то эффект можно будет измерить.

Впервые гравитационные волны были обнаружены и зарегистрированы 14 сентября 2015 года в 05:51 утра по восточному времени лета Северной Америки. Регистрация произошла на двух лазерных интерферометрах обсерватории LIGO, один из которых расположен в Ливингстоне (штат Луизиана), а другой Хэнфорде (штат Вашингтон) в США. Ученые зафиксировали сигнал, порожденный слиянием парой черных дыр, масса первой в 29 раз, а второй в 36 раз тяжелее Солнца, в более массивный вращающийся гравитационный объект в 62 раза тяжелее Солнца. Слияние черных дыр произошло 1,3 млрд лет назад, именно данное количество времени потребовалось гравитационному возмущению, чтобы достичь Земли.

### Библиографический список

1. Трунев А. П. Гравитационные волны и квантовая теория. 2015.
2. Пустовойт В. И. О непосредственном обнаружении гравитационных волн. 2016.
3. The nanograv nine-year data set: limits on the isotropic stochastic gravitational wave background / Z. Arzoumanian, A. Brazier, S. Burke-Spolaor et al. 2015.
4. Потанова Л. Б. Хронометрирование (тайминг) пульсаров. 2016.
5. Мусин М. Столкновения галактик изучили по сигналам пульсаров. 2016.
6. Moore C., Mihaylov D., Lasenby A. An astrometric search method for individually resolvable gravitational wave sources with Gaia. 2019.
7. Гравитационные волны Вселенной обнаружат с помощью радиотелескопов. 2016. URL: <https://texnomaniya.ru/gravitacionnie-volni-vselennoiy-obnaruzhat-s-pomoshyu-radioteleskopov> (дата обращения: 10.03.2020).
8. Рыхлова Л. В. Астрометрия. 2015.
9. Попов С. Б. И рыба, и удочка. 2016.
10. Петров М. А. Пространство волнуется раз. Зачем ловили гравитационные волны и как они меняют представление о Вселенной. 2016.
11. Lopes I., Silk J. Gravitational waves from stellar black hole binaries and the impact on nearby sun-like stars. 2018.

УДК 621.3-1/-8

**И. И. Балгазин**

студент кафедры электромеханики\*

**Т. Р. Зиганшин**

аспирант кафедры электромеханики\*

**Р. Р. Саттаров** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель\*

\*Уфимский государственный авиационный технический университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ БИФИЛЯРНОЙ КАТУШКИ, ВКЛЮЧЕННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО

### Введение

Основными характеристиками исследуемых электрических машин являются зависимости функций потокосцепления, момента, от тока, напряжения обмоток. Данные характеристики могут быть необходимы для определения момента переключения обмоток в автотрансформаторах при бездатчиковом управлении электродвигателя [1]. Также значения данных характеристик позволяют нам говорить об эффективности применения определенного типа обмоток [3].

Ленточная бифилярная обмотка использовалась для ограничения токов КЗ в сверхпроводниковых машинах и в трансформаторах до 1970–1980 годов [4] для выравнивания напряжения и тока в фазах при несимметричном распределении однофазных нагрузок, позже в трансформаторах подобного типа начал применяться метод последовательного соединения обмоток, также называемый Z-соединение обмоток, или «зигзаг» [3], используемый согласно работе [2] для уменьшения индуктивности в цепях протекания токов нулевой последовательности в автотрансформаторах.

### Анализ последних достижений и публикаций

На сегодняшний момент данный тип обмоток имеет большое практическое применение в различных отраслях и сферах промышленности, таких как биомедицина, в которой бифилярные обмотки согласно источнику [5] применяются при производстве рекуперационных искусственных органов, вышеупомянутых трансформаторов [17], автомобильном транспорте, где согласно работе [6] данный тип обмоток зарекомендовал себя в зарядке электромобилей. Стоит отметить работу [7], в которой предлагалось использовать бифилярные обмотки для беспроводной зарядки, поскольку нет необходимости использовать дополнительную емкость С. Также большое количество возможных способов использования бифилярной катушки было описано в монографии [9]. Известно также об использовании бифилярных обмоток в системе катушек для создания однородного магнитного поля в биэлектромагнитных экспериментах [16]. Использование бифилярных катушек в датчике слежения влажности почвы описано в работе [14]. Об использовании данного типа катушек в сверхпроводниковых ограничителях тока описано в литературе [18], в SRM-машинах [19–21].

При анализе источников [2–4] возникло предположение возможного применения двухслойной бифилярной ленточной обмотки, соединенной последовательно в электрических вращательных машинах.

### Цель эксперимента

Обмотки, выполненные из проводника круглого сечения, имеют ряд недостатков: ухудшенная теплоотдача и меньшая механическая прочность при росте мощности, низкий коэффициент заполнения паза электрической машины, высокие массогабаритные показатели при использовании их в быстроходных электрических машинах ( $f=5000-25000$  об./мин.).

Целью эксперимента является получение рабочих характеристик (максимальное амплитудное значение напряжения, среднеквадратичное значение напряжения, ток, частота) двухслойной бифилярной ленточной обмотки, соединенной последовательно друг с другом, и их сравнение со значениями обмотки, выполненной из проводника круглого сечения.

### Описание экспериментальной установки

Установка состоит из обмотки выполненного проводом круглого сечения; двухслойной бифилярной ленточной обмотки, соединенной последовательно (рис. 1); магнитопровода из электротехнической стали; металлического диска (ротора); двух магнитов Ne-Fe-Bg; вала, сопротивлений, электрической машины с гибким приводом, подшипников, подставки, распорочной верхней крышки, осциллографа GWinstek GDS-73154.

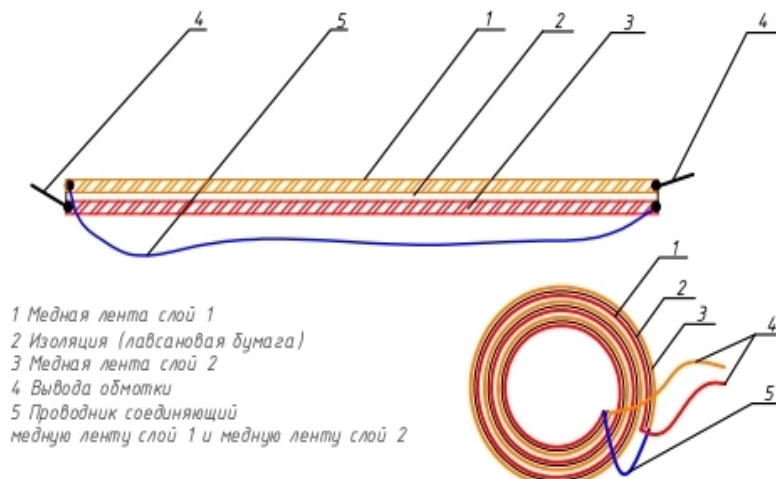


Рис. 1. Экспериментальная установка

### Характеристики элементов, использованных в экспериментальной установке

Классическая обмотка: материал-медь,  $D_n = 1..$  мм,  $W_1 = 12$  витков, два слоя по 6 витков. Бифилярная ленточная обмотка соединенная последовательно: материал-медь, высота 10 мм, толщина 0,1 мм,  $W_2 = 6$  витков, два слоя. Магнитопровод, состав сталь электротехническая. Сопротивления (нагрузки  $R_1$  и  $R_2$ ) – 1,5 Ом, 2Вт, количество 2 шт. Магниты – Ne-Fe-Bg 0,89-1,1 Тл – количество 2 шт.

Установка представляет собой имитацию торцевой электрической машины с одной парой полюсов. Обмотки  $W_1$  и  $W_2$  расположены на П-образном магнитопроводе, обмотки намотаны по часовой стрелке. К выводам обмоток припаяны нагрузки  $R_1$  и  $R_2$ . Воздушный зазор между ротором и статором 2,3 мм.

Вращение ротора производится электрической машиной, прикрепленной к верхней части вала (700–8000 об./мин.), направление вращения по часовой стрелке. Измерительный осциллограф подключался к выводам обмоток  $W_1$  и  $W_2$  параллельно нагрузкам  $R_1$  и  $R_2$ .

Результаты эксперимента показаны в табл. 1, снятые осциллограммы продемонстрированы на рис. 2–5.

Таблица 1

n	Ucp1,В	Ucp2,В	f1,Гц	f2,Гц
7	0,145	0,731	162,9	164,6
9	0,077	0,045	21,58	19,49
12	0,086	0,0507	33,86	32,85
13	0,0298	0,0388	41,35	36,77
18	0,0498	0,0674	70,48	70,72
19	0,051	0,0775	25,58	23,84
20	0,0457	0,0673	23,23	20,5
21	0,0677	0,0957	32,09	31,23
31	0,149	0,126	95,2	94,27

n	Ucp1,B	Ucp2,B	f1,Гц	f2,Гц
34	0,168	0,143	153,7	156,4
35	0,204	0,177	187,9	187,4
37	0,218	0,192	142,9	142,9
41	0,228	0,203	205,7	204,3
43	0,258	0,228	167,7	167,4
46	0,0688	0,059	28,36	28,75
47	0,0684	0,0579	28,33	28,51
50	0,66	0,0625	47,32	48,79
51	0,101	0,09	71,43	73,76
53	0,132	0,119	69,95	70,44
55	0,188	0,16	140,7	92,17

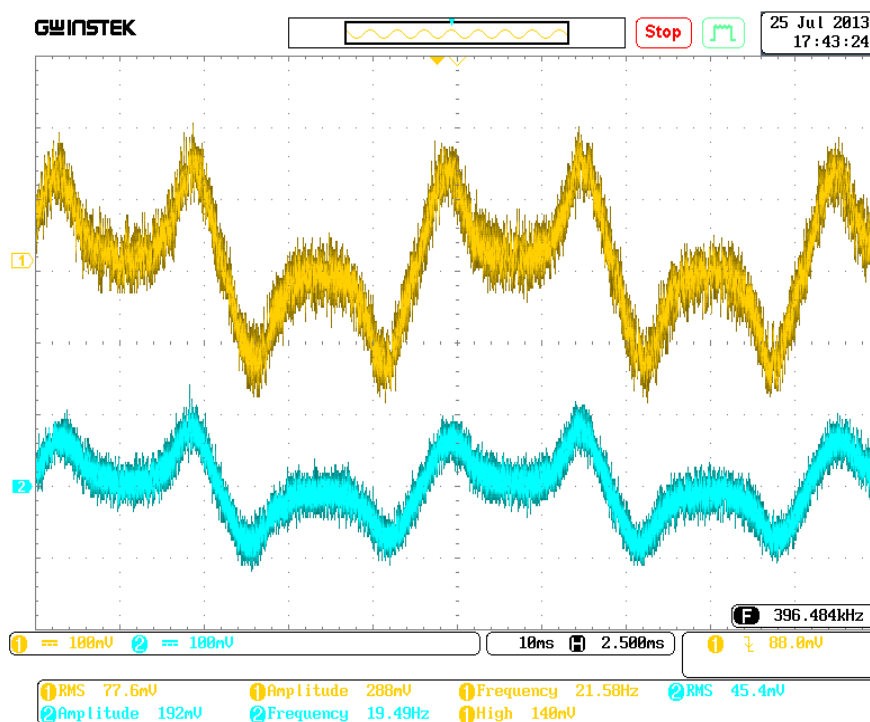


Рис. 2.

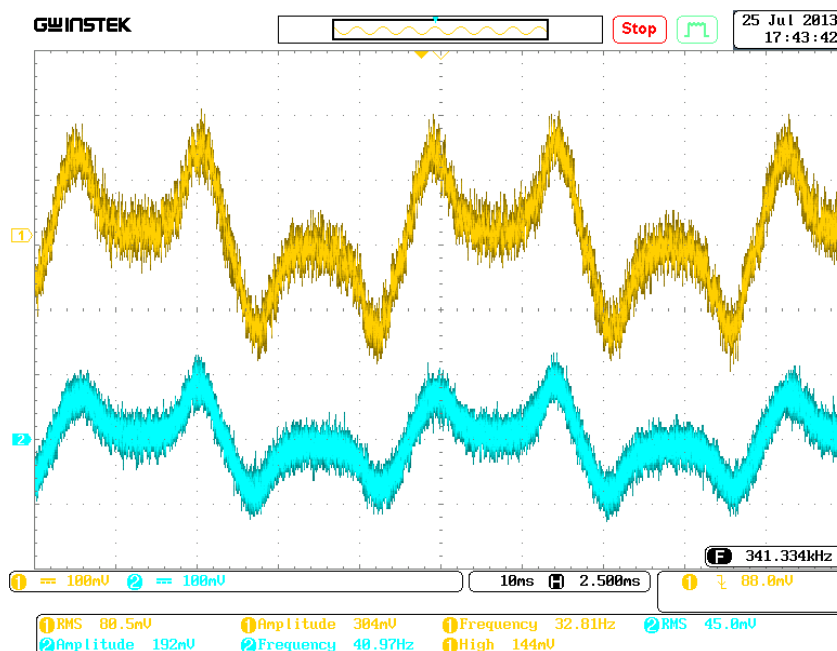


Рис. 3

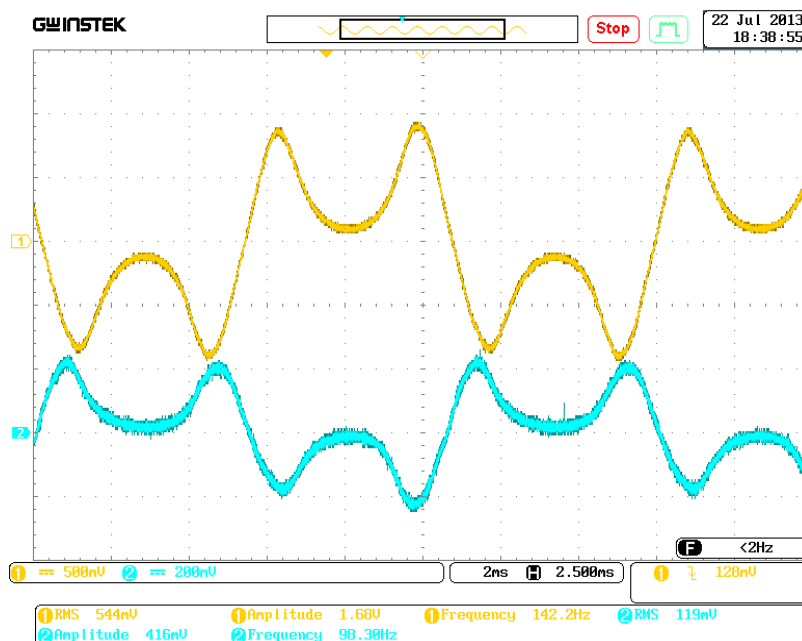


Рис. 4



Рис. 5

### Заключение

По результатам исследования характеристик тока, напряжения, частоты соединенной последовательно бифилярной обмотки, работающей в крутящихся электрических машинах, можно сделать следующие выводы:

1. Авторами выполнено исследование, и проведен анализ частотных характеристик и характеристик тока при помощи специально собранной установки, представляющей собой имитацию торцевой электрической машины с одной парой полюсов.

2. Результаты исследований вышеупомянутых характеристик показывают, что наличие бифилярной обмотки в электрических машинах позволяет осуществлять плавное регулирование резонансной частоты в широких пределах.



**Библиографический список**

1. *Sharma V., Murthy S., Singh B.* An improved method for the determination of saturation characteristics of switched reluctance motors // *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 1999, Vol. 48. № 5. P. 995–1000.
2. *Фишман В., Федоровская А.* Исследование несимметричных режимов трехфазных трех-стержневых трансформаторов со схемой соединения обмоток «Зигзаг». *Проблемы региональной энергетики.* 2013. № 3. С. 39–46.
3. *Пентегов И. В., Рымар С. В., Безручко В. М.* Расчет и сравнение индуктивностей цепей протекания токов нулевой последовательности в автотрансформаторных фильтрах // *Технічна електродинаміка.* 2009. № 6. С. 38–45.
4. *Семенов А. В., Кулинич А. П.* Патент SU 637883. Оpubл.: 15.12.78.
5. *Li P., Bashirullah R.* A wireless power interface for rechargeable battery operated medical implants, *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs.* Vol. 54. № 10. P. 912–916, Oct. 2007.
6. *Shin J.* Design and implementation of shaped magnetic resonance based wireless power transfer system for roadway-powered moving electric vehicles, *IEEE Trans. Ind. Electron.* Vol. 61. № 3. P. 1179–1192, Mar. 2014.
7. *Miranda D., Pichorim S.* A Self-Resonant Two-Coil Wireless Power Transfer System Using Open Bifilar Coils. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 64 (6). P. 615–619.
8. *Зиганшин Т. Р.* Бифилярные катушки в электрических машинах и преобразователях // *Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики АНТЭ-2015.* С 473–475.
9. *Padamanabhan K., Swaminathan P.* *Electronic Components*, Laxmi Publications. 2016.
10. Патент U.S. patent 512340. Coil for electro magnets. Inventor N. Tesla. Patented Jan. 9, 1894.
11. Патент RU №2355060. Катушка, автор Янчук В. П. Дата приоритета: 2007.03.28. Оpubл: 10.05.2009.
12. Патент № 96599. Безреактивная катушка сопротивления, авторы: Быков М. А., Максимов С. Г., Устинов С. Л. Дата приоритета: 1949.03.29. Оpubл: 1953.01.01.
13. *Marcis V., Laskoski G.* Humidity in sandy soil measured by passive, wireless, and resonant sensor with bifilar coil. Published under licence by IOP Publishing Ltd *Journal of Physics: Conference Series.* Vol. 407, conference 1.
14. Патент RU 117748. Устройство заряда емкостного накопителя, авторы: Конесев С. Г., Хазиева Р. Т., Садиков М. Р., Кириллов Р. В., Мухаметшин А. В. Дата приоритета: 2012.02.15. Оpubл: 2012.06.27.
15. *Конесев С. Г., Хазиева Р.Т., Кириллов Р. В.* Режимы работы гибридных электромагнитных элементов в индуктивно-емкостных преобразователях. *Динамика систем, механизмов и машин.* 2018. Т. 6. № 3. С. 33–40.
16. *Kirschvink J.* Uniform magnetic-fields and double-wrapped coil systems – improved techniques for the design of bioelectromagnetic experiments ioelectromagnetics. Published in *Bioelectromagnetics.*
17. *Jung J.* Bifilar winding of a center-tapped transformer including integrated resonant inductance for llc resonant converters. *IEEE Transactions on power electronics* Volume: 28 Issue. P. 615–620.
18. Chang. Manufacture and test of small-scale superconducting fault current limiter by using the bifilar winding of coated conductor / M. Ahn, D. Bae, S. Yang et al. *IEEE Transaction on applied superconductivity.* Vol.16 P. 646–649.
19. *Pollock H., Pollock C., Walter R.* Low cost, high power density, flux switching machines and drives for power tools. *IEEE Industry applications conference.* Vol. 1–3: crossroads to innovations. Book series: *IEEE industry applications society annual meeting.* P. 1451–1457.
20. *Krishnan R., Materu P.* Analysis and design of a low-cost converter for switched reluctance motor-drives. *IEEE Transactions on industry applications.* Vol. 29. P. 320–327.
21. *Xue X., Cheng K., Bao Y.* Control and Integrated Half Bridge to Winding Circuit Development for Switched Reluctance Motors. *IEEE Transactions on industrial informatics* Vol. 10. P. 109–116.

УДК 330

**М. А. Беликов**

студент кафедры программно-целевого управления в приборостроении

**В. А. Семенова** – кандидат экономических наук – научный руководитель

## ПРОБЛЕМЫ И РИСКИ VR/AR-ТЕХНОЛОГИЙ В БИЗНЕСЕ

AR – это технология, которая накладывает цифровую информацию и средства массовой информации, такие как 3D-модели и видео, на реальный мир через смартфон, планшет, ПК или подключенные очки.

AR можно определить как прямое или косвенное представление физической реальной среды, элементы которой дополняются или перекрываются сгенерированными компьютером сенсорными данными, такими как звук, видео, графика или данные GPS.

AR может принести пользу инвесторам, муниципальным и кооперативным предприятиям в улучшении бизнес-процессов, ускорении восстановления электроснабжения и решении проблемы старения, ухода на пенсию работников предприятий, способствуя сохранению институциональных знаний.

По оценкам отраслевых экспертов, к 2020 году энергетика будет ежегодно тратить на AR-технологии более \$15 млрд.

В долгосрочной перспективе эти новые технологии, такие как AR и VR, приведут к ускорению роста доходов, повышению гибкости организаций и улучшению управления рисками.

Отраслевые менеджеры по найму часто сообщают, что отсутствие подготовки кандидатов, опыта или технических навыков являются основными причинами, по которым трудно найти замену персоналу, особенно в электроэнергетике.

Один из вариантов использования AR – обучение сотрудников. 2D-диаграммы сложных компонентов могут быть дополнены 3D-моделями. Сотрудники могут вращать и взаимодействовать с 3D-моделями, чтобы получить лучшее представление об оборудовании.

Еще одна возможность – ускорить техническое обслуживание оборудования. Благодаря дополненной реальности специалисты в этой области имеют непосредственный доступ к экспертным знаниям. Они могут получить доступ к полной документации для всего оборудования на своих планшетах.

Технические специалисты могут наложить 3D-модель на фактическое оборудование. Они также могут просматривать внутренние компоненты оборудования и исследовать его внутреннюю работу.

AR также вступает в игру, когда полевой техник находится на месте, но ему не хватает знаний, опыта или доступа к необходимым данным. Мобильное устройство или очки, оснащенные AR, позволяют эксперту по предметам консультировать полевого техника о том, какие шаги следует предпринять.

Технология также повышает безопасность эксплуатации, позволяя лучше визуализировать подземные активы и сложные компоненты, уменьшая количество аварий. Другие конкретные примеры использования включают логистику цепочки поставок, размещение и инспекцию активов, дистанционную помощь, визуализацию оборудования и структур с многоуровневыми данными, визуализацию скрытых активов и ситуационную осведомленность.

Поскольку по своему характеру все VR/AR-проекты являются преимущественно ИТ-проектами, им свойственны все классические проблемы и риски ИТ-проектов.

По мнению экспертов, на сегодняшний день перечень основных препятствий выглядит следующим образом (в порядке снижения критичности фактора):

### *1. Дефицит квалифицированных специалистов*

Как с любой новой технологией, в момент формирования повышенного спроса на решения, базирующиеся на этой технологии, на рынке наблюдается дефицит специалистов – как в компаниях, занимающихся продвижением и внедрением решений, так и для набора в штат компаний-заказчиков. В случае с VR/AR основной дефицит составляют разработчики контента/сценариев и

специального ПО. Даже при формальном присутствии на рынке необходимых ресурсов (дизайн-студии, стартапы) они могут оказаться неудовлетворяющими специальным требованиям заказчиков.

## *2. Технические ограничения оборудования и ПО*

В ходе пилотных проектов заказчики нередко обнаруживают, что оборудование и ПО VR/AR-решений не всегда соответствуют требованиям, предъявляемым условиями реального производства. Так, очки, использованные в прототипе интерактивного помощника, оказались достаточно хрупкими, их батарея имела ограниченную емкость, а сами они не интегрировались со средствами индивидуальной защиты, используемыми в производстве.

## *3. Стоимость внедрения*

Если исходить из профиля потенциальных заказчиков обсуждаемых решений, то можно однозначно утверждать, что для большинства из них стоимость внедрения не является сдерживающим фактором для принятия решения о начале пилотного проекта (с учетом обсуждения стоимости проектов, приведенной в разделе «Экономика VR/AR-проектов»).

Однако переход от «пилота» к масштабному развертыванию уже может сдерживаться именно по соображениям стоимости.

## *4. Отсутствие убедительного технико-экономического обоснования для реализации проекта*

Это не столько фактор-препятствие, сколько реальность последних лет. Пилотные проекты иницируются с достаточно скромными бюджетами (иногда – и практически без бюджетов, на энтузиазме разработчиков-новичков, заинтересованных в получении платежеспособного заказчика), а промышленные внедрения разворачиваются только тогда, когда эффективность и окупаемость решения доказана практикой.

## *5. Сопротивление консерваторов как среди руководства, так и среди персонала*

Это не специфический для VR/AR-проектов фактор, а скорее – традиционный, хорошо известный и понятный риск любых ИТ-проектов. Соответственно, способы минимизации негативного воздействия данного фактора тоже давно известны.

Дополненная реальность (AR) и ее варианты (виртуальная реальность, вспомогательная реальность и смешанная реальность) будут широко развиваться и принесут новую ценность в энергетический сектор. Предприятия созрели для работы с AR, что в свою очередь обещает сделать рабочие процессы более эффективными и безопасными, а работников – более продуктивными. С системами и устройствами, достигшими доступной ценовой точки, эти решения, которые позволяют обмениваться знаниями и делают рабочие места инструментами повышения производительности, являются большими возможностями для инвестиций на технологическом фронте.

## **Библиографический список**

1. Лучшее обучение и снижение рисков на энергообъектах благодаря виртуальной реальности и геймификации. URL: <https://www.indracompany.com> (дата обращения: 12.01.2020).
2. Виртуальная реальность прокладывает путь к повышению безопасности и эффективности в энергетике. URL: <https://www.power-technology.com> (дата обращения: 14.01.2020).
3. Рынок промышленных VR/AR-решений в России URL: <http://www.tadviser.ru> (дата обращения: 15.01.2020).

УДК 658.5.011

**Д. П. Белошева**

студентка кафедры программно-целевого управления в приборостроении

**В. А. Семенова** – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель**ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ В СФЕРЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

Подходы к управлению в сфере электроэнергетики или в любой другой – это совокупность способов воздействия субъекта управления на объект для достижения определенного результата. Подходы к управлению используют и формируют экономические интересы, взаимоотношения между людьми и их правовые отношения.

Вопрос менеджмента (управления) в сфере электроэнергетики обладает рядом особенностей:

- 1) при рассмотрении экономической составляющей электроэнергетическая отрасль представляется как капиталоемкая и интеллектуальная трудоемкость;
- 2) электроэнергетическая отрасль имеет необходимость в интенсивном и непрерывном финансировании;
- 3) энергетика, как типичный представитель естественной монополии, требует государственного регулирования;
- 4) необходимость дополнительных инвестиций.

Важность управления в данной отрасли – это задача первого этапа, а именно регулирование деятельности, преобразование производственного процесса в определенное положение при этом функционирование организационных элементов происходит одновременно, в соответствии с новыми поставленными задачами. Под вышеизложенным понимается то, что это организационные правила, формальные системы, где обязанности возлагаются на основании прав, степени риска с потенциальной прибылью и т. д. [1].

Ниже представлена классификация подходов к управлению в сфере электроэнергетики [2]:

➤ Экономические, основанные на социально-экономических законах, – это способы воздействия на людей, имеющие в своей основе экономические отношения людей и использование их экономических интересов. Экономические интересы образуют в обществе большую систему, которая может быть подвергнута декомпозиции на интересы государства, предприятия, коллектива и личности. Между этими интересами всегда существуют противоречия.

➤ Организационно-распорядительные, основанные на правах и ответственности людей на всех уровнях взаимодействия и управления. Такие методы устанавливают права и обязанности, ответственность каждого руководителя и подчиненного (исполнителя), а также каждого звена и уровня управления.

➤ Социально-психологические, основанные на формировании и развитии общественного мнения относительно каких-либо общественно либо индивидуально значимых нравственных ценностях. Целенаправленное развитие и формирование общественного мнения создает необходимые условия для проведения социальной активности личности и общества.

Рассмотрим подробнее каждый из методов, представленных выше.

Экономические методы управления применяются, поскольку необходимо использовать всю систему экономических законов и категории общественного развития. Система этого метода опирается на все рычаги регулирования, а именно: финансы, кредит, прибыль, рентабельность, заработную плату и т. д. Используются эти рычаги регулирования всегда комплексно и системно. Цель использования данного метода управления состоит в создании объективных условий для создания эффективной реализации социально-экономических законов общественного развития в интересах личности, предприятия и общества;

Организационно-распорядительные методы управления обеспечивают личную ответственность каждого работника аппарата управления. Ключевые инструменты управления в этом методе – это организационные отношения, которые существуют в любом обществе, на основании их формируются отношения управления. Данные отношения служат основой для построения иерархии вла-

сти. Система субординационных отношений играет важнейшую роль при построении системы организационно-распорядительных методов управления [3].

На уровне общества используются методы социально-массового управления. Это в основном методы воздействия средств массовой информации с целью формирования представления о текущем положении общественного развития и состояния социально-массовых процессов.

В управлении в сфере электроэнергетики нет приоритетного метода и подхода к управлению. При решении различного рода вопросов в разных условиях и обстоятельствах на передовой план могут быть выдвинуты и другие способы, которые охватывают большой спектр предметной области. Наблюдается постоянная динамика при применении методов. Управляющему (менеджеру) необходимо владеть всеми способами управления в целостной системе, чтобы достичь поставленных целей.

#### Библиографический список

1. Особенности менеджмента в электроэнергетике. URL: <https://edtechrus.ru/featuresofmanagement> (дата обращения: 18.02.2020).
2. *Ламакин Г. Н.* Основы менеджмента в электроэнергетике: учеб. пособие. Ч. 1. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2006. 208 с.
3. *Трофимова Н. Н.* Современные проблемы менеджмента российских компаний // Актуальные проблемы экономики и управления. 2015. № 2 (6). С. 42–45.

УДК 621.316

**А. В. Беляева**

магистрант кафедры электромеханики и робототехники

**О. Я. Соленая** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### **ВЛИЯНИЕ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Главной задачей прогнозирования надежности электроэнергетической системы (ЭЭС) является обеспечение бесперебойности и надежности электроснабжения конкретного потребителя, которая учитывается при проектировании и дальнейшем развитии системы. Недостаточная пропускная способность межсистемных и системообразующих электрических сетей создает дополнительные сложности в надежном энергообеспечении потребителей.

Надежность системы электроснабжения определяется надежностью отдельных ее элементов: устройств защиты и автоматики, линий электропередач (ЛЭП), генерирующих агрегатов, коммутационной аппаратуры, режима работы (запасы статической и динамической устойчивости) и живучести системы, то есть ее способностью противостоять различным возмущениям. Составными частями ущерба, нанесенного потребителю, являются аварийные ремонты, которые требуют расходы на повышение надежности системы и перерывы в электроснабжении.

Повысить надежность ЭЭС можно путем:

- использования распределенной генерации;
- плавки гололеда;
- неполнофазных режимов;
- резервирования;
- увеличения пропускной способности элементов сети.

Нормальный режим работы электроэнергетической системы позволяет обеспечивать потребителей электроэнергией заданного качества и нужного количества.

Даже при хорошем качестве электрооборудования и высоком уровне эксплуатации отказов в работе ЭЭС не избежать. Они происходят из-за того, что в условиях эксплуатации нагрузка превышает допустимые нормы, учет которых потребовал бы больших запасов при проектировании системы.

В большинстве случаев причинами отказов в ЭЭС являются повреждения электроэнергетического оборудования или отклонение режимных параметров в элементах сети до недопустимых пределов, которые требуют принятия срочных мер по их ликвидации. Основные причины повреждений электрооборудования ЭЭС представлены на рис. 1 [1].

Из рис. 1 следует, что отказы, вызванные износом электрооборудования и влиянием климатических воздействий, которые подразумевают образование гололеда на проводах, являются самыми значительными.

Надежность функционирования ЭЭС обеспечивается за счет резервирования генерирующих мощностей, пропускной способности сечений электрической сети, выполнения значительных объемов ремонтных и регламентных работ, иерархической автоматизированной системой диспетчерского управления, централизованного оперативного управления. В условиях перманентного процесса морального и физического устаревания электрооборудования очень важно проводить своевременный мониторинг технического состояния основных компонентов ЭЭС, на основе которого прогнозировать надежность электроснабжения потребителей с помощью специализированных математических методов, применяемых для оценки надежности электрических сетей, и с учетом различных факторов (схема соединения элементов, наличие резерва, условия работы и т. д.).

Зачастую при количественной оценке вероятностных показателей надежности прибегают к использованию аналитических, логико-вероятностных и топологических методов [2]. В табл.1 представлены формулы для расчета показателей надежности электрической сети.

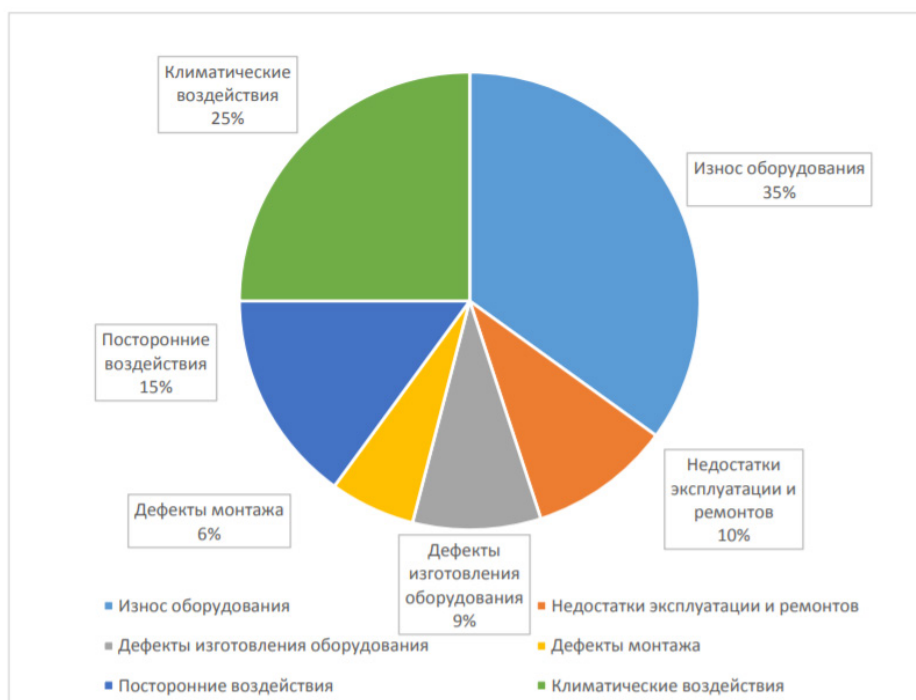


Рис. 1. Распределение отказов оборудования

Таблица 1

**Формулы для расчета показателей надежности электрической сети**

Показатели	Соединение элементов	
	Последовательное	Параллельное
Параметр потока отказов $\omega$ , отказ/год	$\sum_{i=0}^n \omega_i$	$\omega_1 K_{B2} + \omega_2 K_{B1}$
Коэффициент вынужденного простоя $K_B$ , о.е.	$\sum_{i=0}^n = K_{B1} = \sum_{i=0}^n T_{B_i} \omega_i$	$K_{B1} K_{B2} + K_{B1} T_{B2} + K_{B2} T_{B1}$
Коэффициент совместного вынужденного простоя ( $K_B$ ) одного элемента и планового ремонта ( $K_{П}$ ) второго $K_{B1П2}$ , о.е.	-	$0,5\omega_1 K_{П} T_{П2}$ при $T_{П2} \geq T_{П1}$ $K_{П1}(K_{П2} - 0,5T_{B1}\omega_{П2})$ При $T_{П2} < T_{П1}$
Среднее время восстановления $T_B$ , лет/отказ	$K_B / \omega$	$K_B / \omega$
Коэффициент планового простоя $K_{П}$ , о.е.	$\gamma \sum_{i=0}^{n-m} T_{Пi} (\omega_{Пi} - \omega_{Пi-1})$	-
Коэффициент готовности $K_r$ , о.е.	$\frac{1 - (K_{П} + K_B)}{1 - K_{П}}$	$1 - K_B$
Вероятность безотказной работы в течение года $P$ , о.е.	$e^{-\omega}$	$e^{-\omega}$
Математическое ожидание ущерба от вынужденных простоев $У_B$ , тыс. руб./год	$P_{\max} u K_B \epsilon$	$P_{\max} u (\sum_{i=1}^n K_B \epsilon_i + \sum_{jk=1}^{C_n^2} K_{Bjk} \epsilon_{jk})$

Аналитический метод применяется для систем электроснабжения со сложной структурой (большое количество элементов). Обязательно должна быть известна вся информация о структуре системы и ее показателях надежности.

Логико-вероятностный метод применяется для более простых схем. В данном методе применяются законы теории вероятности, которые используются в системах с простейшим потоком отказов, так называемый экспоненциальный закон распределения. Функция отказа системы выражается функцией алгебры логики. При этом, чтобы провести тщательное исследование системы, необходимо построить логическую блок-схему – дерево отказов.

Топологический метод основывается на полном описании всех состояний системы, используя для определения показателей надежности граф состояний, который может быть представлен в форме матрицы состояний и матрицы переходов. Данный метод нагляден, имеет возможность проводить анализ надежности различных систем.

В методе структурных моделей надежности мало внимания уделяется режимной надежности электроэнергетических устройств, которая важна при регулировании графиков электрических нагрузок ЭЭС с учетом человеческого фактора. В таком случае используют структурно-функциональный метод исследования надежности в трех режимах: остановки, пуска и регулирования нагрузки.

С целью изучения надежности выдачи мощности ЭЭС принимаются переменные, нормальные и аварийные режимы работы. Аварийные режимы делятся на неустановившиеся и установившиеся. В неустановившихся режимах учитывается следующее оборудование: ЛЭП, трансформаторы, генераторы, выключатели. Установившийся режим включает в себя все отказы электротехнического и тепломеханического оборудования. Модели, которыми может быть представлен режим работы системы электроснабжения, следующие:

- статическая;
- кинематическая;
- динамическая [3].

При нормальном режиме работы системы электроснабжения пользуются статической моделью. В данной модели элементы структурно взаимосвязаны. Также используются математические методы: аналитический, топологический, структурно-функциональный. В данном случае критерием надежности энергосистемы является условный недоотпуск электрической энергии.

Кинематическая модель предназначена для исследования структурно-функциональной надежности, она отражает взаимосвязь элементов ЭЭС в процессе функционирования, также учитывает последствия действий автоматики. Данные модели имеют применение в переменных режимах (включения, отключения, пуска и т. д.). При расчетах используют вероятностные методы – марковский случайных процессов с дискретным числом состояний, логико-вероятностный и др. Критериями надежности энергосистемы в этом случае является условный недоотпуск электроэнергии (переменный режим) и дефицит мощности (установившийся аварийный режим) [4].

Динамические модели способствуют обнаружению неустановившихся аварийных режимов. Такие модели предназначены для исследования структурно-функциональной надежности, в расчетах которых используются данные лишь статических испытаний. Надежность в этом случае характеризуется свойствами живучести и режимной управляемости.

Для обеспечения эффективности и надежности функционирования ЭЭС необходимо проводить ее оснащение современным оборудованием и средствами управления, новыми технологиями управления потоками передаваемой мощности, регулирования напряжения и реактивной мощности с учетом использования зарубежного опыта. Стратегическими целями развития электроэнергетики в перспективе являются:

- надежное энергоснабжение экономики и населения страны электроэнергией;
- сохранение целостности и развитие Единой энергетической системы страны, ее интеграция с другими энергообъединениями;
- повышение эффективности функционирования и обеспечение устойчивого развития электроэнергетики на базе новых современных технологий;
- снижение вредного воздействия на окружающую среду.



Важность решения задачи повышения надежности систем электроснабжения возрастает в связи с усложнением структуры электрических сетей, появлением в них новых элементов. В настоящее время используются различные методы оценки надежности ЭЭС и ее компонентов, но задача разработки новых методов и решений остается актуальной по сей день.

#### Библиографический список

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе». URL: [https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/index.php?sphrase\\_id=785757](https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/index.php?sphrase_id=785757) (дата обращения: 28.02.2020).
2. *Васильева Т. Н.* Надежность электрооборудования и систем электроснабжения. М., 2015. 152 с.
3. *Долгин В. П., Харченко А. О.* Надежность технических систем: учеб. Пособие. М.: НИЦ ИНФРА, 2015. 167 с.
4. *Хорольский В. Я., Таранов М. А.* Надежность электроснабжения: учеб. Пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2017. 127 с.

УДК 338.3

**Т. А. Бобович**

студент кафедры программно-целевого управления в приборостроении

**Г. С. Армашова-Тельник** – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

### СОВРЕМЕННЫЕ УЧЕБНЫЕ ЦЕНТРЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СФЕРЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ И МИРА

В статье рассмотрены учебные центры на предприятиях электроэнергетики, произведен анализ затрат на обучение персонала, выявлены цели повышения квалификации сотрудников.

Развитие персонала является одним из важнейших направлений деятельности по управлению персоналом и факторов успешной деятельности производства. Инвестирование в развитие кадров играет равнозначную роль относительно инвестирования средств в модернизацию производственных мощностей. Под развитием персонала принято понимать совокупность мероприятий, направленных на повышение квалификации и совершенствование психологических характеристик работников.

Существенная значимость эффективного функционирования компании в настоящее время приходится на рост уровня профессиональных и личностных компетенций сотрудников с помощью системы обучения и развития персонала. Экономическая выгода для организации, непрерывный научно-технический прогресс, высокая степень производительности труда и конкурентоспособности персонала являются факторами, влияющими на рост приоритетности развития персонала.

В американских фирмах на развитие сотрудников выделяется около 6–8 % всех расходов на персонал. По данным Росстат за период 2015–2019 годы в России на обучение сотрудников, занятых в сфере электроэнергетики, выделяют на 30 % больше средств, чем в период с 2010 по 2014 год, но показатель не превышает 4–5 % от общих расходов на персонал (рис.1) [1].

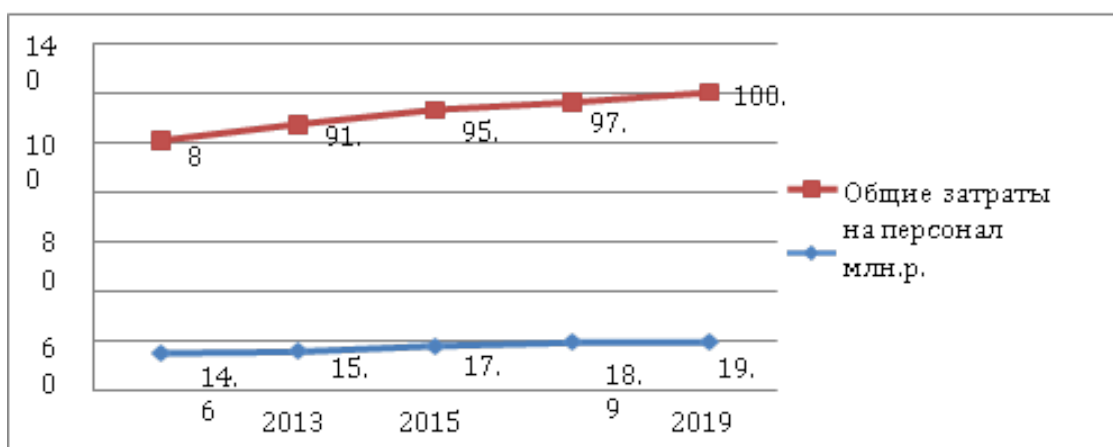


Рис. 1. Расходы на персонал на предприятиях сферы электроэнергетики в России

Опираясь на данные рис. 1, можно сделать вывод, что расходы на персонал, так же как и расходы на его обучение, с каждым годом растут, но этот рост очень мал. В долгосрочной перспективе компаниям следует выделять не менее 20 % из суммы общих затрат для обучения персонала, поскольку это позволит повысить уровень квалификации сотрудников, что в свою очередь способствует повышению конкурентоспособности предприятия на рынке.

В странах Европы наблюдаются строгие экономические ограничения, то есть контроль обучения сотрудников сферы электроэнергетики с неременной оценкой результатов проведенных мероприятий [2]. Также в европейских государствах большое распространение имеет корпоративное обучение в специализированных центрах. Например, лидер энергетического рынка Германии, фирма «E.ON», обеспечивает обучение персонала в собственном учебном центре.

Для европейских компаний профессиональная подготовка и переподготовка персонала носят непрерывный, системный характер, так как в компании постоянно происходит мониторинг потребностей в

профессиональной подготовке и планирование дальнейшего использования обученного персонала. Для американских компаний электроэнергетической отрасли характерна взаимосвязь заработной платы и уровня образования сотрудника, что в свою очередь влияет на уровень жизни в целом.

В последнее время у крупных компаний прослеживается тенденция создания собственных учебных центров для подготовки и переподготовки собственного персонала. Так, например, Tokyo Electric Power Co (Япония), компания «Royal Dutch Shell» (Нидерланды), Exxon Mobil Corp (США), CNOOC Ltd (Китай) имеют целый ряд учебных центров. В них наряду с профессиональной подготовкой осуществляется дальнейшее сопровождение процессов развития персонала компании. Преимущественно это осуществляется через курсы повышения квалификации, консультации для руководителей и специалистов, разного рода тренинги. Необходимо отметить, что профессиональная подготовка и обучение персонала осуществляется в рамках дуальной системы, которая предполагает гармоничное сочетание циклов теоретического и практического обучения [3].

Для переподготовки своих кадров американские фирмы тратят огромное количество ресурсов, так как прибыль компании напрямую связана с квалификацией персонала. Залог успешной деятельности корпорации коррелирует как с индивидуальным, так и с групповым интеллектуальным потенциалом.

Так, например, Enterprise Product Partners потратила на обучение персонала в 2017 году 2 млрд долл. [4]. Наблюдается тенденция устойчивого роста инвестиций в человека, что свидетельствует о понимании и принятии человека и его профессиональной деятельности в компании как одного из основных определяющих компонентов в достижении успешности деятельности компании, ключевых факторов повышения ее конкурентоспособности.

Японские корпорации инвестируют в обучение кадрового состава в три раза больше ресурсов чем американские. Это связано с тем, что для Японии широко применима концепция «гибкого сотрудника», суть которой заключается в переподготовке персонала по нескольким отраслям с последующим повышением квалификации. Это объясняется тем, что обучить сотрудника намного выгоднее и дешевле, чем его заменить [5].

Анализируя исследование РБК, проведенное в 2017 году на тему развития корпоративных центров повышения квалификации, можно сделать вывод, что первое место в данном рейтинге среди компаний сферы электроэнергетики занял «Сургутнефтегаз», который также занял лидирующее положение по расходам на корпоративное обучение (17 млн руб. в 2016 году). Далее следуют такие компании, как «Лукойл» и «Газпром энергохолдинг». Все организации, принявшие участие в опросе, в среднем расходуют на обучение персонала около 0,9 % фонда заработной платы.

В целом в России наблюдается тенденция увеличения расходов на образовательную функцию развития сотрудников отрасли электроэнергетики. Например, в результате исследования «Банка данных заработных плат Head Hunter» в 2016 году, опросив 481 представителя российских энергокомпаний, было выявлено, что четверть респондентов планируют увеличить расходы на обучение своих сотрудников. Это обусловлено достижением определенных целей (рис. 2).

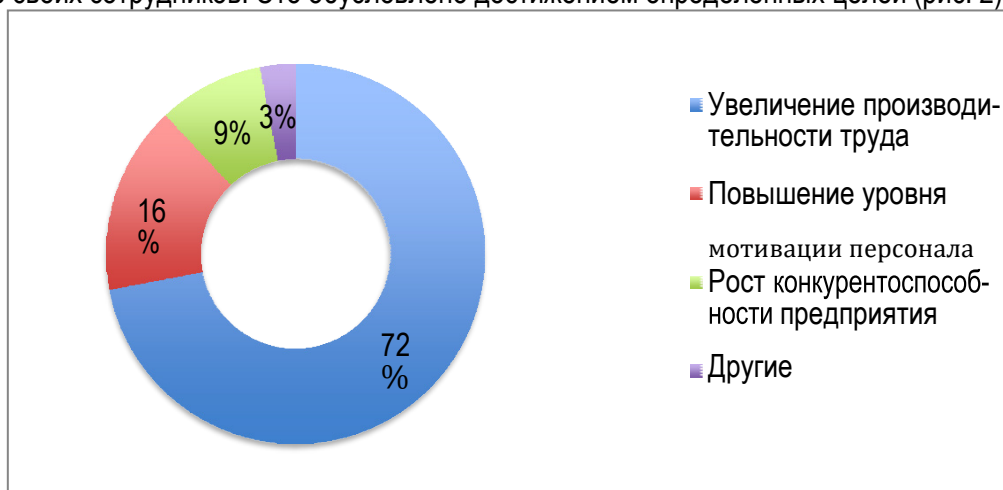


Рис. 2. Цели обучения кадров

Опираясь на данные диаграммы, можно сделать вывод, что часто встречаемой целью обучения кадров среди респондентов является увеличение производительности труда (72 %), второе место приходится на повышение уровня мотивации сотрудников (16 %), третье место занимает рост конкурентоспособности предприятия (9 %) [5].

Обучение персонала играет значимую роль для большинства российских предприятий. Это детерминировано возрастающими требованиями рынка к качественно новому уровню квалификации персонала. Вчерашние знания, установки и навыки, помогающие персоналу успешно работать, сегодня теряют свою актуальность. Стремительно меняющиеся внешние (законодательство, система налогообложения, новые конкуренты, экономическая и политическая стратегия государства) и внутренние (изменение технологий производства, реструктуризация предприятия, сокращение или появление новых рабочих мест) условия функционирования организации ставят большинство компаний перед необходимостью подготовки персонала к грядущим изменениям. Ускоренное развитие научно-технического прогресса, быстрое устаревание профессиональных навыков и знаний обуславливает возросшую значимость профессионального обучения. Обучение персонала помогает организации отвечать ужесточившимся требованиям современного рынка.

### Библиографический список

1. Свиридова Л. В., Романова В. В. Современные проблемы управления человеческими ресурсами: монография / Волго-Вятская академия госслужбы, 2015. 372 с.
2. Центр экономических и финансовых исследований и разработок. URL: <http://www.cefir.ru/index.php?l=rus> (дата обращения: 16.12.2019).
3. Торопов В. Д., Волокитина Е. А. Проблема текучести персонала на предприятиях сферы энергетики в России // Экономика труда. 2018. Т. 5. № 4. С. 1147–1154.
4. Федеральная служба государственной статистики. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru) (дата обращения: 15.12.2019).
5. РБК – исследования рынков. URL: <https://marketing.rbc.ru/author/52> (дата обращения: 05.01.2020).

УДК 621.311.04

**А. П. Бобрышов**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**В. П. Кузьменко, Е. С. Квас**

аспиранты, ассистенты кафедры электромеханики и робототехники

**С. В. Солёный** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ СПОСОБОВ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ ПРОВЕРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Внедрение роботов и автоматизированных устройств в повседневную жизнь человека помогает избавиться от травмоопасной, рутинной или сложной работы. Оно повышает эффективность выполняемого рабочего процесса, увеличивает объем проработанной работы, сводит к минимуму возникновение ошибки в ходе выполнения рабочего процесса. Примером может являться полностью автоматизированная линия формовки кузовных деталей на автомобильном производстве. В ходе введения робототехнических систем в ту или иную сферу деятельности человека специалисты всегда сталкиваются с проблемой взаимодействия внедряемых систем. Решениям именно таких проблем посвящена данная статья.

Полностью автоматизированный робототехнический комплекс «РобоМарс» включает в себя: автоматизированный поверочный комплекс УППУ-МЭ 3.1КМ (установка поверочная полуавтоматическая универсальная, рис. 1) и интеллектуального промышленного робота Baxter (рис. 2).



Рис. 1. Автоматизированная поверочная установка УППУ-МЭ 3.1КМ

Поверочный комплекс предназначен для проверки эталонных и рабочих средств измерения электроэнергетических величин, таких как: однофазные и трехфазные счетчики активной и реактивной электрической энергии, однофазные и трехфазные ваттметры, измерительные преобразователи активной и реактивной мощности, энергетические фазометры, частотомеры, вольтметры, амперметры, измерительные преобразователи напряжения и тока, анализаторы ПКЭ (показатели качества электроэнергии). Класс точности комплекса составляет 0,02, 0,05, являясь эталоном первого разряда по ГОСТ. Базовый состав включает в себя: эталонный прибор энергомонитор 3.1КМ, генератор сигналов произвольной трехфазной формы (энергоформа 3.1), усилители тока и напряжения, блок коммутации, приборную стойку.



*Рис. 2. Интеллектуальный робот Baxter*

Интеллектуальный промышленный робот Baxter подключает электроизмерительные приборы к поверочному комплексу. Первой проблемой измерительного комплекса является управление данным роботом. Baxter был разработан компанией Rethink Robotics. По заявлению создателей, робот предназначен для замены людей при выполнении монотонной и утомительной работы: сборки, переноса, сортировки продукции и множества других подобных операций. К особенностям Baxter'a стоит отнести его мобильность и простое внедрение в автоматические линии. Особенность внедрения заключается в возможности обучения робота, не прибегая к его программированию. Классический робот требует создание управляющей программы и необходимого специалиста, способного настроить и отладить программу под нужды производства. Настройка Baxter'a не требует создание программы, роботу достаточно показать требуемые от него действия. Процесс обучения настолько прост, что его сможет настроить в течение 30 мин. даже обычный рабочий завода. Робот оснащен двумя руками-манипуляторами, имеющими 7 степеней подвижности, также существует множество сменных схватов под нужды заказчика. Baxter работает на открытом источнике Robot Operating System и оснащен специальными сенсорами, определяющими присутствие человека. При попадании человека в поле зрения робота данные сенсоры позволяют перейти ему в безопасный режим и замедлить свои действия, вплоть до полной остановки работы. Данная особенность позволяет эксплуатировать Baxter'a без использования защитной ограды, также он может использоваться на четвероногом пьедестале с колесами, что позволяет ему быть более мобильным. Возможность обучения Baxter'a является решением сложившейся проблемы. Необходимо показать роботу посредством перемещения руки-манипулятора, какие действия ему необходимо выполнить и запомнить. В конкретной ситуации данным действием является подключение измерительных устройств к поверочной установке. Дополнительные циферблаты, кнопки и элементы управления, доступные на руке Baxter'a, помогут обеспечить задание нужной точности и плавности хода робота. Также стоит отметить такую особенность робота, как «отсутствие инструмента». Если рука-манипулятор уронит измерительное устройство, тогда робот перестанет выполнять работу и просигнализирует об ошибке. Данная функция позволяет избежать возможных повреждений как робота, так и измерительного стенда.

Поверочный комплекс выполняет тестирование различных измерительных устройств. В их число входят стрелочные устройства. Проблемой поверки данных измерительных приборов является их неспособность отправлять материал измерения комплексу. Для фиксации стендом ре-

зультатов поверки стрелочного измерительного устройства необходимо использовать технологию, способную превращать визуальную информацию в цифровую. Подобной технологией является машинное зрение. Ее применение является решением следующей проблемы поверочного комплекса. Машинное зрение – это технология применения компьютерного зрения, изображающая, как именно компьютер может видеть окружающий его мир. Компьютерное зрение способно считывать информацию с изображения, снимков, стоп-кадров и т. д. Данная технология используется для увеличения эффективности производства, она обучает машину видеть процесс производства, производить анализ и принимать решения. Ярким примером служит американская компания Automatrix, выпустившая в 1980 году станки, оснащенные машинным зрением. Данные станки способны паять микросхемы без вмешательства со стороны человека. Система компьютерного зрения включает в себя такие компоненты, как: одна или несколько цифровых камер (черно-белые или цветные), программное обеспечение (для изготовления и обработки изображений), процессор, программное обеспечение технологии машинного зрения, оборудование ввода-вывода, каналы связи (для получения результатов) и специализированные источники света. Последовательность работы машинного зрения в измерительном комплексе заключается в нескольких поочередных этапах. Камера считывает изображения с испытуемого измерительного устройства, изображение попадает в захватчик кадров, полученные данные преобразуются в цифровой формат, информация передается непосредственно в сам компьютер, обрабатывается при помощи программного обеспечения для машинного зрения и направляется в поверочное устройство для проведения поверки. Для обеспечения данного алгоритма работы необходимо обеспечить связь машинного зрения и поверочной установки с персональным компьютером, выполняющим роль передачи и обработки информации.

Обеспечение связи робота и поверочной установки является следующей проблемой, подлежащей решению. Причиной является сама поверка. Необходимо, чтобы Baxter понимал, когда поверка измерительного устройства окончена и его можно отключать от стенда и подключать следующий аппарат. На данный момент есть две основные идеи решения, во многом похожие друг на друга. В первом случае необходимо обеспечить связь робота и поверочного стенда через компьютер и наладить связь между роботом и программой поверочной установки. Для начала необходимо научить Baxter'a двум алгоритмам. Первый алгоритм является подключением первого испытуемого измерительного устройства к поверочной установке. Второй алгоритм заключается в отключении от стенда проверенного устройства и подключением нового, не протестированного. Цикл второго алгоритма и будет являться автоматизированной поверкой. После завершения проверки программа поверочного стенда должна дать сигнал роботу о завершении испытания: таким образом он будет понимать, когда необходимо запускать в работу второй алгоритм. Следующая идея частично копирует первую, в ней также присутствуют два алгоритма с заменой проверенного устройства на новое, не испытанное. Отличие заключается в отсутствии необходимости обеспечения связи робота и поверочной установки через компьютер. Необходимо добавить поверочной установке визуальное сигнальное устройство в виде лампы, которое будет давать знак Baxter'у к запуску алгоритма. Baxter оснащен лицевой камерой, обеспечивающей ему обзор рабочей поверхности. С ее помощью он сможет улавливать и воспринимать сигнал.

Для начала проверки измерительного устройства необходимо подключить его к поверочной установке. Для этого нужно подключить вывода тестируемого аппарата к установке, что требует высокой точности от исполнительного робота. Проблема заключается в самом подключении. Baxter обладает высокой точностью, но процесс подключения устройства является весьма сложным, он может занять много времени. Также не исключена ошибка и возможность повреждения испытуемого аппарата. Решением данной проблемы может являться магнитный контакт. Главным преимуществом данного разъема является подключение. Благодаря магнитам, расположенным в разъеме, соединение устройства происходит благодаря магнитному полю. При поднесении аппарата к месту контакта он будет удерживаться благодаря полю, образуемому магнитами. Такой разъем также просто отсоединяется, достаточно приложить небольшое усилие и отключить устройство. При этом не наносится вред как разъему, так и устройству. Силы магнитного поля в месте соединения достаточно для соединения и удержания, что полностью соответствует нашим требованиям. Отнести к плюсам данного решения можно вариативность исполнения разъема. Его можно изготовить в форме

прямоугольника и расположить таким образом, чтобы подключение аппарата было возможно при разных ориентациях коннектора.

### **Заключение**

Подводя итог, можно сказать, что решением поднятых в статье проблем являются:

- 1) возможность обучения робота, что обеспечивает не только автоматическое подключение, но и дает возможность более точной настройки подключения-отключения аппаратуры;
- 2) использование технологии машинного зрения, представляющей возможность считывать информацию со стрелочных измерительных устройств;
- 3) комбинированная особенность робота и встроенного в него машинного зрения, способного распознавать окружающую среду;
- 4) введение технологии магнитных контактов, предоставляющих возможность быстрого отключения-подключения устройств к поверочной установке, минуя лишние операции.

### **Библиографический список**

1. Active Robots collaborative robot specialists. URL: <https://www.active8robots.com/case-studies/view/dr-michael-walters> (дата обращения: 15.11.2019).
2. BBS news. URL: <https://www.bbc.com/news/business-20800118> (дата обращения: 18.11.2019).
3. Habr «машинное зрение». URL: <https://habr.com/ru/post/350918> (дата обращения: 18.11.2019).
4. Control engineering. URL: <https://controlengrussia.com/tehlichesкое-zrenie/osnovy-mashinnogo-zrenija> (дата обращения: 18.11.2019).
5. Магнитные контакторы. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/MagSafe> (дата обращения: 20.11.2019).



УДК 644.36

**А. П. Бобрышов**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**С. В. Солёный, О. Я. Солёная**

кандидаты технических наук, доценты кафедры электромеханики и робототехники

**В. П. Кузьменко** – аспирант, ассистент – научный руководитель

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТВОДОВ И РАДИАТОРОВ ОТВОДА ТЕПЛА МАЛОМОЩНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

В настоящее время все больше потребителей использует в качестве освещения светодиодные лампы. Основными плюсами использования данного типа освещения является: низкое электропотребление, большой срок службы, высокий световой поток. Высокую, относительно простой лампы накаливания, стоимость светодиодной лампы полностью компенсирует низкое потребление мощности, 25 Вт лампа накаливания против 5 Вт светодиодной лампы при равных значениях светового потока. Основное количество производимых светодиодных ламп состоит из: колбы, платы со светодиодами, драйвера, цоколя и пластикового корпуса. Частой проблемой данного типа освещения является перегорание светодиодов. Из-за удешевления производства в конструкции не предусматривается наличие теплоотвода. Эксплуатация данных ламп в основном происходит в условиях, превышающих установленные нормы работы. В светодиодных лампах распространено использование светодиодов серии smd 3528 с диапазоном рабочих температур  $-40/+85$  °С. На рис. 1 представлено излучение теплового поля от светодиодной лампы. Как видно, в месте расположения светодиодов температура достигает почти 97 °С. Данное значение температуры превышает рабочее значение светодиодов smd 3528 на 13 %.

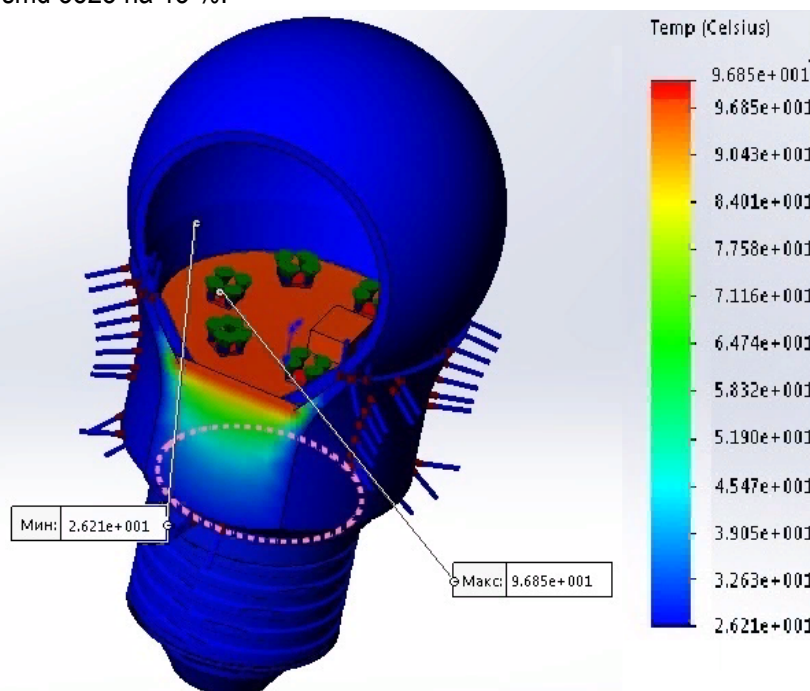


Рис. 1. Тепловые поля, излучаемые светодиодной лампой

Длительная эксплуатация светодиодной лампы приведет к ее выводу из строя посредством перегрева. Необходимо учитывать влияние температуры р-п перехода светодиода при импульсном питании. При большом значении длительности импульса на светодиоде происходит снижение напряжения, что является эффектом саморазогрева. Повышение температуры светодиода влечет за собой снижение прямого падения напряжения на нем, что является причиной увеличения тока, потребляемого светодиодом согласно вольтамперной характеристике. Рост тока ведет к еще боль-

шему нагреву, в результате которого светодиод выгорает, тем самым выводя из строя светодиодную лампу. Оптимальным значением длительности импульсного питания является 500 мкс, поскольку форма питания при данном импульсе имеет прямоугольную форму без падения напряжения на светодиоде. Не все производители светодиодных ламп соблюдают данное значение питающего импульса, что является одной из причин повышения температуры светодиодных ламп. Также стоит помнить, что многие светодиодные лампы находятся в замкнутом пространстве. С таким расположением рабочая температура повышается еще больше, превышая граничную рабочую температуру светодиодов, что приводит к более частым выводам из строя. Примером такого расположения является нахождение светодиодной лампы в плафоне. Для решения данной проблемы рекомендуется использование в конструкции светодиодной лампы вставки-радиатора (рис. 2).

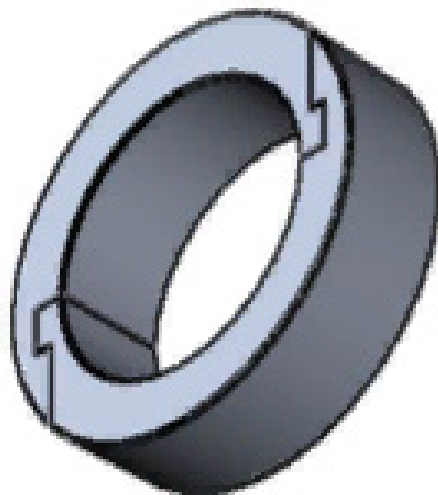


Рис. 2. Радиатор-вставка

Ее главная задача – отводить тепло, выделяемое светодиодами. Отвод тепла происходит через элементы светодиодной лампы в следующей последовательности: кристаллодержатель, паяное соединение, печатная плата, теплопроводная прокладка или теплопроводная паста, вставка-радиатор и внешняя среда. Для расчета площади вставки-радиатора стоит учесть следующую зависимость, 22 см<sup>2</sup> радиатора на 1Вт мощности светодиодной лампы. В связи с этим выведем формулу:

$$S = 22 - (M * 1.5) * W ,$$

где S – площадь радиатора; W – подведенная мощность; M – оставшаяся незадействованная мощность светодиода. Сумма подведенной и незадействованной мощности есть полная мощность светодиодной лампы. Материал для вставки-радиатора стоит выбрать с высокой теплопроводностью, например медь, алюминий. Также стоит учитывать общую массу светодиодной лампы. Удельный вес не должен быть слишком большим. Медь имеет высокую теплопроводность 390 Вт/(м\*град), но ее удельная масса намного выше наиболее распространенного алюминия, имеющего теплопроводность 236 Вт/(м\*град). Еще одним главным преимуществом алюминия является его малая стоимость. Альтернативным вариантом материала для вставки-радиатора является теплопроводящий пластик, его теплопроводность может достигать значений 150–250 Вт/(м\*град). Стоимость такого материала не превышает стоимость алюминия. Использование радиатора-вставки позволит снизить температуру на плате со светодиодами примерно на 5–10 °С, что обеспечивает работу лампы к более близкому температурному диапазону. Не маловажную роль играет расположение вставки в корпусе светодиодного светильника. Конструктивно светодиоды расположены на печатной плате (рис. 3), изготовленной из материала, представляющего комбинацию из пластины алюминиевого сплава и тонкого слоя диэлектрика.

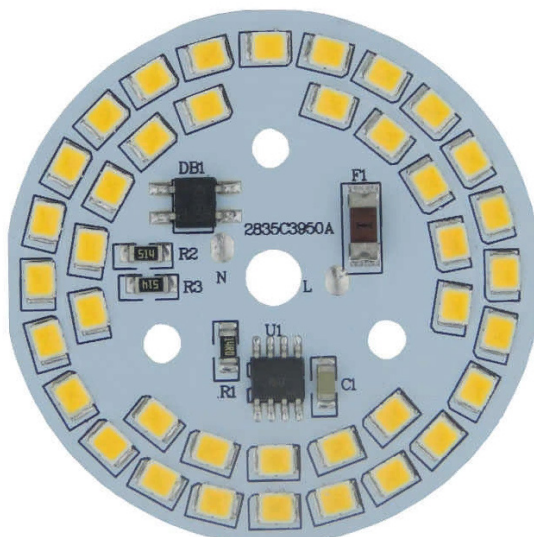


Рис. 3. Плата светодиодной лампы

Для эффективного отвода тепла вставку-радиатор необходимо расположить таким образом, чтобы она имела контакт с платой, являющейся основным источником тепла (рис. 4).



Рис. 4. Светодиодная лампа с радиатором-вставкой

Для более качественного теплоотвода в месте контакта следует нанести теплопроводящую пасту, увеличивающую теплопроводящие свойства. Вставку-радиатор рекомендуется исполнить с ребрами, данное исполнение увеличивает площадь поверхности теплоотвода, увеличивая эффективность охлаждения. Также в конструкции предпочтительно сделать отверстия в корпусе для пассивного охлаждения. Идея заключается в охлаждении воздухом. Более теплый воздух будет нагреваться от тепла, выделяемого светодиодами, его плотность будет уменьшаться, и он будет подниматься, сменяясь на воздух с меньшей температурой и высокой плотностью, тем самым будет происходить пассивное охлаждение платы со светодиодами. Предлагаемую вставку-радиатор стоит смоделировать и рассчитать. Рассмотреть, как именно будут распространяться тепловые поля, излучаемые светодиодами, а также определить места на плате с наиболее высокой температурой. Проанализировав полученные данные, следует найти наиболее выгодное и эффективное расположение и форму вставки-радиатора с точки зрения конструкции светодиодной лампы.

### Заключение

Как было сказано ранее, многие потребители в качестве освещения используют светодиодные лампы, и их количество растет. По причине удешевления на многих производствах светодиодных ламп не соблюдаются конструктивные нормы производимого изделия. Не предусматривается наличие теплоотводящих радиаторов, не соблюдается норма эксплуатации светодиодной лампы. Ее превышение создает большую вероятность вывода из строя светодиодов. Пренебрежение установленными параметрами питания также создает риск вывода из строя. Для решения данной проблемы в статье была предложена идея внедрения в конструкцию лампы вставок-радиаторов. Это предложение поможет решить проблему перегрева светодиодных ламп. Для эффективного отвода тепла необходимо произвести тепловой расчет, на основании которого будет определено: наиболее выгодное, с точки зрения отвода тепла, место расположения радиатора-вставки, конструктивная форма корпуса лампы и радиатора-вставки, материал, учитывающий температурные характеристики светодиодной лампы.

### Библиографический список

1. Исследование испытания светодиодных источников света / В. П. Кузьменко, В. Ф. Шишлаков, С. В. Солёный и др. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovatel'skie-ispytaniya-svetodiodnyh-istochnikov-sveta/viewer> (дата обращения: 27.12.2019).
2. Анализ влияния светодиодного освещения на показатели качества электрической сети / В. П. Кузьменко, В. Ф. Шишлаков, С. В. Солёный и др. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-svetodiodnogo-osvescheniya-na-pokazateli-kachestva-elektricheskoi-seti/viewer> (дата обращения: 05.01.2020).
3. Романовский А. Н. Энергоэффективность светодиодного светильника. URL: <http://www.ledsvet.ru/articles/energoeffektivnostsvetodiodnogo-svetilnika> (дата обращения: 06.01.2020).
4. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. ГОСТ Р 54350-2011.
5. Проектирование светильников. URL: <http://light.rtcs.ru/articles/detail.php?ID=379463> (дата обращения: 07.01.2020).

УДК 629.123; 629.127

**В. Д. Богданов, Р. А. Бурдин, А. Ю. Комендантов, А. У. Давудян**

студенты кафедры электроэнергетики и электротехники

**А. А. Мартынов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**К РАСЧЕТУ ГРЕБНОГО ВИНТА ОБРАТИМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СУДНА**

С целью повышения энергообеспечения морского судна целесообразно использовать обратимый электропривод, обладающий способностью работы как в двигательном, так и в генераторном режиме. Генераторный режим можно использовать при движении парусного судна под парусами или при стоянке судна на якорях в морской акватории с сильным течением. Рассмотрим особенности расчета мощности, генерируемой синхронной машиной, вал которой приводит в движение гребной винт при нахождении его в струе морского потока.

Гребной винт характеризуется следующими параметрами:

*1. Диаметр*

Внешний диаметр винта – это диаметр окружности, описываемой внешними кромками лопастей. Диаметр тем больше, чем меньше обороты двигателя (меньше скорость двигателя и/или больше редуктор). При увеличении поверхности лопастей диаметр будет увеличиваться [1].

*2. Шаг винта*

Шаг винта (H) – это расстояние, пройденное винтом в осевом направлении за один оборот. Изменение шага вина в некоторой степени эквивалентно изменению передаточного отношения. Если вы хотите, чтобы двигатель имел заданное число оборотов, то имейте в виду, что чем быстрее движется судно, тем больший шаг винта необходим [2].

*3. Количество лопастей**3-лопастные гребные винты*

- наиболее широко распространены;
- хорошие выходные характеристики;
- наивысшая максимальная скорость;
- слаженная работа в целом.

*4-лопастные гребные винты*

- более стремительный выход на глиссирование;
- плавный ход лодки на низких скоростях;
- лучшая средняя скорость при одинаковых оборотах по сравнению с 3-лопастным винтом;
- лучшая управляемость на низких скоростях;
- более плавный ход по сравнению с 3-лопастным винтом.

*5-лопастные гребные винты*

- максимальное ускорение;
- наиболее плавный ход катера;
- самый быстрый выход на глиссирование.

**Пример расчета гребной винт для гидрогенератора**

Для оценки возможности генерирования электрической энергии синхронным электродвигателем с магнитоэлектрическим возбуждением использовалась модель синхронного двигателя кольцевого типа с постоянными магнитами.

Мощность  $P_r$ , генерируемая синхронной машиной, определяется с учетом эффективности работы генератора и турбины:

$$P_r = \eta_r \eta_T P_{\Pi} [Bm],$$

где  $P_{\Pi}$  – мощность потока воды, поступающего на лопасти винта, Вт;  $\eta_r$  – КПД генератора, значение  $\eta_r = 0,88$ ;  $\eta_T$  – КПД турбины, значение  $\eta_T = 0,5$ .

$$P_{\Pi} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H [Bm],$$

где  $\rho$  – плотность воды, равна  $1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения, равно  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $Q$  – расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  – скоростной напор потока воды, м.

$$Q = S_T v_{\Pi},$$

где  $S_T$  – площадь сечения, через которое проходит поток воды на лопасти винта,  $\text{м}^2$ ;  $v_{\Pi}$  – скорость потока воды,  $\text{м/с}$ .

Скоростной напор потока воды  $H$  можно определить по формуле:

$$H = v_{\Pi}^2 / 2g.$$

С учетом значений параметров, приведенных выше, мощность потока можно определить по формуле:

$$P_{\Pi} = 0,5 \cdot \rho \cdot S_T \cdot v_{\Pi}^3 [Bm],$$

при принятых в примере расчета параметрах:

- размер диаметра лопастей винта  $D=0,3 \text{ м}$  (площадь  $S_T = \pi \cdot D^2 / 4 = 0,07 \text{ м}^2$ ).
- плотность воды  $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$ .

мощность потока можно определить по формуле:

$$P_{\Pi} = 633 \cdot v_{\Pi}^3 [Bm].$$

Значение мощности  $P_{\Pi}$  является, по сути, предельным значением мощности, которую можно получить от синхронного генератора без учета потерь в генераторе и турбине при заданном значении скорости потока и размера винта. Мощность, генерируемая синхронной машиной с учетом минимально возможных значений КПД генератора  $\eta_r = 0,88$  и турбины (винта)  $\eta_T = 0,5$ :

$$P_r = 0,88 \cdot 0,5 \cdot 633 \cdot v_{\Pi}^3 = 0,292 \cdot v_{\Pi}^3 [кВт].$$

Скорость вращения винта, а значит и скорость вращения ротора синхронной машины можно определить по формуле:

$$n = v_{\Pi} / h = 2,58 / 0,42 = 6,14 \text{ об/с} = 368 \text{ об/мин},$$

где  $h = (h / D) \cdot D = 1,4 \cdot 0,3 = 0,42 \text{ м}$ .

Таблица 1

**Характеристики исходной модели**

Параметр	Единицы измерения	Значение
Мощность	кВт	5
Номинальная скорость	Об./мин	300
Частота	Гц	50
Число пазов	-	90
Число полюсов	-	20
КПД	%	88,3
Внешний диаметр статора	мм	423
Внутренний диаметр статора	мм	322
Внешний диаметр ротора	мм	320

Для обеспечения эффективной работы двигателя с гребным винтом в генераторном режиме необходимо, чтобы лопасти турбины были рассчитаны на одинаковую хорошую работу при подачи потока воды как в одну сторону, так и в другую. Для обеспечения этого условия гребной винт может быть выполнен с регулируемым шагом. Винты такого типа имеют возможность менять шаг за счет поворота лопасти вокруг вертикальной оси при помощи механических компонентов и гидравлики. При оценке возможности генерирования электроэнергии с исходными данными было определено, что для обеспечения необходимой выдаваемой мощности электрической машины скорость потока должна быть равна не менее 2,58 м/с, или 5 узлов. Рассчитанные характеристики исходной модели представлены в табл. 1.

### Библиографический список

1. Расчет гребного винта. URL: <https://www.my-kater.ru/articles/grebnye-vinty/raschet-grebnogo-vinta> (дата обращения: 11.02.2020).
2. Характеристики гребных винтов. URL: <https://www.mercury-lakor.com/pages/145> (дата обращения: 17.02.2020).
3. Характеристики гребных винтов. URL: <https://siblodki.ru/o-kompanii/blog/aksessuary/harakteristiki-grebnyh-vintov> (дата обращения: 17.02.2020).
4. Гребной винт. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гребные\\_винты](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гребные_винты) (дата обращения: 19.02.2020).
5. О гребных винтах. URL: [http://www.mercury4u.ru/service/useful\\_to\\_know/10/](http://www.mercury4u.ru/service/useful_to_know/10/) (дата обращения: 19.02.2020).
6. Устройства, улучшающие эффективность работы гребных винтов. URL: <https://sudostroenie.info/novosti/24255.html> (дата обращения: 19.02.2020).
7. Типы гребных винтов, их характеристики и устройство. URL: <https://ouvtk.ru/done/sailing/TipyGrebnyhVintov.php> (дата обращения: 20.02.2020).
8. Судовые движители. URL: <https://flot.com/publications/books/shelf/chainikov/17.htm?print=Y> (дата обращения: 22.02.2020).
9. Что нужно знать о гребном винте. URL: <http://www.motolodka.ru/vint.htm> (дата обращения: 22.02.2020).
10. Передача мощности двигателей на гребной вал. URL: <https://flot.com/publications/books/shelf/chainikov/51.htm> (дата обращения: 22.02.2020).
11. Инженерная методика определения упора гребного винта. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/inzhenernaya-metodika-opredeleniya-upora-grebnogo-vinta/viewer> (дата обращения: 23.02.2020).
12. *Новак Г. М.* Справочник по катерам, лодкам и моторам. 2-е изд. перераб. и доп. Л.: Судостроение, 1982. 352 с.
13. *Кусков А. И.* Разработка и исследование мобильной гидротурбинной установки для энергообеспечения и водоснабжения сельскохозяйственных объектов: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Специальность 05.20.02. М., 2015.

УДК 629.584; 621.8.032.2; 621.313.84

**В. Д. Богданов, Р. А. Бурдин, А. Ю. Комендантов, А. У. Давудян**  
студенты кафедры электроэнергетики и электротехники  
**С. С. Тимофеев** – старший преподаватель – научный руководитель

### СИСТЕМА ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ КОЛЬЦЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ. ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ НАГРУЗОК

В двигательной-двигательной системе кольцевой конструкции применяется синхронный электродвигатель с постоянными магнитами. Выделяют ряд преимуществ таких электрических машин:

- Минимальные массогабаритные показатели по сравнению с электродвигателями другого типа.
- Высокая надежность (в том числе благодаря большому воздушному зазору).
- Высокий КПД за счет отсутствию потерь на возбуждение.
- Хорошие условия теплопроводности.

Исходя из актуальности исследования данного направления было разработано следующее техническое решение, которое направлено на улучшение показателей работы СЭД на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами.

Основные рассчитанные характеристики электрической машины записаны в табл. 1. Был произведен выбор подходящего сплава для магнитов и марка электротехнической стали для ротора и статора. В представленной модели величина воздушного зазора беретка гораздо меньше по сравнению с существующими электрическими машинами похожего типа.

Таблица 1

Основные параметры электродвигателя

Параметр	Единицы измерения	Значение
Мощность	кВт	5
Номинальная скорость	Об/мин	300
Частота	Гц	50
Число пазов	-	90
Число пар полюсов	штук	20
КПД	%	88,3
Внешний диаметр статора	мм	423
Внутренний диаметр статора	мм	322

По полученным в результате расчетов данным была спроектирована 3D-модель синхронного двигателя кольцевой конструкции с постоянными магнитами. Построение 3D-модели выполнено в программном комплексе SolidWorks и представлено на рис. 1. По представленной 3D-модели видно, что модель двигателя имеет цельную конструкцию пяти лопастного вента и ротора с 20 постоянными магнитами.

Так как данная машина выполнена на базе кольцевой конструкции, то она будет погружного типа и основной рабочей средой является жидкость. Изоляция катушек статора при создании данной модели с учетом температурного воздействия и защиты жидкой внешней среды.



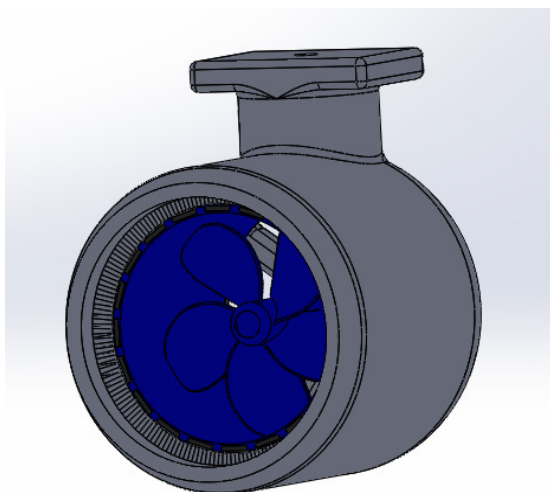


Рис. 1. 3D-модель синхронного двигателя кольцевой

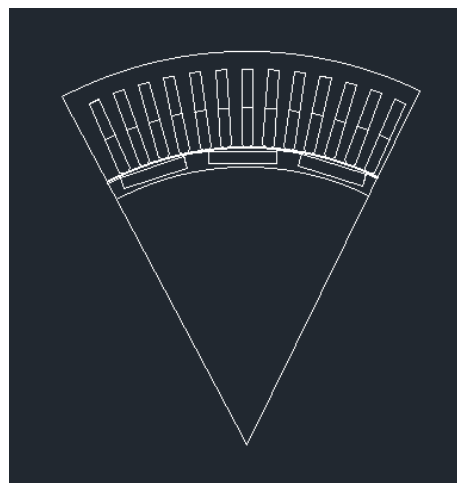


Рис. 2. Геометрии модели

Моделирование и расчет магнитного поля переменных токов может производиться совместно с решением уравнений присоединенной электрической цепи. Цепь содержит множество соединений между элементами, находящимися в зоне действия магнитного поля. Поле изменяется с течением времени по закону синуса.

Геометрия объекта моделирования строилась в AUTOCAD. На рис. 2 изображена геометрия модели. Данная геометрия строилась, исключая все элементы, не участвующие в образовании магнитной цепи.

В данном моделировании производилось сравнение и последующий выбор оптимальной электротехнической стали, используемой для ротора и статора электрической машины. Производилось сравнение четырех типов 1211, 1511, 3413, 2013.

Помимо электротехнических сталей производилось сравнение магнитов из двух различных сплавов Nd-Fe-B и Sm-Co. Магниты, сделанные из сплавов на основе редкоземельных металлов химического состава  $Nd_2Fe_{14}B$ , обладают наиболее высокими магнитными параметрами из всех выпускаемых промышленностью. При этом магниты из этого сплава имеют низкую коррозионную стойкость, по сравнению с магнитами из сплава SmCo, имеющими превосходное сопротивление коррозии и не нуждающимися в специальных защитных покрытиях. Также вторые имеют высокий диапазон рабочих температур от  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$ , точка Кюри более  $+800\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

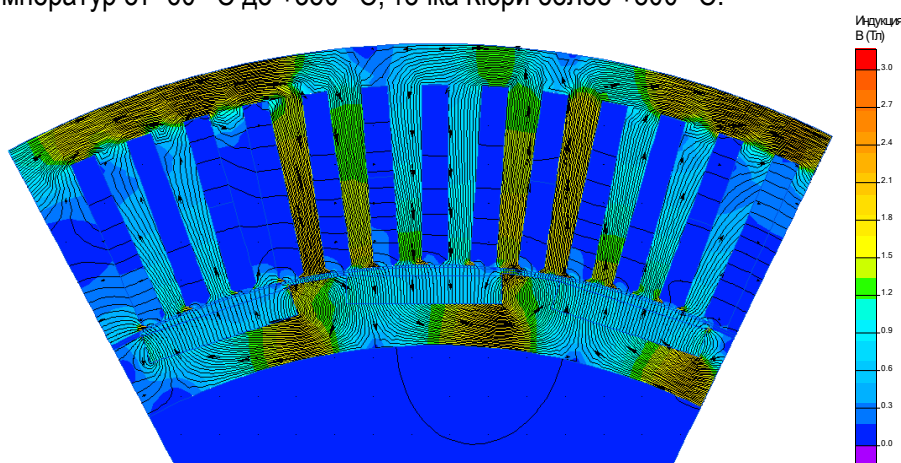


Рис. 3. Магнитное поле возбуждения

Для простоты и быстроты решения задач в программном пакете ELCUT 6.3 моделирование производилось в сегменте.

На примере электротехнической стали 1511 и магнитов из сплава SmCo представлено ниже решение данной задачи. Магнитная проницаемость ротора и статора, выполненного из стали марки 1511, представлена в виде нелинейного материала.

Магниты имеют равную магнитную проницаемость и коэрцитивную силу магнита, но различное направление силы магнита. Десять пар магнитов расположены через 18 градусов друг между другом. Направление силы магнита расставлены таким образом, чтобы образовывались положительные и отрицательные полюса.

По рисунку видно, что наибольшее значение магнитной индукции находится по краям магнитов и достигается 1,95 Тл.

По полученной цветовой картине распределения магнитной индукции можно сделать выводы:

— в спинке статора магнитная индукция принимает максимальное значение по внешнему краю машины и уменьшается при движении во внутрь машины;

— распределение магнитное индукции в воздушном зазоре достигает максимальное значение 1,34 Тл;

— магнитная индукция в магнитах принимает максимальное значение 1,05 Тл по краям магнитов и минимальное 0,6 Тл в центре магнита.

Итак, производилось моделирование магнитного поля при нагрузке, исследовалось 4 марки электротехнической стали, а именно 1211, 1511, 3413, 2013, а также 2 сплава магнитов NdFeB и SmCo. По полученным значениям индукции в каждой части машины оптимальной парой материалов стали сплав магнитов SmCo и марка электротехнической стали 1511. Все последующие исследования проводились с выбранными материалами.

### Библиографический список

1. Перспективные судовые системы электродвижения на базе двигатель-двигательных систем кольцевой конструкции / А. Ю. Комендантов., В. С. Никитченко, В. Д. Богданов и др. // Завалишинские чтения: молодежная секция: сб. докл. СПб.: ГУАП, 2019. С. 129–131.

2. ELCUT 6.3. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ELCUT\\_6.3](https://ru.wikipedia.org/wiki/ELCUT_6.3) (дата обращения: 18.02.2020).

3. ELCUT 6.3 – инженерный инструмент МКЭ – моделирования теплопроводности. URL: [https://elcut.ru/pack\\_r.htm](https://elcut.ru/pack_r.htm) (дата обращения: 18.02.2020).

4. SolidWorks 2016: Краткий обзор программы. URL: <https://3ddevice.com.ua/blog/reviews/obzor-programmy-solidworks/> (дата обращения: 19.02.2020).

5. Основные принципы SolidWorks Simulation. URL: [http://help.solidworks.com/2013/RUSSIAN/SolidWorks/Cworks/c\\_SolidWorks\\_Simulation\\_Fundamentals.htm](http://help.solidworks.com/2013/RUSSIAN/SolidWorks/Cworks/c_SolidWorks_Simulation_Fundamentals.htm) (дата обращения: 19.02.2020).

6. Магнитная проницаемость основных материалов. URL: <https://www.dpva.ru/Guide/GuidePhysics/ElectricityAndMagnethism/MagneticPermeability/MagneticPermeabilityGeneralTable/> (дата обращения: 21.02.2020).

7. Диэлектрическая проницаемость некоторых материалов. URL: <https://rusautomation.ru/dielektricheskaya-pronicaemost> (дата обращения: 21.02.2020).

УДК 629.123; 629.127

**В. Д. Богданов, Р. А. Бурдин, А. Ю. Комендантов, А. У. Давудян**

студенты кафедры электроэнергетики и электротехники

**А. А. Мартынов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### СПОСОБЫ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Необитаемый подводный аппарат (НПА) – подводный робот, который напоминает подводную лодку или торпеду. Он перемещается под водой для сбора информации о рельефе дна, строении слоя осадков (верхнего), наличии на дне барьером и препятствий. Непосредственное питание подводного аппарата осуществляется от аккумуляторных батарей. Различные разновидности НПА могут погружаться до глубины 5500–6000 м. НПА необходимы для площадных съемок, обследования подводных объектов (трубопроводов), поиска и разминирования подводных мин [1].

В настоящее время современные НПА представляют собой специальный класс робототехнических объектов с определенным спектром задач, особенностями технологии, составом систем и свойствами. При всем этом разнообразии НПА (по целевому назначению, габаритным характеристикам, конструктивному исполнению, типу энергоустановки и т. д.) общепризнанной классификации в данном классе робототехники еще не сложилось. В зарубежных изданиях, которые публикуют статьи, посвященные анализу состояния и прогнозу развития НПА, приводят противоречивые факты и сведения. Все самоходные НПА подразделяют на два больших класса: неавтономные НПА и автономные необитаемые подводные аппараты. К неавтономным НПА можно отнести следующее: самоходные и буксируемые привязные подводные аппараты [3].

Самоходные неавтономные НПА – неавтономные НПА с движительной установкой, также их еще их часто называют подводными телеуправляемыми аппаратами. Наличие проводного канала энергообеспечения и телеуправления позволяет вынести данный класс подводных роботов в отдельный [3]. Самоходные НПА бывают разными по своим особенностям: плавающие в толще воды, самоходные донные или с комбинированным типом движения. К автономным необитаемым подводным аппаратам относят самоходные НПА с автономной системой энергообеспечения и беспроводным каналом телеуправления и непосредственной связи. К классу полуавтономных аппаратов относят НПА с автономной системой энергообеспечения, но канал связи проводной [2].

Для обеспечения электрической энергией НПА применяют аккумуляторные батареи. Зарядка аккумуляторных батарей может осуществляться следующими способами:

1. Контактным, при котором с помощью специальных электрических кабелей электрическая энергия от судна передает непосредственно на борт подводного робота.

2. Бесконтактным, осуществляемым с помощью устройства, главной особенностью которого является наличие высокочастотного трансформатора. Посредством электромагнитной связи обмоток трансформатора осуществляется передача электрической энергии. Одна из обмоток, вторичная, располагается на борту НПА, а другая, первичная, размещена на передающей части зарядного устройства, располагаемого на судне.

3. Генераторным, при котором электродвигатель НПА работает в генераторном режиме и тем самым подзаряжает аккумуляторную батарею. Вал двигателя судна соединен механически с валом электродвигателя НПА [5].

*Передача энергии бесконтактными способами с использованием энергии светового потока*

На рис. 1 приведена схема бесконтактной передачи энергии на НПА с использованием энергии светового потока.

Данное устройство работает по следующей схеме: по кабель-тросу энергия передается от источника энергии, который расположен на борту судна, герметичному светодиодному излучателю, который опускается под воду.

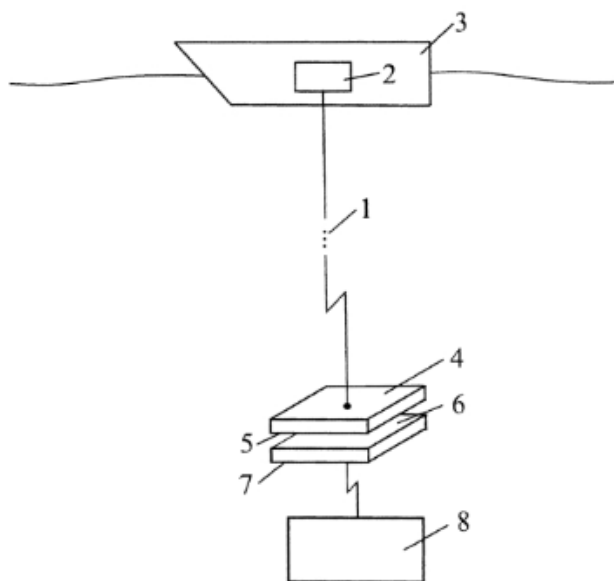


Рис.1. Устройство для передачи электрической энергии от судна-носителя на борт НПА

Данный аппарат оснащен определенной бортовой системой управления, после полной разрядки аккумуляторной батареи до минимального уровня может подходить вплотную к этому излучателю и бесконтактным способом получать от источника энергии, которая поступает к нему через светоприемную панель и накапливается в аккумуляторных батареях. Также излучатель имеет прозрачный слой, соприкасаемый под водой с прозрачным слоем также герметичной светоприемной панели, которая под влиянием светового потока, поступающего от излучателя, преобразует его в электрическую энергию, передаваемую к аккумуляторным батареям. После подзарядки по сигналу бортовой системы управления подводный аппарат отходит от кабель-троса с его светодиодным излучателем и продолжает выполнение заданной миссии. Мощность одного такого светодиода 5 Вт, прямое напряжение светодиода 6,5 В.

Таким образом, предложенное устройство позволяет осуществить быструю, надежную и экономичную передачу энергии на борт ПА. При этом контакт электрического канала с водной средой полностью исключается.

*Передача энергии бесконтактным способом при помощи трансформаторов*

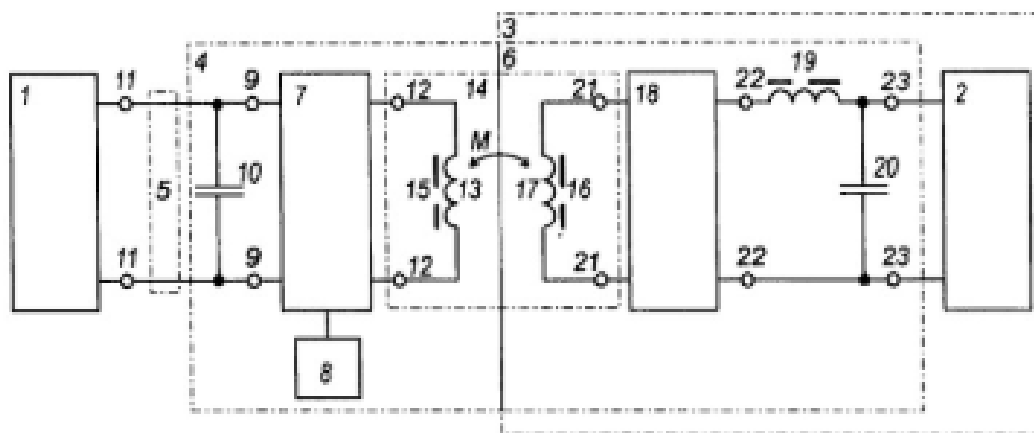


Рис. 2. Принципиальная схема устройства для бесконтактной передачи электроэнергии на НПА

Сущность данного устройства можно пояснить с помощью рис. 2, где представлена принципиальная схема устройства для бесконтактной передачи электроэнергии на подводный объект.

Устройство для бесконтактной передачи электроэнергии включает в себя инвертор, соединенный с источником питания кабелем и выпрямителя, находящийся на подводном объекте. Инвертор включает в себя однофазный автономный инвертор напряжения повышенной частоты с блоком управления. Первичная и вторичная обмотки трансформатора снабжены магнитным экраном с целью уменьшения потоков рассеяния. Вторичная обмотка трансформатора, а также однофазный мостовой неуправляемый выпрямитель, сглаживающий реактор и выходной конденсатор размещены в герметичном блоке НПА [2].

Главными особенностями данного способа передачи энергии на НПА являются:

1. Зарядка аккумуляторной батареи обеспечивается бесконтактным способом, не вскрывая корпус подводного аппарата.
2. Определение степени заряда аккумуляторной батареи без вскрытия корпуса, возможность корректировать степень заряда батареи.
3. Вторичная обмотка трансформатора повышенной частоты для каждого типа аккумуляторной батареи может выполняться со значениями числа витков и сечения обмоточного провода, наилучшими для достижения минимума массы этой обмотки. Кроме того, при этом обеспечивается минимизация массы всех силовых элементов устройства, размещенных в первом и втором конструктивных блоках.
4. Обеспечение практически синусоидальной формы токов, потребляемых устройством от судовой электрической сети, и высокий уровень электромагнитной совместимости устройства с судовой электроэнергетической системой.

#### *Генераторный способ передачи энергии на борт НПА*

При генераторном способе энергия передается путем подключения вала электродвигателя, находящегося на донном причальном устройстве, к валу электродвигателя НПА, работающего в генераторном режиме и заряжающего аккумуляторную батарею. В состав гребного электропривода НПА входит полупроводниковый преобразователь, который должен быть обратимым, то есть работать как в режиме инвертора, так и в режиме выпрямителя. Таким преобразователем является активный выпрямитель с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). При подключении валов электродвигатель НПА работает в генераторном режиме, и с помощью преобразователя энергия передается на аккумуляторные батареи (АКБ).

Любой электродвигатель может быть использован в качестве генератора электрической энергии. Для обеспечения работы электродвигателя в генераторном режиме необходимо привести вал двигателя во вращение. Частота вращения генератора в нормальном режиме должна превышать номинальную на 5...10 % [9].

Для передачи механической энергии от электродвигателя к рабочей машине в подводных условиях необходимо использовать электромагнитную муфту. Электромагнитные муфты бывают двух видов: сухого трения и скольжения.

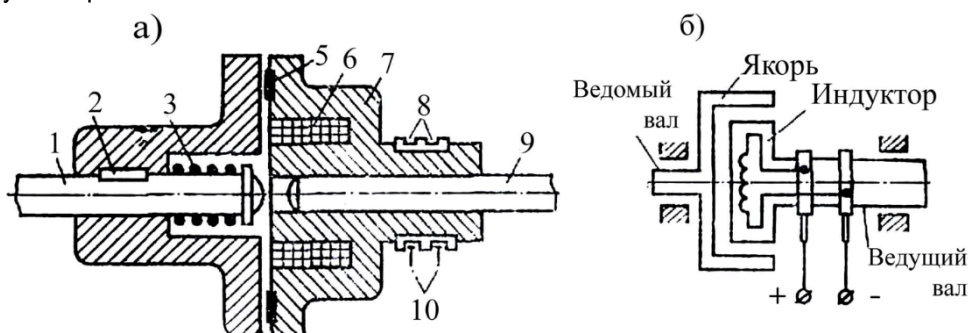


Рис. 3. Электромагнитная муфта:  
а – сухого трения; б – скольжения

Муфты скольжения позволяют осуществлять плавное регулирование скорости вращения ведомого вала. В электромагнитной муфте сухого трения на ведущем валу 9 укреплен Э/М 7 с обмоткой 6, к которой через контактные кольца 8 и щетки 10 подводится постоянный ток. На ведомой оси 1 укреплен якорь 4, который может скользить вдоль вала, но не может проворачиваться благодаря

шпонке 2. Пружина 3 оттягивает якорь 4 влево. Сцепление ведомого и ведущего валов осуществляется под действием силы трения, возникающей между поверхностью шайбы трения 5 (укрепленной на электромагните) и поверхностью якоря 4, которые прижимаются друг к другу при подаче напряжения в катушку 6. Электромагнитная муфта скольжения работает по принципу асинхронного двигателя [2].

Первый (самый важный) фактор – влияние окружающей среды на передачу энергии между судном и подводным аппаратом. Морская среда агрессивная, морская вода, соль, все вместе в совокупности является источником различных замыканий, коррозии металлических контактов и т. д. При непосредственном электрическом контакте среда агрессивно влияет на соединительные контакты.

Что касается эффективности, то бесконтактный способ является наиболее рациональным, так как отсутствует физический и электрический контакт и соприкасающиеся поверхности индукторов инвариантны к неточному соединению и обрастанию.

Бесконтактный способ передачи энергии потребует применения дополнительных электрических преобразователей, что значительно увеличит массогабаритные показатели. Аналогично можно сказать и о генераторном способе передачи: необходим двигатель, приспособление для соединения валов и т. д.

Также стоит отметить изоляцию от морской среды. Контактный способ передачи энергии требует точного позиционирования при выполнении электрического соединения, необходимость изоляции соединителя от морской воды усложняет его конструкцию и снижает надежность. В бесконтактном способе передача энергии идет за счет 2 трансформаторов и их обмоток, то есть нет электрического контакта, а сама передача осуществляется между подводным аппаратом и судном при их непосредственной близости. При генераторном способе передачи энергии только лишь контактное соединение валов электродвигателей подвергается коррозии и другим влияниям морской среды.

Магнитное поле наиболее ощутимо при генераторном способе зарядки, поскольку работают 2 двигателя, имеющие собственные магнитные поля, которые можно отследить в морской акватории. Излучение электромагнитного поля меньше в бесконтактном и контактном способах зарядки, но контактный способ является менее надежным, так как присутствует непосредственное контактное соединение, что может привести к попаданию влаги и выходу из строя устройства зарядки.

Сравнительный анализ перечисленных способов передачи энергии по таким основным критериям, как влияние окружающей среды, необслуживаемость, эффективность передачи энергии, размеры и масса, уровень магнитного поля, изоляция от морской воды и другие, показывает предпочтительность бесконтактного способа передачи энергии на подводный аппарат.

### Библиографический список

1. Кувшинов Г. Е., Копылов В. В., Филоженко А. Ю. Патент RU 2401496. Устройство для зарядки аккумуляторной батареи подводного объекта. Дата приоритета 25.06.2009. Оpubл. 10.10.2010. Бюл. 28.

2. Кувшинов Г. Е., Копылов В. В., Герасимов В. А. Патент RU 2502170. Устройство для бесконтактной передачи электроэнергии на подводный объект. Дата приоритета 03.03.2012. Оpubл. 20.12.2013.

3. Кульчин Ю. Н., Филаретов В. Ф. Патент RU 2554910. Устройство для передачи энергии автономному подводному аппарату.

4. Илларионов Г. Ю., Щербатюк А. Ф., Кушнерик А. А. Донные причальные устройства для автономных необитаемых подводных аппаратов.

5. Стинессен Х. У., Бьеркнес У. Ю. Патент RU 2571117. Система передачи электроэнергии под водой для обеспечения работы высокооборотного двигателя.

6. Герасимов В. А., Копылов В. В., Кувшинов Г. Е. Математическая модель устройства для бесконтактной передачи электроэнергии на подводный объект.

УДК 004.35+004.42

**А. Н. Быков, А. В. Семенов**

студенты кафедры электромеханики и робототехники

**К. Д. Крестовников** – аспирант СПИИРАН, младший научный сотрудник – научный руководитель**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕПЛИЦЕЙ**

При разработке автоматизированной теплицы в СПИИРАН потребовался модуль управления электронными устройствами. На основании технического задания основными функциями модуля управления являются:

1. сбор показаний с датчиков и отправка их на обработку высокоуровневым программным обеспечением;
2. управления системой вентиляции, освещения, подачи воды;
3. контроль температуры и влажности почвы;
4. контроль уровня раствора для питания растений.

Модуль управления построен на микроконтроллере Atmega328/p [1]. Для простоты монтажа контроллера в процессе отладки микроконтроллер используется совместно с платой Arduino Nano. На плате управления теплицей установлен разъем для Arduino Nano. Блок принципиальной схемы подключения микроконтроллера представлен на рис. 1.

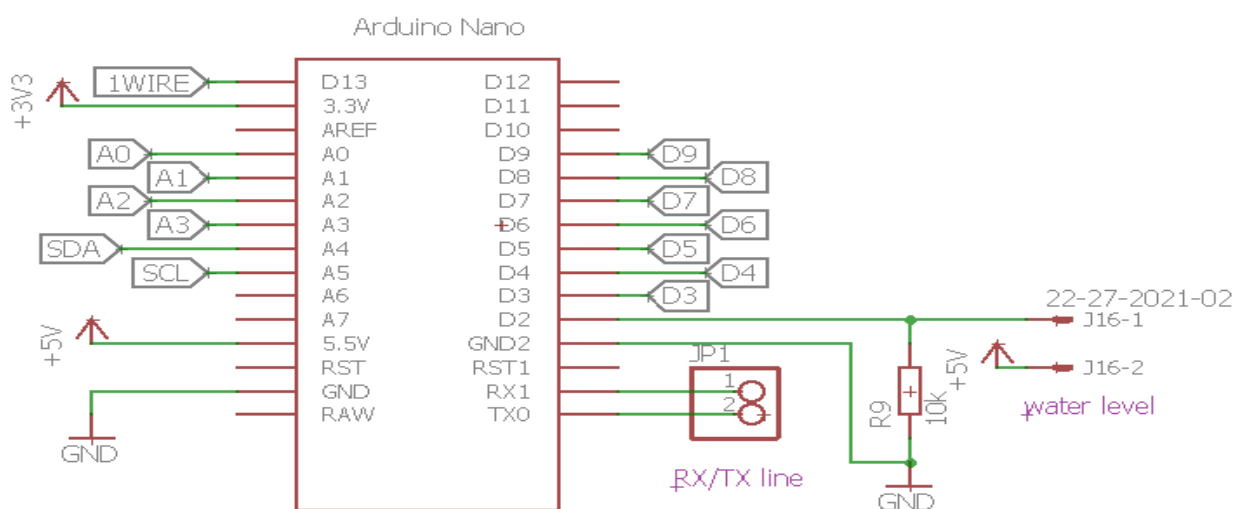


Рис. 1. Принципиальная схема подключения Arduino Nano

Последовательный порт микроконтроллера используется для синхронизации с высокоуровневым программным комплексом.

Контроль температуры и влажности почвы должен осуществляться в 4 отдельных местах теплицы, а количество входов микроконтроллера ограничено, решением является применение цифровых датчики температуры. Датчики температуры почвы DS18B20 работают по шине 1-Wire [2], а влажности почвы имеют аналоговый выходной сигнал. На шине I2C [3] расположен датчик температуры и влажности воздуха BME280. Освещение и нагреватель комплекса питаются от сети 220В. Для их коммутации и гальванической развязки с микроконтроллером используются электромагнитные реле. Блок коммутации высоковольтных нагрузок представлен на рис. 2.

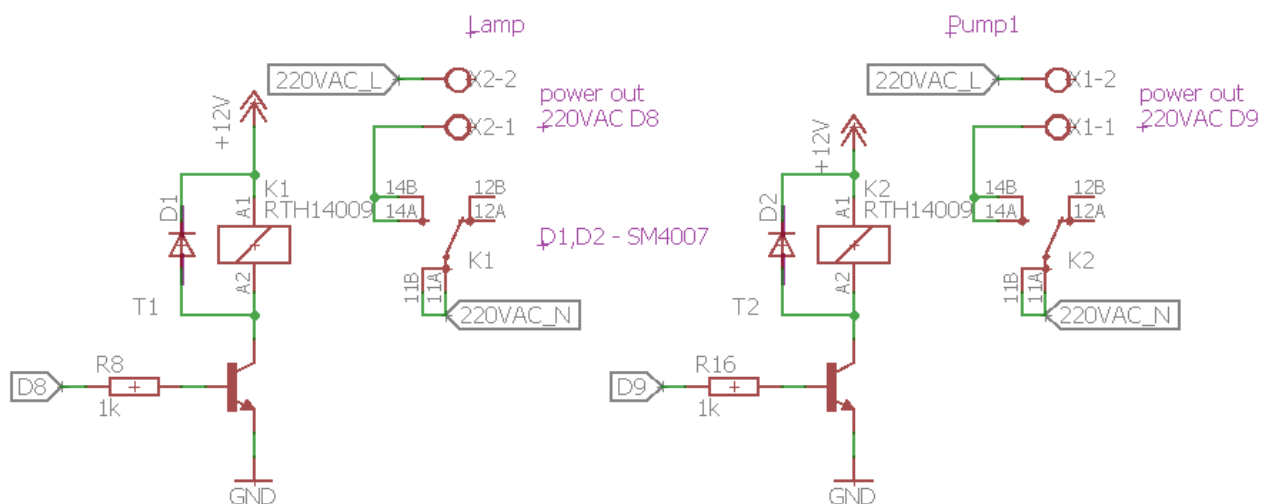


Рис. 2. Блок коммутации освещения и подогрева теплицы

Питание помпы и двигателей системы вентиляции осуществляется от 12В вторичного источника электропитания. Вентиляторы имеют ШИМ-управление, а помпа управляется дискретно. Коммутация 12В нагрузок осуществляется N-канальными MOSFEEET. Принципиальная схема блока коммутации низковольтных нагрузок представлена на рис. 3.

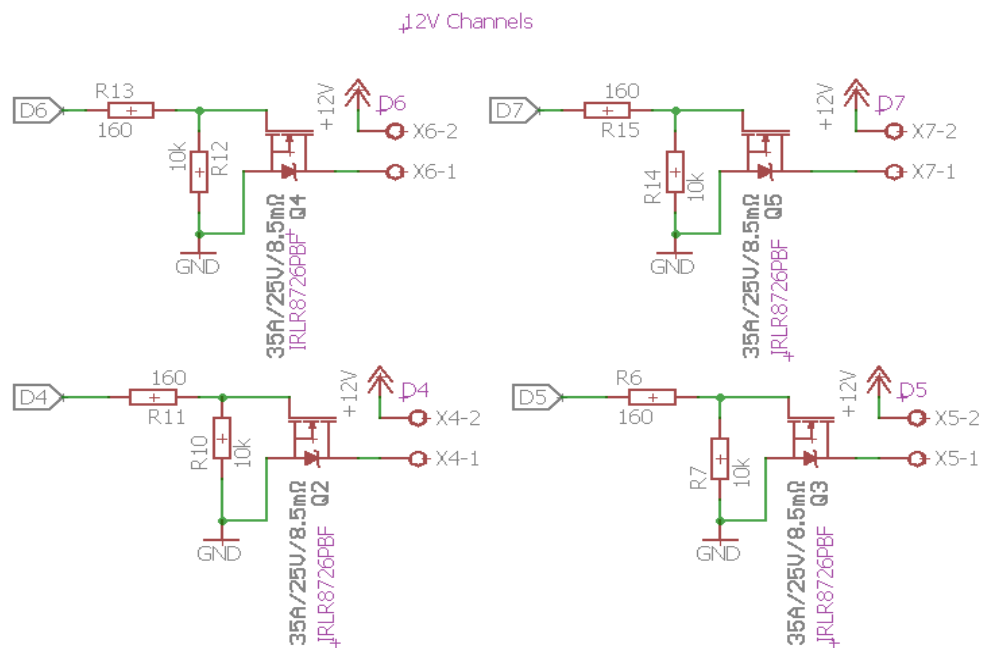


Рис. 3. Блок коммутации низковольтных нагрузок

N-канальные полевые транзисторы IRLR8726PBF [4], которые используются в схеме, управляются напряжениями логического уровня с выходов микроконтроллера. На плате предусмотрены дополнительные выходы для подключения 12В нагрузок, что предусматривает возможность масштабирования теплицы.

Питания модуля управления теплицей осуществляется от 12В. Для питания микроконтроллера необходимо напряжение 5В, которое формируется синхронным стабилизатором напряжения, основанным на микросхеме ST1S10PHR [5]. Принципиальная схема стабилизатора представлена на рис. 4.



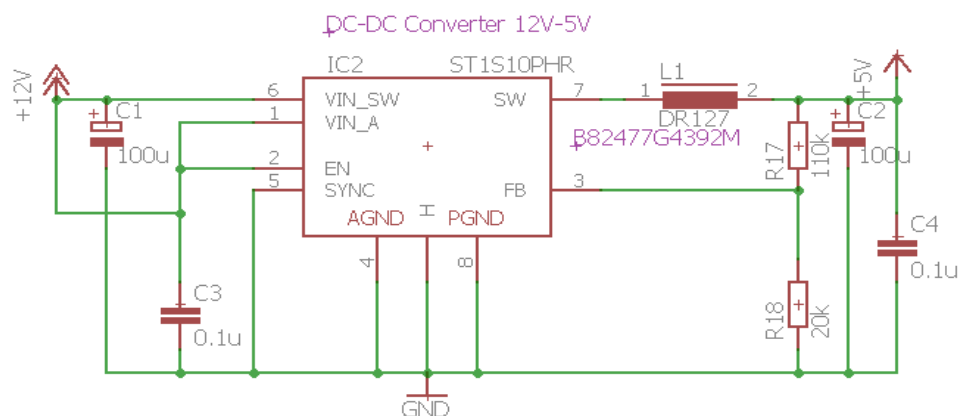


Рис. 4. Принципиальная схема синхронного стабилизатора напряжения

Разработка печатной платы проводилась в среде проектирования Eagle [6]. Чертеж печатной платы в среде разработки Eagle представлен на рис. 5.

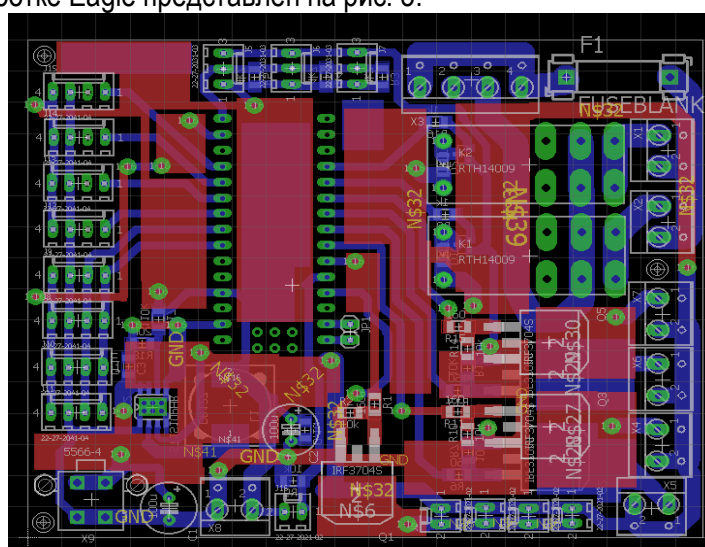


Рис. 5. Чертеж печатной платы в среде Eagle

Плата имеет 2 слоя и изготовлена из 1 мм фольгированного стеклотекстолита методом травления.

Фотография готовой платы управления представлена на рис. 6.

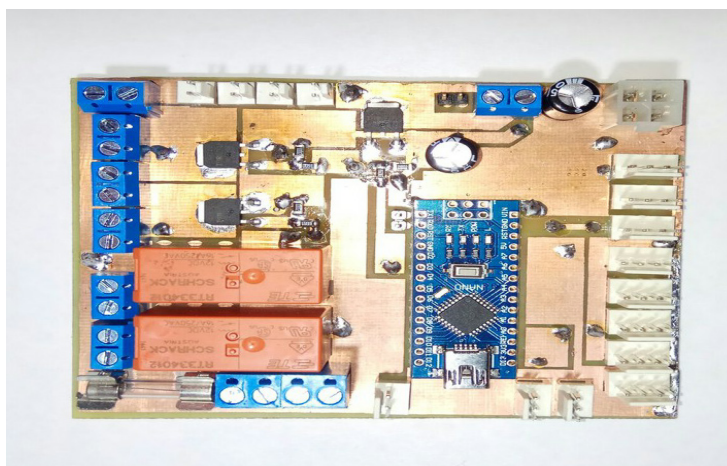


Рис. 6. Модуль управления автоматизированной теплицей

Для удобства подключения питания, нагрузок и датчиков разъемы расположены по периметру платы.

Для установки платы управления в автоматизированную теплицу использован стандартный герметичный корпус IP55 размерами 150x110x70. Подключение модуля управления показано на рис. 7.

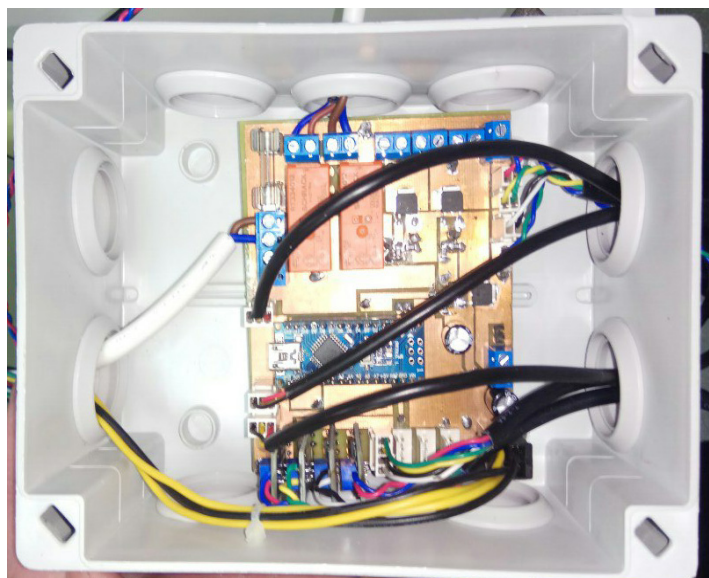


Рис. 7. Подключение платы управления теплицей

Резиновые уплотнения корпуса позволяют герметично подвести провода к модулю управления теплицей.

На данный момент модуль управления автоматизированной теплицей успешно прошел тестирование. Ведется отладка и тестирование низкоуровневого программного обеспечения.

После отладки и тестирования комплекса управления автоматизированной теплицей будут проводиться работы по уменьшению габаритов платы, переносу микроконтроллера Atmega328/p на основную плату модуля управления. Проектирование специализированного герметичного корпуса для платы управления упростит монтаж и подключение модуля управления к теплице.

#### Библиографический список

1. Datasheet Atmega328/p. © Atmel Corporation. URL: <http://www.atmel.com/> (дата обращения: 15.01.2020).
2. Datasheet DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. © Maxim Integrated Products. URL: <https://www.maximintegrated.com/> (дата обращения: 15.01.2020).
3. I2C-bus specification and user manual/ © NXP Semiconductors. URL: <http://www.nxp.com/> (дата обращения: 15.01.2020).
4. Datasheet IRLR8726PBF@International Rectifier. URL: <https://www.infineon.com/> (дата обращения: 15.01.2020).
5. Datasheet ST1S10@STMicroelectronics. URL: <http://www.st.com/> (дата обращения: 15.01.2020).
6. Скарпино М. Разработка печатных плат в EAGLE. М: ДМК Пресс, 2018. 370 с.

УДК 621.316.726

**И. А. Васильев, М. Н. Старостина**

студенты кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок»\*

**С. В. Гаврилов** – старший преподаватель – научный руководитель\*

\*Ульяновский государственный технический университет

### ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В УСТРОЙСТВЕ СЕТЕВЫХ НАСОСОВ

Сетевые насосы (СН) – устройства, использующиеся для транспортировки теплоносителя от подогревателей теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) до тепловых пунктов потребителей. Известно, что ТЭЦ работает по тепловому графику, то есть в течение года тепловая нагрузка изменяется от летнего минимума, состоящего только из потребления горячей воды, до зимнего максимума. Объем потребляемой сетевыми насосами воды сильно разнится в зимний и летний периоды, в следствие чего встает вопрос о возможности улучшения регулировки СН ТЭЦ для наиболее эффективной работы [5].

До недавнего времени основным способом регулирования производительности СН являлось использование задвижек или регулирующих клапанов, однако на сегодняшний день становится доступным частотное регулирование асинхронного двигателя (АД) [1, 2]. Использование первых двух механизмов не гарантирует высокое качество регулирования скорости и требует при монтаже и эксплуатации значительных затрат [3, 4]. В настоящее время именно статистические преобразователи частоты являются самыми совершенными устройствами управления асинхронным приводом. Увеличение скольжения при регулировании скорости не будет наблюдаться, отсюда и небольшие потери мощности при регулировании.

В данной статье рассмотрены основные преимущества использования частотно-регулируемого электропривода в системах СН.

Согласно схеме двойного преобразования создаются и изготавливаются современные преобразователи частоты. В состав такого устройства входит: звено постоянного тока (неуправляемый выпрямитель), силовой импульсный инвертор и система управления.

Звено постоянного тока включает фильтр и неуправляемый выпрямитель. В напряжение постоянного тока будет преобразовываться переменное напряжение питающей среды [2, 3].

Силовой трехфазный импульсный инвертор включает в своем составе шесть транзисторных ключей. Обмотки электродвигателя подключаются через соответствующие ключи к выпрямителю отрицательному и положительному. Преобразование осуществляется инвертором в трехфазном переменном напряжении нужной частоты и амплитуды, прикладываемое к обмоткам статора в электродвигателе.

Силовые IGBT-транзисторы могут использоваться в качестве ключей в выходных цепях – частота переключения у них гораздо больше в сравнении с тиристорами, что позволяет создавать выходные сигналы синусоидальной формы. Искажения в данном случае будут минимальны [1, 4].

Принцип работы данного электропривода заключается в одновременном изменении частоты и напряжения на статоре АД. Данный способ позволяет производить плавное регулирование скорости широкого диапазона при сохранении высокой жесткости механических параметров [3, 4].

Благодаря развитию современной элементной базы (микропроцессоры и IGBT-транзисторы) широкое распространение в устройстве преобразователей частоты получил широтно-импульсный (ШИМ) метод регулирования выходного напряжения.

Преобразователь частоты включает в себя автономный инвертор напряжения (АИН), диодный силовой выпрямитель, дроссель, конденсатор фильтра, неуправляемую систему ШИМ и систему автоматического регулирования. Регулировка выходного напряжения и частоты осуществляется при помощи высокочастотного широтно-импульсного управления, которое характеризуется модуляцией, внутри которой происходит поочередное подключение обмотки статора к полюсам выпрямителя [1, 3].

Внутри периода ШИМ длительность подобных состояний модулируется по синусоидальному закону. Синусоидальные токи протекают при высоких (2–12 кГц) тактовых частотах ШИМ в обмотках электродвигателя.

Форма кривой выходного напряжения характеризуется высокочастотной двухполярной последовательностью прямоугольных импульсов. Частота ШИМ равна частоте импульсов, длительность которых в течение периода выходной частоты АИН промодулирована согласно синусоидальному закону [1]. Модуляции форм токов в обмотках статора при широтно-импульсной модуляции оказываются близки к синусоидальной благодаря фильтрующим способностям обмоток.

Благодаря данному методу управления достигаются высокие показатели КПД двигателя, значение которых эквивалентно значениям, получаемым при управлении при помощи амплитуды и частоты напряжения. Использование преобразователя частоты в устройстве сетевых насосов позволяет достичь значения КПД до 98 %, так как в данном случае сетью потребляется лишь активная составляющая тока нагрузки.

Высокое качество управления обеспечивается микропроцессорной системой управления, которая контролирует множество параметров, тем самым предотвращая возникновение аварийных ситуаций [2].

В отличие от других устройств регулирования, частотные преобразователи обладают такими преимуществами, как простота в обслуживании и эксплуатации, высокое качество регулирования, а также высокая экономичность. Использование частотного преобразователя в сетевых насосах позволяет снизить затраты на плановые ремонтные работы, увеличить срок службы технического оборудования, снизить энергозатраты.

#### Библиографический список

1. *Скворцов Л. С.* Компрессорные и насосные установки: учебник для средних профессионально-технических училищ. М.: Машиностроение, 1988. 264 с.
2. *Черкасский В. М.* Насосы, вентиляторы, компрессоры: учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2005. 416 с.
3. *Поляков В. В., Скворцов Л. С.* Насосы и вентиляторы: учебник для вузов. М.: Стройиздат, 2006. 336 с.
4. *Лобачев П. В.* Насосы и насосные станции: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 2004. 191 с.
5. *Саксонов А. С.* Технико-экономическое сравнение электроприводов сетевых насосов ТЭЦ с частотным регулированием и дросселированием // Молодой ученый. 2019. № 45. С. 24–26.

УДК 621.3.05:629.584

**М. А. Васин**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**А. А. Мартынов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Уже более 40 лет различные страны активно развивают науку в области морских технологий. На данный момент насчитывается более 15 тыс. самоходных необитаемых подводных аппаратов (НПА), созданных для решения обширного спектра задач, и с каждым днем эта цифра неумолимо растет.

Независимо от того, для каких целей спроектировано то или иное устройство, будь то научно-исследовательские цели, поисково-спасательные и т. д., одна из главных проблем, с которой приходится сталкиваться во всех случаях, – время автономной работы устройства, которое зависит от энергоемкости накопителей, общей мощности потребителей, времени затрачиваемого на заряд энергоустановки.

В первом случае в качестве накопителей могут выступать разного рода аккумуляторы (начиная от свинцовых, заканчивая литий-полимерными).

Во втором случае все напрямую зависит от характера выполняемых работ НПА, количества и качества подключаемого оборудования.

И если с первыми двумя составляющими все понятно, то что касается времени, затрачиваемого на заряд, тут необходимо рассказать подробнее [1–7].

Время, затрачиваемое на заряд АКБ устройства, включает в себя: время заряда аккумуляторов (обычно для увеличения срока службы накопителей электрической энергии, заряд происходит в одном из двух режимов: заряд за 3 часа, заряд за 10 часов); время, необходимое на доставку устройства к месту зарядки, подъем устройства на поверхность (если того требует конструкция); погружение устройства на глубину, возврат устройства в рабочую зону. Если принять, что время заряда АКБ неизменно, то для снижения затрачиваемого времени необходимо сократить до минимума остальные пункты, а лучше вовсе от них избавиться.

Приняв во внимание вышеописанное, смело можно утверждать, что для продвижения исследований в данной сфере необходимо приступить именно к проектированию бесконтактного зарядного устройства АКБ НПА.

Первым этапом разработки является оценка имеющихся наработок в данной сфере и постановка первостепенной задачи (указание основных характеристик, массогабаритных показателей, требований к элементной базе и выбор метода передачи энергии).

К 2016 году ИПМТ ДВО РАН изготовило опытный образец зарядного устройства мощностью 0,5 кВт.

Согласно заявлениям представителей ВМС США в июле 2019 года ученые и инженеры Военно-морского надводного центра подразделения Carderock смогли успешно провести испытания опытного образца бесконтактного зарядного устройства для АКБ беспилотных подводных аппаратов мощностью в 2 кВт [11, 12].

Мощность зарядных устройств неуклонно растет, поэтому ставится задача на проектирование бесконтактного зарядного устройства АКБ необитаемых подводных аппаратов с номинальной мощностью 6 кВт и пиковой передаваемой мощностью 10 кВт. Питание производится от 3-фазной сети 50 Гц 380 В. Элементная база должна быть отечественная, 10-часовой цикл заряда, номинальное напряжение аккумуляторных батарей 300 В.

Следует отметить, что устройство для передачи электроэнергии на НПА должно быть легко обслуживаемое и устойчиво к внешним воздействиям, поэтому придется заранее отказаться от резонансной схемы в ущерб габаритам. На рис. 1 представлена обобщенная функциональная схема разрабатываемого устройства, состоящая из [13]:

ИЭЭ – источник электрической энергии;

ИН – инвертор напряжения;  
 ВТ – высокочастотный трансформатор;  
 В – выпрямитель;  
 СФ – сглаживающий фильтр;  
 ППН – преобразователь постоянного напряжения;  
 Ак – аккумуляторная батарея.

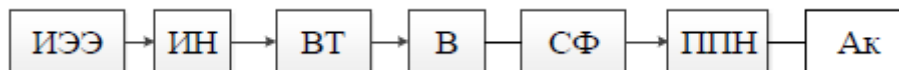


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема системы передачи электроэнергии на НПА

Вторым этапом проектирования является выбор схемы выпрямления с последующей ее разработкой.

Разработку выпрямителя необходимо производить на базе трехфазной мостовой схемы с полностью управляемыми ключами для повышения коэффициента мощности до значений близких или равных 1 на всем диапазоне регулирования напряжения. Весомое преимущество данной схемы – это низкое значение среднего тока вентиля равное  $1/3$  от выходного тока, что позволяет выбрать более компактные вентили с низкими потерями. Также упрощение сглаживания пульсаций благодаря 6-кратной частоте пульсации схемы по сравнению с частотой питающей сети, что так же приводит к снижению габаритов устройства за счет уменьшения размеров выходного сглаживающего фильтра. На выходе с выпрямителя напряжение равно 537 В, а ток порядка 13 А в номинальном режиме и 21 А в форсированном режиме [9]. Для этого используются 3-фазные мостовые SiC MOSFET-модули со встроенными драйверами.

Третьим этапом является подготовка к передаче энергии посредством электромагнитной индукции. Для этого необходимо преобразовать имеющееся постоянное напряжение в переменное (в данном случае частотой 85 кГц), которое впоследствии должно быть подано на трансформатор с немагнитным зазором. Для этого производится разработка мостового однофазного инвертора на базе SiC MOSFET модулей со встроенными драйверами, имеющих низкие потери энергии и удовлетворяющих требованиям 2-кратного запаса по току и по напряжению.

Четвертый этап – разработка основного компонента схемы, трансформатора с воздушным зазором. Основные критерии, которых необходимо придерживаться на данном шаге, – уменьшение габаритов до минимально возможных, снижение потерь посредством правильного выбора материала пакета железа трансформатора, выбор конструкции, защита устройства от внешних воздействий [8].

Пятый этап включает в себя повторное выпрямление тока, его подачу на АКБ и контроль заряда накопителей энергии посредством разработки однофазного мостового выпрямителя преобразователя постоянного напряжения в постоянное.

Шестой (заключительный) этап – это моделирование зарядного устройства и изготовление испытательного образца. После проведения моделирования и первых испытаний выносится решение, передавать ли дальше данное устройство на конструирование и стоит ли продолжать развивать данное направление [10].

Высокочастотный трансформатор является не только самым важным элементом, но и самым ответственным. Потому что данный узел, в отличие от остальных элементов, больше всех подвержен внешним факторам. То есть в процессе передачи энергии на НПА могут воздействовать различные течения и прочие возмущения в водном пространстве, в зазор между передающими поверхностями могут попасть различного рода посторонние предметы, а также не стоит забывать об обрастании поверхности различными организмами, что также приводит к увеличению величины немагнитного зазора и, как следствие, к возрастанию потерь в данном узле.

От данных факторов изолировать рабочий объект либо крайне сложно, либо просто невозможно, поэтому высокочастотный трансформатор рассчитывается на работу с немагнитным зазором до 3 мм.

Для определения влияния величины немагнитного зазора на характеристики трансформатора ключевое значение несет в себе формула расчета тока намагничивания, учитывающая конструкцию устройства:

$$I_{\text{намаг}} = \frac{2H_c l_c + 2H_{\text{я}} l_{\text{я}} + n_{\delta} H_{\delta} l_{\delta}}{w_1 \sqrt{2}},$$

где:  $H_c$  – напряженность магнитного поля в стержне трансформатора (А/м);  $l_c$  – длина стержня трансформатора (мм);  $H_{\text{я}}$  – напряженность магнитного поля в ярме трансформатора (А/м);  $l_{\text{я}}$  – длина ярма трансформатора (мм);  $n_{\delta}$  – количество воздушных зазоров;  $H_{\delta}$  – напряженность магнитного поля в воздушном зазоре (А/м);  $l_{\delta}$  – величина воздушного зазора (мм);  $w_1$  – количество витков первичной обмотки трансформатора.

Благодаря данной формуле имеется возможность получить значение полного тока входящего в обмотку трансформатора и, как следствие, построить зависимости:

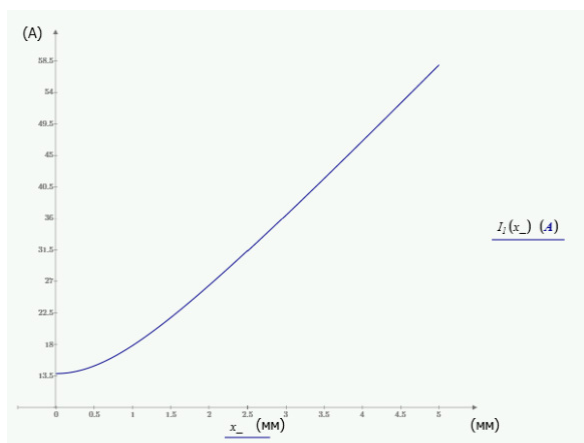


График зависимости  $I_1=f(x)$

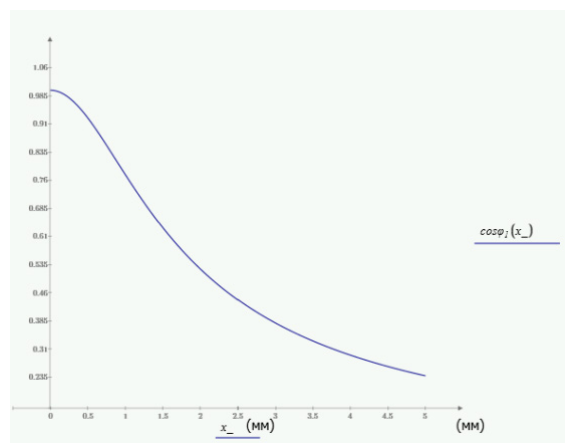


График зависимости  $\cos\varphi = \cos\varphi(x)$

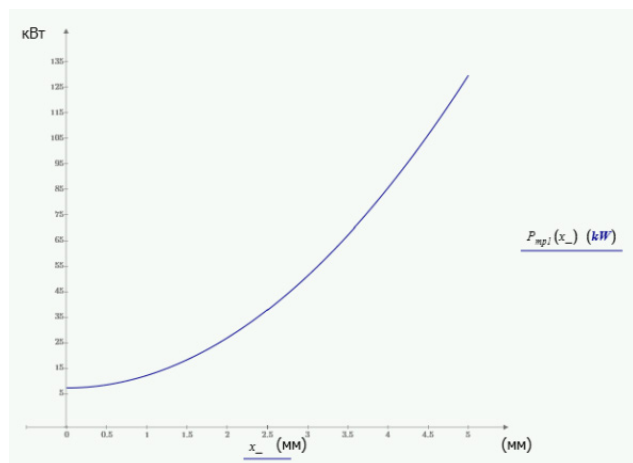


График зависимости  $P=f(x)$

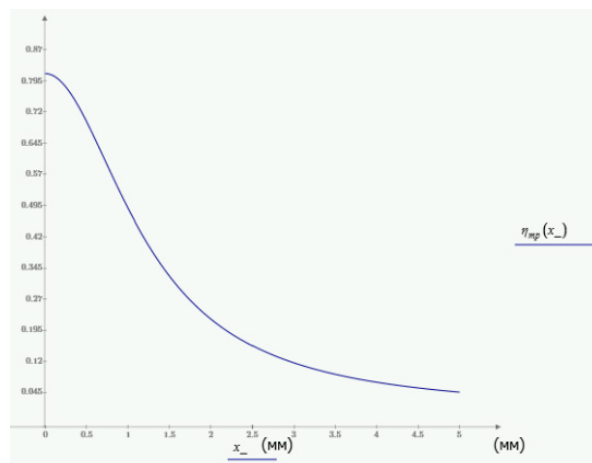
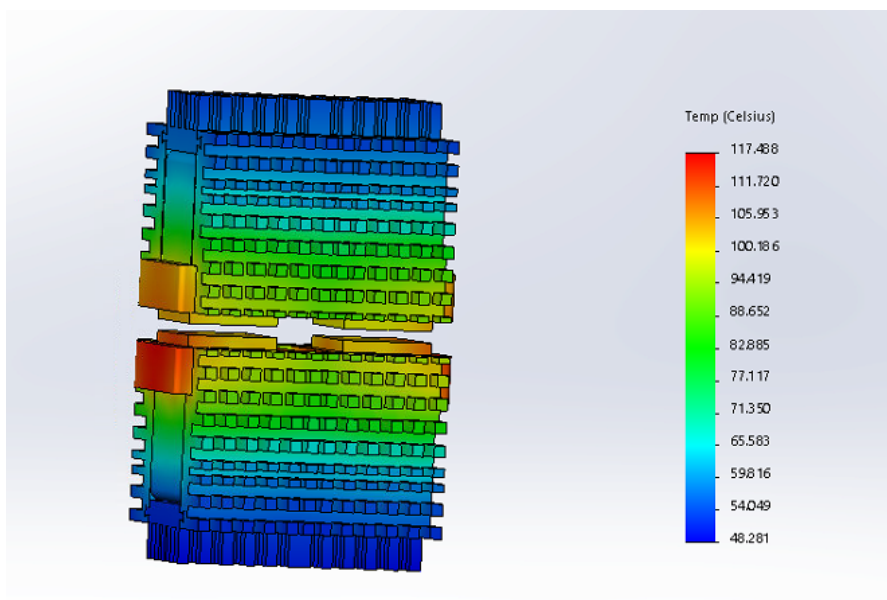


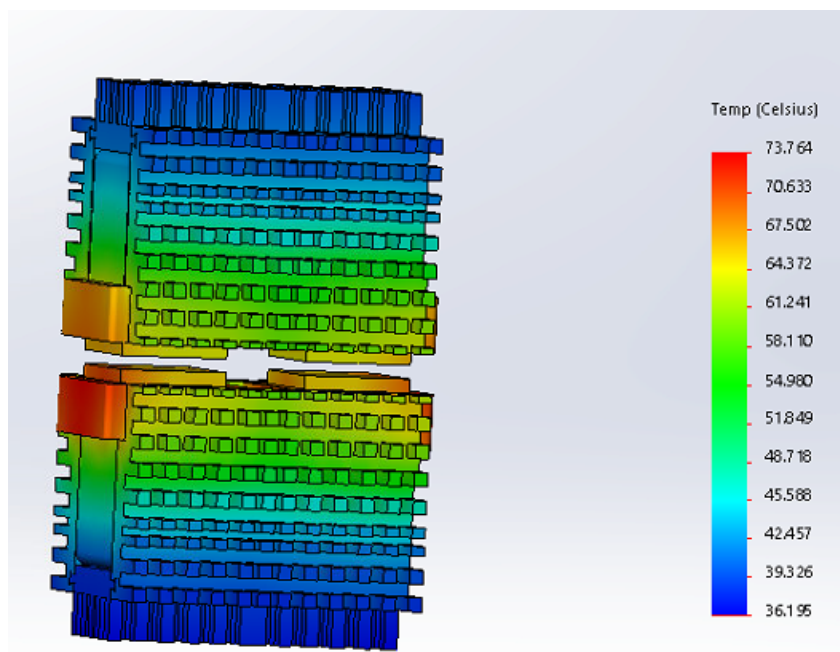
График зависимости  $\eta=f(x)$

Как видно из графиков, при увеличении немагнитного зазора и номинальном потреблении тока АКБ потери в трансформаторе увеличиваются по закону, приближенному к экспоненциальному. Один из приемлемых способов снижения потерь – это ограничить максимально допустимую величину зазора.

На основании расчетов, была построена модель трансформатора и смоделирована ситуация, при которой в течение 12,5 час. данное устройство работало в номинальном режиме с величиной воздушного зазора 0,5 и 1 мм.



*Результаты теплового моделирования при величине зазора в 1 мм*



*Результаты теплового моделирования при величине зазора в 0,5 мм*

Как видно на рисунках, за 12,5 час. трансформатор теоретически должен нагреться до 74 °С при немагнитном зазоре в 0,5 мм и до 118 °С при немагнитном зазоре в 1 мм в воздушной среде с естественной циркуляцией воздуха, что само по себе является наихудшим вариантом, поскольку при работе в море теплоотведение на порядок выше. При классе изоляции обмотки F и точкой Кюри 600 °С данные температуры соответствует номинальному режиму работы. Из чего следует, что это устройство соответствует предъявляемым требованиям и при успешных испытаниях имеет все шансы повсеместно войти в сферу беспроводных зарядных устройств.

### Библиографический список

1. Бардачевский Н. Н., Безсуднов Е. Ю. Состояние и перспективы применения необитаемых подводных аппаратов в области гидрографических исследований и подводной навигации. Интерэкспо Гео – Сибирь, 2013. Т. 5. Вып. 3. С.124–128.



2. *Moradewicz P.* Thesis Contactless Energy Transmission System with Rotatable Transformer Modeling, Analyze and Design. Electrotechnical Institute, Warsaw, Poland, 2008. 118 p.
3. *Moradewicz A., Kazmierkowski M.* High efficiency contactless energy transfer system with power electronic resonant converter. Bulletin of the Polish academy of sciences technical sciences. Vol. 57. N 4. 2009. P. 375–381.
4. *Smeets J., Krop D., Jansen J.* Contactless Power Transfer to a Rotating Disk. Electromechanics and Power Electronics Group, Eindhoven University of Technology, Netherlands, 2010. P. 748–753.
5. Патент RUN№2487452. Устройство бесконтактной подачи электричества, авторы: Каи Тосихиро (JP), Тхронгнумтаи Краисорн (JP), Минагава Юсуке (JP), Хаями Ясуаки (JP), Маикава Кенго (JP).
6. Патент RU 2401496. Устройство для зарядки аккумуляторной батареи подводного объекта, авторы: Кувшинов Г. Е., Копылов В. В., Филоженко А. Ю., Наумов Л. А., дата приоритета 25.06.2009, опубл. 10.10.2010. Бюл. 28.
7. Патент RU 2502170. Устройство для бесконтактной передачи электроэнергии на подводный объект, авторы: Кувшинов Г. Е., Копылов В. В., Герасимов В. А., Наумов Л. А., Филоженко А. Ю., Чепурин П. Ю. Дата приоритета 03.03.2012. Опубл. 20.12.2013.
8. *Стародубцев Ю. Н., Белозеров В. Я.* Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. Екатеринбург, 2002.
9. *Мартынов А. А.* Силовая электроника. Ч. I: Выпрямители и регуляторы переменного напряжения: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2011. 184 с.
10. *Мартынов А. А.* Силовая электроника. Ч. II: Инверторы и преобразователи частоты: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2012. 144 с.
11. Военно-морской флот работает над подводными беспроводными зарядными станциями для роботизированных подводных лодок – Военные – 2019. URL: <https://ru.sciencetis.com/31877-the-navy-is-developing-undersea-wireless-charging-stations-for-robotic-subs-43> (дата обращения: 05.12.2019).
12. *Герасимов В. А., Филоженко А. Ю., Красковский М. В.* Повышение эффективности бесконтактной передачи электроэнергии на автономный подводный аппарат // Подводные исследования и робототехника. Системы и технологии. 2016. 1 (21).
13. *Васин М. А., Мартынов А. А.* Разработка бесконтактного зарядного устройства аккумуляторов необитаемых плавательных аппаратов // Завалишинские чтения'19: молодежная секция: сб. докл., СПб.: ГУАП, 2019. С. 45–47.

УДК 629.3.038:004.896

**А. В. Выграновская, А. А. Приходский**

студенты кафедры электромеханики и робототехники

**А. В. Рысин, Е. С. Квас**

ассистенты кафедры электромеханики и робототехники

**С. А. Сериков** – доктор технических наук, доцент – научный руководитель

## ГИБРИДНЫЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

### Введение

Мобильные роботы находят все более широкое применение в различных сферах деятельности человека. Они должны обладать высокими динамическими свойствами и способностью автономно функционировать в сложных меняющихся условиях и перемещаться на значительные расстояния при экономном расходовании ограниченных ресурсов.

Автоматизированные экскаваторы и бульдозеры, отвечающие потребностям МЧС, патрульные машины для контртеррористических миссий, небольшие портативные роботизированные системы для военных нужд, универсальные транспортные системы с дистанционным управлением – все эти роботизированные системы требуют специальных методов и компонентов для разработки таких машин. Функции управления колесными и гусеничными мобильными роботами и условия их эксплуатации привели к необходимости использовать как двигатели внутреннего сгорания (ДВС), так и электроприводы (ЭП) в качестве силовых установок.

Удовлетворить таким требованиям могут мобильные роботы, оснащенные гибридными приводами, сочетающими в себе преимущества ДВС и ЭП, что вместе образуют сложную управляемую динамическую систему, в которой ДВС обеспечивает необходимый ресурс хода робота, а ЭП позволяет улучшить динамику робота, создавая дополнительный момент и энергетические показатели, пополняя заряд аккумулятора в режимах рекуперации энергии.

### Принцип работы

Гибридная силовая установка (ГСУ) содержит все положительные характеристики обоих двигателей: внутреннего сгорания и электрического. Преимущество первого состоит в практичном энергоресурсе, доступном топливе, а второго – в механических свойствах. Электродвигатель более эффективен при частых пусках и остановках, а ДВС – при неизменной скорости. На больших нагрузках работают сразу оба двигателя.

В гибриде ДВС и ЭД работают друг на друга. Двигатель внутреннего сгорания вращает генератор и подает энергию на электродвигатель, что позволяет ДВС в свою очередь работать без внезапных ускоряющих нагрузок при самых благоприятных условиях. У гибридов есть система возвращения или «рекуперации энергии». Электродвигатели начинают вращаться и действуют как электрогенераторы при зарядке батареи и, как следствие, меньший износ, экономная эксплуатация и экологическая чистота.

Основные достоинства ГСУ: экологичность, экономичность, хорошие ходовые характеристики, увеличение протяженности пробега, хранение и рециркуляция энергии, доступная заправка топливом.

За прошедшие полтора десятилетия именно на легковых автомобилях отработаны теория и техника, получен большой практический опыт производства и эксплуатации ГСУ, что является фундаментальной научно-технической базой для их распространения на мобильную робототехнику.

### Схемы и устройство гибридных силовых установок

Существуют три схемы для ГСУ: последовательная, параллельная и смешанная. В последовательной ДВС механически связан только с ЭП, а тяговый двигатель – только с колесами. В ней колеса приводятся в движение электродвигателем, а небольшой ДВС крутит генератор, вырабаты-

вающий электричество. Последовательная схема используется в условиях, когда требуется значительный крутящий момент, а не скорость. По этой схеме спроектированы силовые установки грузовиков, некоторых автобусов, автомобилей и локомотивов.

Широкое распространение получила параллельная схема: ДВС и ЭП механически связаны с колесами посредством дифференциала, который позволяет работать индивидуально или совместно. Гибриды оснащены мощным электродвигателем (от 10 до 16 кВт), дополняющим ДВС во время разгона, а при торможении накапливают рекуперативную энергию.

Гибриды (последовательно-параллельные) смешанного типа также находят свое применение. ДВС, электрогенератор и электродвигатель связаны друг с другом и с колесами с помощью планетарной передачи, что позволяет менять потоки мощности между узлами. ДВС вращает колеса в тандеме с электродвигателем, одновременно вращая генератор. Традиционная коробка передач не требуется: электроника контролирует скорость двигателя и генератора, делая такую систему бесступенчатой коробкой передач.

Схемы устройства ГСУ с ДВС представлены на рис. 1.

Гибридные приводы дороже и сложнее традиционных приводов с двигателями внутреннего сгорания. Аккумуляторные батареи, подверженные саморазрядке, не переносят низких температур. А эксплуатация гибрида напрямую зависит от состояния аккумуляторов, при этом остается проблема утилизации отработанных батарей.

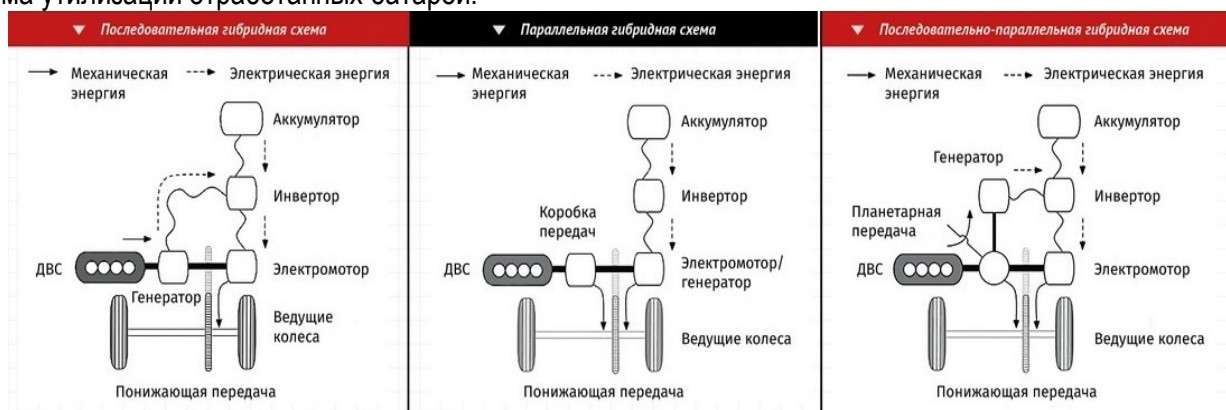


Рис. 1. Основные гибридные схемы

По мощности используемых электродвигателей гибридные установки можно разделить на три группы:

- а) микрогибридные приводы;
- б) установки с «мягким» гибридным приводом;
- в) установки с полным гибридным приводом.

Применение ГСУ в мобильных роботах:

Гибридная силовая установка позволяет радикально снизить себестоимость роботизированных систем с сохранением удовлетворительного запаса энергии при допустимых размерах самой установки.

Мобильные роботы, в том числе шагающие роботы, необходимы для выполнения длительных, трудных, опасных и утомительных миссий. К ним относятся поисково-спасательные, ремонтные, развлекательные, часовые, видеонаблюдения (рис. 2, 3).

Непрерывная работа этих роботов в течение нескольких дней или недель была бы идеальной для этих применений. Типичные требования к мощности для полевых роботов будут значительно различаться во время миссии, часто с высокими требованиями к пиковой мощности. Эти полевые системы часто имеют ограничения по массе, объему и шуму. Современная технология электропитания является ключевым ограничивающим фактором для длительных полевых миссий с участием роботов. Двигатели внутреннего сгорания могут обеспечивать высокую мощность в течение длительного времени, но производят токсичные выхлопы, шум и сильные тепловые излучения, что делает их неподходящими для многих необходимых задач. Текущие перезаряжаемые батареи имеют очень низкую плотность энергии и высокую скорость саморазряда, что требует от систем остановки

и перезарядки каждые несколько часов, что делает их неэффективными для длительных миссий. Следовательно, существует потребность в источнике питания, который может обеспечить высокую общую энергию, быть более тихим и чистым. Концепция гибридной системы на топливных элементах обеспечивает высокую плотность энергии, длительный срок службы и соответствует требуемым пиковым потребностям батареи.

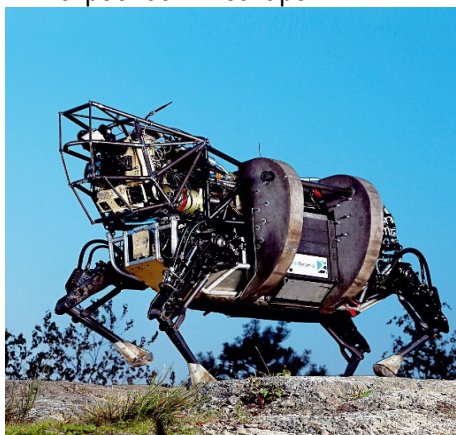


Рис. 2. Boston Dynamics Big Dog



Рис. 3. Robonaut 2 repair robot

Достоинством гибридной системы является эффективное управление и дизайн, при котором топливный элемент и батарея остаются оптимального размера, чтобы минимизировать нагрузку на топливный элемент, позволяя батарее удовлетворять пиковым потребностям в мощности. Таким образом, система может работать в течение длительного срока при высокой эффективности работы.

Сейчас вместе с управляемыми летательными аппаратами все чаще применяются дистанционно управляемые летательные аппараты, в которых также возможно применение ГСУ. Например, квадрокоптер – беспилотный летательный аппарат, у которого аэродинамическая конструкция состоит из четырех винтов и моторов (рис. 4).

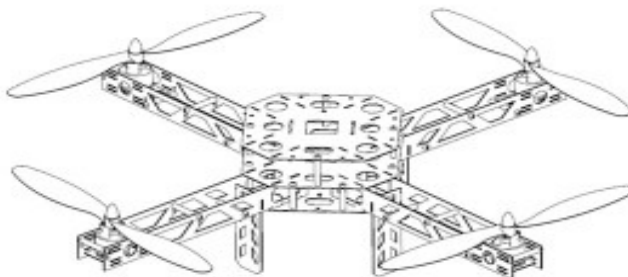


Рис. 4. Изображение квадрокоптера

Источником питания данной силовой установки является энергия жидкого топлива и аккумуляторов, что позволяет увеличить время полета, а также полезную работу квадрокоптера.

Достоинством гибридов является то, что ДВС более практичен и обеспечивает необходимую добавочную энергию. Из недостатков можно выделить большой вес конструкции ЛА. Подобные летательные системы, которые могут продолжительное время находиться в воздухе, являются хорошим инструментом в военной и гражданской сферах.

### Другие виды гибридных приводов

ГСУ, помимо пары электродвигателя и ДВС, могут иметь множество различных других сочетаний двигателей, таких как пневмоэлектрический привод, гибридный привод, состоящий из пневматической и гидравлической частей, и др.

Примером применения пневмоэлектрического гибридного привода является eXoskeleton Robot (HoR) (рис. 5). Здесь гибридная силовая установка применяется для удовлетворения некоторых

требований к роботу: антропоморфный дизайн, что подразумевает компактность и легкость установки; точность управления крутящим моментом; достаточная грузоподъемность и скорость перемещения; длительный период энергетической автономии.



Рис. 5. Гибридный привод ATR eXoskeleton Robot (XoR)

Непосредственное управление крутящим моментом обеспечивается двигателем с последовательным приводом (ПП-двигатель). Двигатель ПП, как правило, слишком тяжелый для роботов. Цель применения гибридного привода состоит в том, чтобы сделать сумму двух выходов равной требуемому крутящему моменту. В дизайне экзоскелета нижней конечности комбинируются пневматические искусственные мышцы (ПИМ) с «маленькими» электрическими серводвигателями. ПИМ могут генерировать относительно большую энергию, в то время как их вес невелик по сравнению с обычными пневматическими цилиндрами.

Существуют еще два типа двигательных систем, которые обеспечивают функционирование робота: пневматическая и гидравлическая. Каждая из них имеет свои уникальные преимущества, но в то же время сталкивается со многими техническими ограничениями, которые в конечном итоге определяют уровень обратной связи робота и управления его движениями.

Команда инженеров во главе с Джоном Уитни разработала уникальный гидропневматический привод (рис. 6), использующий преимущества пневматической и гидравлической систем, которые раньше использовались лишь по отдельности. В этом приводе вместо того, чтобы соединения полностью контролировались парой гидравлических клапанов, движение в заданном направлении выполняется гидравлически, а затем операция возврата в исходное положение выполняется пневматически. Это решение позволяет значительно упростить конструкцию привода и использовать пневматику в качестве дополнительного демпфера, обеспечивающего более плавное и естественное движение.

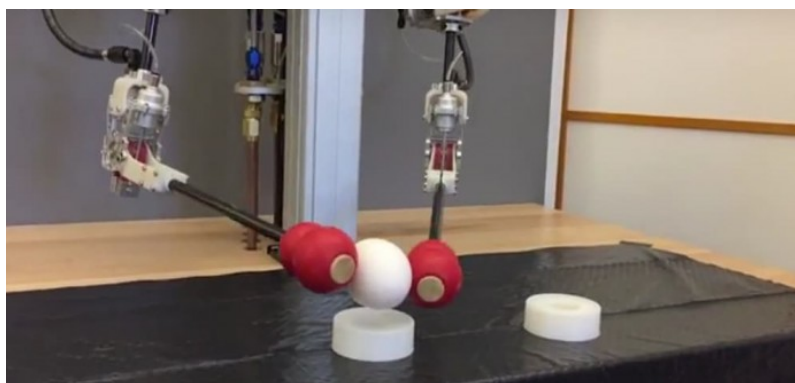


Рис. 6. Использование гибридного привода для робота-хирурга

Инженеры предложили использовать гибридный привод с одним двигателем, что значительно упростило гидравлическую систему. В результате весь дизайн стал более быстрым, простым и точным. Еще одно преимущество предлагаемой гибридной системы над роботизированным комплексом, работающим на чистой гидравлической системе, заключается в отсутствии строгой зависимости от электропитания. Оставшаяся подача сжатого воздуха в пневматическую часть системы может выполнять ограниченную полезную работу. Следовательно, в случае отказа питающей системы робот-хирург сможет вернуть оперирующий манипулятор в исходное положение, предоставив хирургу свободный доступ к телу пациента.

### **Заключение**

Для обеспечения эффективного функционирования мобильных роботов необходим такой привод, который мог бы позволить роботу преодолевать большие дистанции, при этом потребляя минимальное количество ресурсов, выполнять сложные задачи, а также совершать точные движения. Таким требованиям, несомненно, в наибольшей степени удовлетворяет гибридная силовая установка, сочетающая в себе все достоинства составляющих моторов.

Гибридные силовые установки открывают большие перспективы для развития мобильной робототехники, что обуславливается широкими возможностями их приводов. В данной работе были представлены роботы различного назначения, облегчающие выполнение трудных задач. Работу каждого из этих роботов обеспечивает гибридная силовая установка, которая, в свою очередь, незаменима в подобных сложных конструкциях.

### **Библиографический список**

1. Бахмутов С. В., Карунин А. Л., Круташов А. В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: учеб. пособие. М.: МГТУ «МАМИ», 2007. 71 с.
2. Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования / Афанасьев П. П., Голубев И. С., Новиков В. Н. и др. 2-е изд., перераб. М., 2008. 656 с.
3. Робототехники из Disney Research разработали гибридный привод нового поколения URL: <https://habr.com/ru/company/dronk/blog/394609/> (дата обращения: 02.02.2020).

УДК 621.318.34

**Д. Р. Гарафутдинов**

студент кафедры электромеханики\*

**Р. Р. Саттаров** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель\*

\*Уфимский государственный авиационный технический университет

### ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕТОКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ТАКТИЛЬНОМ ИНТЕРФЕЙСЕ

Тактильный интерфейс – это устройство, имеющее обратную связь с пользователем, позволяющее пользователю взаимодействовать с компьютером посредством получения чувствительной обратной связи. Кроме возможности управления объектами интерфейса их можно также и ощущать. Тактильные устройства, в отличие от других интерактивных устройств, способны как «чувствовать» объект, так и передавать информацию об объекте. Разработчики тактильных интерфейсов отмечают два важных направления: тактильные ощущения (чувство касания) и «кинестетическое» чувство (чувство положения) [1]. Данные направления имеют общую особенность: они снабжены средствами силовой обратной связи, которые получают информацию о положении и жесте, а возвращают величину приложенной в точке силы.

Таким образом, пользователь может ощущать форму мягкого и жесткого объекта, в том числе через несколько слоев различного сопротивления и различной плотности при касании внешней поверхности (например, в медицинских хирургических симуляторах). Современная технология позволяет имитировать ощущения врача при виртуальном касании пациента, а также воспроизводить «живые» изображения, которые позволяют максимально приблизиться к реальным условиям работы. Но врачу важно не только видеть исследуемую ткань, но и особенно ощущать взаимодействие с ней. Для осуществления вышеуказанной технологии требуется исполнительный механизм, позволяющий реализовать управляющие сигналы в физическое действие [2].

Известно множество типов исполнительных механизмов для реализации сигналов в физическое действие, например: шаговые двигатели, двигатели постоянного тока, речевые катушки, катушки индуктивности, гидравлические, пневматические исполнительные механизмы. Двигатели являются активными устройствами. Это означает, что устройство обеспечивает активную силу, которая может перемещать объект в различных направлениях. Другие приводы являются пассивными, например, демпферы, которые обеспечивают сопротивление движению, создаваемому другим источником либо остановку, таким как пользователь, и не могут создавать силы самостоятельно [3]. Преимуществом активных устройств является их способность имитировать все виды физических ощущений. Однако активные исполнительные механизмы могут отклоняться от положения равновесия из-за маятниковых колебаний и могут передаваться в контур обратной связи. В контуре обратной связи колебательные силы передаются надвигаемый механизм, что приводит к неправильной работе устройства. Для исключения негативных факторов при использовании активных устройств необходимо использовать вихретоковые демпферы, которые могут использоваться с активным приводом для стабилизации устройства.

Вихретоковый демпфер – это простое магнитное устройство, состоящее из вторичного элемента (проводника либо диска), движущегося через магнитное поле, создаваемое электромагнитом, либо постоянным магнитом (рис. 1). В результате движения вторичного элемента вихревые токи индуцируются и создают резистивные силы или сопротивления вторичному элементу, пропорционально относительной скорости согласно закону Лоренца [4].

Преимущество использования вихретокового демпфера в качестве привода заключается в том, что он может обеспечить сопротивление и обратную связь без какого-либо контакта между его частями, то есть проводником и электромагнитом. Кроме того, физика вихретоковых тормозов делает их идеальными для использования в тактильных системах, поскольку они быстры, просты, регулируемы, не имеют трения и линейны в диапазоне скоростей в тактильной визуализации [5].

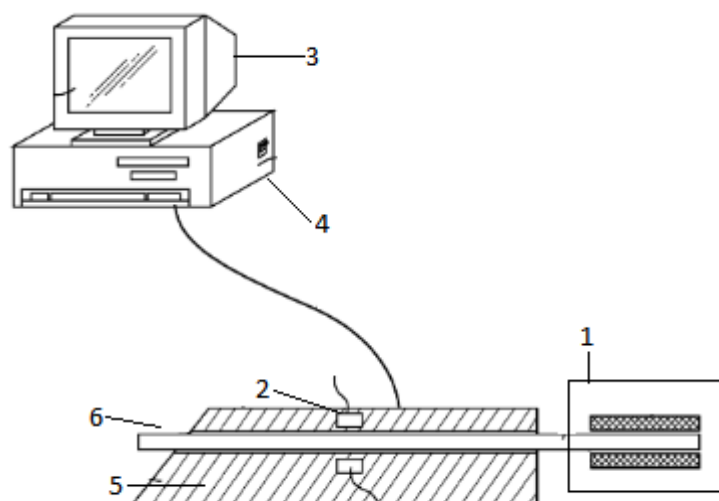


Рис. 1. Тактильная система с применением вихретокового демпфера:  
 1 – вихретоковый демпфер с двумя электромагнитами; 2 – датчики положения вторичного элемента; 3 – персональный компьютер; 4 – контроллер управления;  
 5 – корпус тактильного устройства; 6 – вторичный элемент

### Заключение

Технология тактильных интерфейсов является перспективной областью научных исследований, машиностроения и промышленности, медицины. С растущим интересом и спросом на интерфейсы в таких областях, как медицинское обучение, производство, взаимодействие человека и компьютера, исследование восприятия, стремление к высокой точности тактильных интерфейсов постоянно увеличиваются, что в свою очередь увеличивает спрос на демпфирующие устройства для активных устройств, в том числе и вихретоковые демпферы.

### Библиографический список

1. *Campion G., Gosline A., Hayward V.* Initial results using Eddy Current Brakes as Fast Turn-on, Programmable Physical Dampers for Haptic Rendering // Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. 2006. P. 73–74.
2. *Майская Г.* Виртуальная реальность в медицине // Электроника. 2000. № 6. С. 34–39.
3. *Sattarov R.* Electromechanical transients in passive suspension systems with eddy current dampers // IX International Conference on Power Drives Systems (ICPDS). IEEE, 2016. P. 1–5.
4. *Millet G.* The ultimate haptic device: First step // EuroHaptics conference, 2009 and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. World Haptics 2009. Third Joint. IEEE, 2009. P. 273–278.
5. *Sattarov R.* 2D model of axial-flux eddy current brakes with slotted conductive disk rotor // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). IEEE, 2017. P. 1–6.



## УДК 67.03

**Н. И. Гарматий, К. О. Шишков, Д. А. Павлюков**

студенты кафедры электромеханики и робототехники

**А. Р. Худайбердина, К. С. Исаков**

студенты кафедры управления в технических системах

**С. В. Солёный** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕРАБОТАННОГО ПЛАСТИКА В АДДИТИВНЫХ УСТАНОВКАХ

В современном мире каждый из нас ежедневно замечает под ногами пластиковые бутылки, упаковки и прочие отходы. Это происходит на улице, а порой даже и в школах, университетах и метро. А представьте, что было бы, если этот пластик превратился во что-то полезное?

Все пластиковые приборы или тары имеют свою маркировку, ее вели в конце XX века. Обычно она обозначается треугольником, внутри которого есть цифра, также может быть буквенный шифр.

Это все введено для упрощения сортировки пластиковых деталей.

Внутри треугольника могут быть цифры от 1 до 7. Они соответствуют следующим видам пластмасс:

- полиэтилентерефталат – PETE (1);
- высокоплотный полиэтилен – PEHD или HDPE (2);
- поливинилхлорид – PVC (3);
- низкоплотный полиэтилен – LDPE или PEBD (4);
- полипропилен – PP (5);
- полистирол – PS (6);
- все другие виды пластика – OTHER – O (7).

На рис. 1 показаны все возможные маркировки, которые указывают на пластиковых деталях.

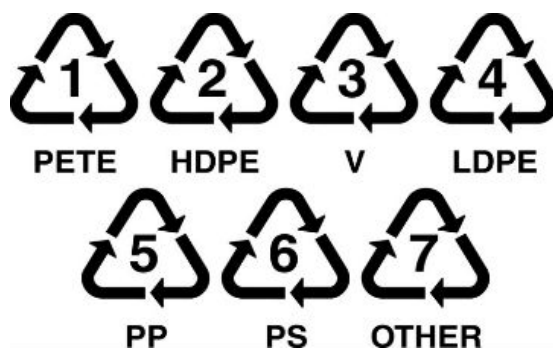


Рис. 1. Маркировка пластиковых изделий

#### 1. PET/PETE или ПЭТ – полиэтилентерефталат



Рис. 2. PET/PETE или ПЭТ – полиэтилентерефталат

Такой пластик используется чаще всего. Относительно безопасен, однако предназначен для разового использования. При повторном использовании выделяет фталат.

Используют для производства упаковки воды, соков, лимонада, молока, йогуртов, кефира, других кисломолочных продуктов, растительного масла, кетчупа, косметики, порошков.

Подлежит переработке, за исключением бутылок из-под растительного масла, так как оно проникает в пластик и становится непригодным для производства вторсырья.

**2. PEHD/HDPE или ПЭВП – полиэтилен высокой плотности**



*Рис. 3. PEHD/HDPE или ПЭВП – полиэтилен высокой плотности*

Имеет низкую степень опасности и практически не выделяет вредных веществ. Специалисты рекомендуют по возможности покупать воду именно в бутылках с такой маркировкой.

Используют для производства упаковки молока, сока, кефира, средств бытовой химии, игрушек, некоторых пластиковых пакетов, одноразовой посуды, косметики, гигиенических прокладок, ведер и ряда другой продукции. Подлежит переработке.

**3. PVC. ПВХ – поливинилхлорид**



*Рис. 4. PVC. ПВХ – поливинилхлорид*

Это мягкий, гибкий пластик. Используется для упаковки растительного масла, игрушек, блистерных упаковок, пластиковых труб, оконных рам, шлангов.

Содержит фталаты и бисфенол А. При сжигании выделяет диоксин – высокотоксичное вещество, имеющего негативное влияние на гормональный баланс, а также репродуктивную и иммунную системы.

В России этот вид пластика повторно не перерабатывается, поэтому его использование как минимум не экологично.

**4. LDPE/PEBD. ПВД – полиэтилен низкой плотности высокого давления**



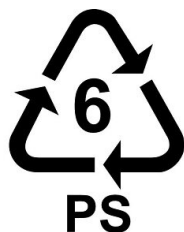
*Рис. 5. LDPE/PEBD. ПВД – полиэтилен низко*

Почти безвреден. Можно использовать повторно. Из него делают пакеты и пищевую пленку. Подлежит переработке.

**5. PP – полипропилен***Рис. 6. PP – полипропилен*

Относительно безопасен и безвреден. Можно использовать несколько раз.

Используется для производства: пакетов для хлеба и круп, детских сосков, стаканчиков для йогуртов, упаковки для детского питания, подгузников, прокладок, пищевых контейнеров, трубочек для напитков, игрушек. Подлежит переработке.

**6. PS. ПС – полистирол***Рис. 7. PS. ПС – полистирол*

По-другому полистирол называют пенопластом.

Не рекомендуется использовать повторно, так как при повторном использовании и нагревании выделяет опасные химические соединения, в частности, стирол. Соответственно, не годится для хранения горячих напитков, еды. Принимают на переработку.

**7. O/OTHER. Другие виды пластика***Рис. 8. O/OTHER – другие виды пластика*

Сюда относят прочие виды пластика, такие как: полиамид, поликарбонат и другие виды пластмасс.

Из него делают: прозрачные одноразовые столовые приборы, детские бутылочки, бутылки для кулера и многоразовые бутылки для воды, игрушки, тубики для зубной пасты, пакеты для выпечки, компакт-диски.

Можно использовать повторно, но при нагревании выделяется бисфенол А. Переработке не подлежит.

**Что можно сделать из пластика на 3D-принтере**

На рынке можно найти нить для 3D-принтера сделанную на 90 % из пластиковых бутылок. Команда разработчиков данной технологии создания пластиковой нити для печати работала над данным проектом с 2012 года и в 2015 году выпустила в продажу свой продукт. В упаковке 750 г нити толщиной 1,75 мм.

Слева – стеклянная бутылка, посередине – ПЭТ-бутылка, напечатанная на 3D-принтере, справа – та же бутылка, напечатанная из PLA белого цвета.

Можно заметить, что бутылка, напечатанная на 3D-принтере, не является такой же прозрачной, как ПЭТ-бутылки, которые мы привыкли видеть. Это связано с соблюдением температурных режимов и свойствами самого материала.



Рис. 9. Пример материала для 3D-принтера из ПЭТ-бутылок



Рис. 10. Внешний вид напечатанного изделия из полиэтилентерефталата (ПЭТ) и полилактида (PLA)



Рис. 11. Работа с полиэтилентерефталатом при разных температурах

Известно, что температура плавления ПЭТ 260 градусов. После достижения этой температуры пластик размягчается и не сохраняет форму, поэтому для работы с полиэтилентерефталатом в аддитивных установках используют температуру, которая немного ниже температуры плавления (от 200 до 260 градусов). Температура стеклования полиэтилентерефталата всего 70 градусов. Интересно, что эта температура используется для придания пластику прозрачности. В обычных условиях твердый пластик не прозрачен, однако если его нагреть до температуры стеклования и быстро охладить, он останется прозрачным.

Рассмотрим несколько примеров изделий из полиэтилентерефталата, но при разной температуре нанесения слоев при 3D-печати (рис. 11).

### Вывод

В мире огромное количество мусора из полимера, так как люди всегда идут по пути наименьшего сопротивления. Легче выкинуть, чем отправить на переработку. Поскольку в мире большие объемы пластика и он в прямом смысле лежит под ногами, его можно использовать для печати на 3D-принтере и создавать удивительные вещи и устройства, попутно очищая планету от мусора, загрязнения и прочих пластиковых отходов. Есть определенные проблемы в переработки пластика, поэтому прежде чем осуществлять производство материала для аддитивных устройств, нужно более глубоко разобраться в данной теме, чтобы исключить проблемы данной технологии на ранней стадии ее применения.

### Библиографический список

1. Richard Horne. Recycling Plastic for 3D Printing – Why not the default? URL: <http://richrap.blogspot.ru/2015/10/recycling-plastic-for-3d-printing-why.html>. 2015 (дата обращения: 10.02.2020).
2. Становская А. В. Переработка пластика как средство снижения загрязнения окружающей среды // НИРС БГЭУ: сборник научных статей. Вып. 7. Минск, 2018.
3. Фроленок В. В. Как спасти планету от пластика или первый шаг в ответственное развитие // Бизнес-образование в экономике знаний. Иркутск, 2018.
4. Котов В. С., Панкратов А. В., Барсков В. В. Результаты исследований возможности использования полимеров для создания элементов корабельных газотурбинных двигателей с использованием аддитивных технологий. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-issledovaniy-vozmozhnosti-ispolzovaniya-polimerov-dlya-sozdaniya-elementov-korabelnyh-gazoturbinnih-dvigatelay-s/viewer> (дата обращения: 10.02.2020).

## УДК 67.05

**Н. И. Гарматий, К. О. Шишков, Д. А. Павлюков**

студенты кафедры электромеханики и робототехники

**А. Р. Худайбердина, К. С. Исаков**

студенты кафедры управления в технических системах

**С. В. Соленьий** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТИКОВЫХ 3D-ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Во время разработок и печати различных деталей на 3D-принтере образуется большое количество отходов. В связи с тем, что большая часть полимерных материалов не подвержена биологическому разложению, такие отходы после печати выкидывать нельзя.

Для уменьшения количества выбрасываемых отходов после печати и уменьшения загрязнения окружающей среды была предложена идея по переработке пластика для его повторного использования. Переработанный пластик может быть использован для печати на 3D-принтера или для других проектах, на которых используются детали из перерабатываемого материала.

В условиях лаборатории для переработки пластика необходим только шредер. Положительным качеством шредера является качество переработки пластика и его распространенность, а, следовательно, большой модельный ряд. Однако его существенными минусами являются высокая стоимость и в связи с небольшим количеством отходов лаборатории объемы перерабатываемого пластика. После анализа всех преимуществ и недостатков приобретения шредера был рассмотрен вариант его самостоятельной сборки.

В зависимости от принципа работы большинство шредеров можно разделить на группы:

- разрезающего и разрывного;
- сдавливающего;
- ударного действия.

#### Шредер ударного действия

В шредерах ударного действия перерабатываемый материал разрушается под действием механического удара. Кинетическая энергия движущихся тел частично или полностью в энергию разрушения движущихся тел.

По конструктивному решению дробилки делят на два основных типа:

- молотковые;
- роторные.

*Молотковые*

Благодаря конструкционным особенностям одним из названий молотковых дробилок является молотковые мельницы.

Такие мельницы состоят из корпуса, броневых плит, вала, диска, молотка и колосниковой решетки.

В корпусе вращается вал с закрепленным на нем диском. На диске висят закрепленные на шарнирах молотки, представляющие собой стальные плитки. Вал ротора с молотками вращается внутри корпуса. Стенки корпуса защищены броневыми плитами, а на его дне установлено сито (решетка) для устранения уже измельченных частиц из молотковой мельницы. Из-за большой скорости вращения ротора (500–1500 об./мин) и развиваемой центробежной силы молотки отбрасываются по радиусу. Поступающий через загрузочную воронку материал попадает под действие этих молотков, его куски отбрасываются на стенки корпуса, ударяются друг о друга и, достигнув определенного размера, проходят через сито.

Дробилки такого типа применяются для переработки хрупких материалов химической или фармацевтической промышленности и не подходят для всех видов пластика.

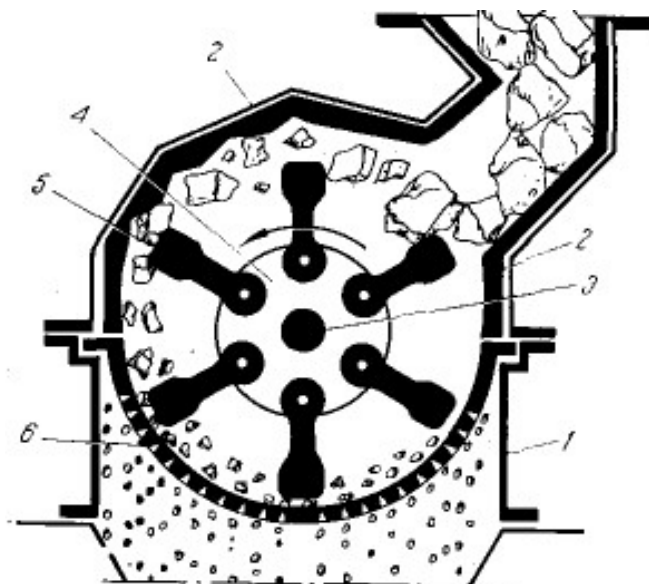


Рис. 1. Молотковые мельницы:

1 – корпус; 2 – броневые плиты; 3 – вал; 4 – диск; 5 – молоток; 6 – колосниковая решетка

Недостатком шредера такого типа является большая масса станины, некоторые модели можно устанавливать только на специальные железобетонные основания, большая скорость вращения с закрепленными молотками на дисках создают достаточно большой шум и вибрации, невозможность перерабатывать большую часть различных видов пластика.

#### *Роторные дробилки*

Дробилки таких конструкций имеют массивный ротор, на котором жестко закреплены сменные зубила из износостойкой стали. Такой вид дробилок обычно применяют для дробления достаточно крупных кусков отходов из прочных материалов.

В связи с тем, что в лаборатории будет перерабатываться только пластик, который не является очень прочным материалом, данный вид дробилок не целесообразен для самостоятельной сборки и экономически не выгоден.

### **Шредеры сдавливающего действия**

Такие дробилки конструктивно можно выделить в две основные группы:

- щековая дробилка;
- конусная дробилка.

#### *Щековая дробилка*

В камеру дробления подается перерабатываемый материал. Камера образована двумя щеками, одна из которых является неподвижной, а другая подвижной и имеет форму клина. Благодаря такой форме камеры дробления куски материала распределяются по высоте камеры в зависимости от их размеров – более крупные куски вверху, маленькие – внизу.

Дробление материала происходит ходом сжатия (сближении щек), при котором подвижная щека приближается к неподвижной из-за чего раздробляются куски материала. При холостом ходе отходит подвижная щека и раздробленные куски под действием силы тяжести перемещаются вниз или, если их размеры стали меньше выходной щели (наиболее узкой части камеры), выходят из камеры дробления. Если куски материала остались достаточно крупными, то они перемещаются вверх, после чего цикл повторяется.

Ширину выходной щели регулируют путем установки между упором и задней стенкой станины дополнительных прокладок различной толщины, системой клиньев на винтах или заменой задней распорной плиты необходимой длины.

В зависимости от кинематических особенностей механизма щековые дробилки можно разделить на две основные группы:

1. Дробилки, у которых движение от кривошипа к подвижной щеке передается с помощи определенной кинематической цепи. При этом траектории движения подвижной щеки представляют собой части дуги окружности. Эти машины называются щековыми дробилками с простым движением подвижной щеки.

2. Дробилки, у которых кривошип и подвижная щека образуют единую кинематическую пару. В таком случае траектории движения точек подвижной щеки представляют собой замкнутые кривые, основной формой которых являются эллипсы. Дробилки с такой кинематикой называются щековыми дробилками со сложным движением подвижной щеки.

Преимуществом шредеров с простым движением щеки являются возможность дробления высокопрочных пород, а также сравнительно малый износ дробящих плит. Недостатком дробилок такого типа являются большая металлоемкость по сравнению с дробилками со сложным качанием щеки, а также большая неравномерность получаемой фракции.

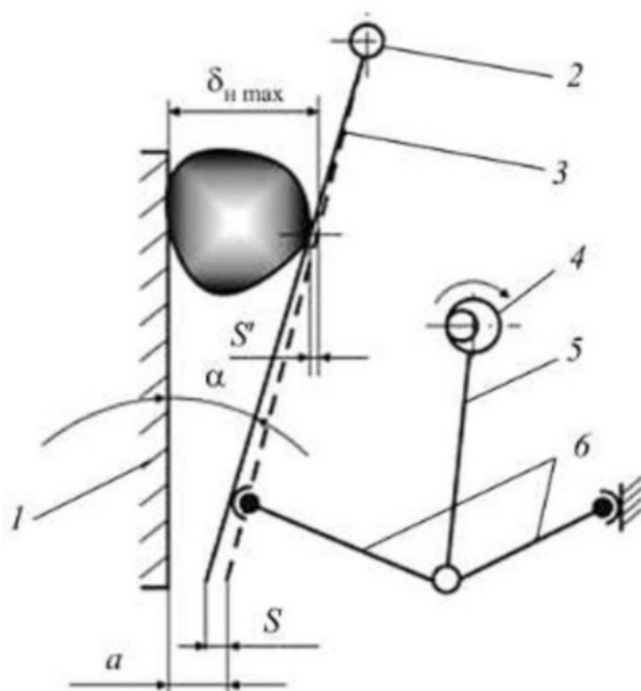


Рис. 2. Схема щековой дробилки с простым движением щеки:  
1 – неподвижная щека; 2 – ось подвеса; 3 – подвижная щека;  
4 – эксцентрик; 5 – шатун; 6 – распорные плиты

Производительность  $Q$  (т/ч) дробилки определяется уравнением:

$$Q = (1479\sqrt{B} - 40B\sqrt{B})L(e_T p_T),$$

где  $p_T$  – плотность материала т/м<sup>3</sup>;  $B$  и  $L$  – ширина и длина приемного отверстия, м;  $b$  – максимальная (в момент отхода щеки) ширина разгрузочной щели, м.

Формула получена только из геометрических представлений, поэтому в ней не учитывается влияние на производительность дробилки физических свойств дробильного материала.

#### Конусная дробилка

В зависимости от размера дробленого материала их разделяют на дробилки крупного, среднего и малого дробления.

Приемник конусной дробилки мелкого дробления рассчитан на куски в 35–100 мм, а результат на выходе – фракция 3–15 мм. Производительность конусных дробилок мелкого дробления 12...220 куб./час.



Конусные дробилки мелкого дробления также характеризуются диаметром основания подвижного конуса и для обеспечения равномерности зернового состава продуктов дробления оборудуются двумя зонами.

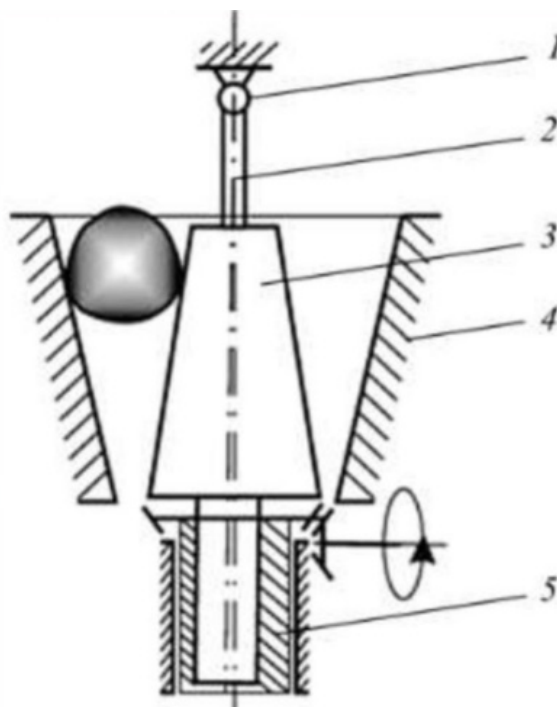


Рис. 3. Схема конусной дробилки мелкого дробления: 1 – узел подвеса подвижного конуса; 2 – вал; 3 – подвижный конус; 4 – неподвижный конус; 5 – эксцентриковый стакан

В отличие от конусных дробилок среднего дробления, камеры конусных дробилок мелкого дробления имеют параллельную зону большей длины и подвижный конус меньшей высоты.

Ширина выходной щели у дробилок составляет  $0,1-0,2 B$  ( $B$  – ширина приемного отверстия дробилки), а максимальный диаметр дробящего конуса – порядка  $1,5 B$ .

Массовая производительность (т/ч) выражается эмпирической формулой:

$$Q = \frac{420,5B^3 + 195,8B^2 - 7,2B}{\sqrt{2B + 1}} k_{PT},$$

где  $B$  – ширина приемного отверстия дробилки, м;  $k$  – коэффициент разрыхления.

Данные дробилки в основном используются для измельчения крупных отходов и такие аппараты не смогут переработать вязкий полимер, например ABS.

### Дробилки разрезающего и разрывного действия

Дробилки разрезающего и разрывного действия называют также роторными, или валковыми, все они оснащены ножами и зубьями.

Основным рабочим органом валковой дробилки является цилиндрический валок, вращающийся на горизонтальной оси. Подлежащий дроблению материал подается сверху, затягивается между валками или валком и футеровкой камеры дробления, в результате чего происходит дробление материала.

Измельчение в таких машинах выполняется ножами, закрепленными на валу и корпусе. Для легких и тонких пластиков используются машины с высокой скоростью вращения, для твердых и крупных отходов – с низкой.

Поверхности валков бывают гладкие, рифленые, ребристые и зубчатые. Сочетания дробящих поверхностей может быть различным: например, оба валка могут иметь гладкую поверхность или один гладкую, другой – рифленую и т. д.

Самыми популярными конструкциями по переработки пластика являются роторные шредеры и дробилки.

Дробилки разрезающего действия делаются по трем разным кинематическим схемам:

- одновалковые;
- двухвалковые;
- четырехвалковые.

1. *Одновалковые.* В таких дробилках ротор вращается в корпусе. Материал для переработки подается через специальное окно, а материал, который перемололся, выходит через профилированное сито под собственным весом. В некоторых машинах такого типа предусматривают системы с принудительной пневматической выгрузкой. Один из основных элементов одновалкового шредера для средних и крупных отходов – гидравлическая плита-подпрессовщик. Она поджимает куски пластика к ротору и обеспечивает их захват зубьями или ножами. Такой вид кинематической схемы подходит для первичного измельчения полимеров с высокой твердостью.

2. *Двухвалковые.* Системы с двумя роторами отличаются более высокой степенью измельчения. Со стороны загрузки валы вращаются навстречу друг другу. Условия захвата в двухроторной машине позволяют обходиться без подпрессовщика. Благодаря высокому крутящему моменту переработка мягкого и упругого пластика для такого измельчителя не является проблемой.

3. *Четырехвалковые.* В состав системы входят два основных (режущих) и два вспомогательных (подающих) вала. Такие машины рассчитаны на дробление крупногабаритных отходов, в том числе пустотных: канистр, бочек, банок. Ножи подающих роторов разнесены между собой, но имеют положительное перекрытие с ножами рабочих валов, поэтому также участвуют в процессе измельчения.

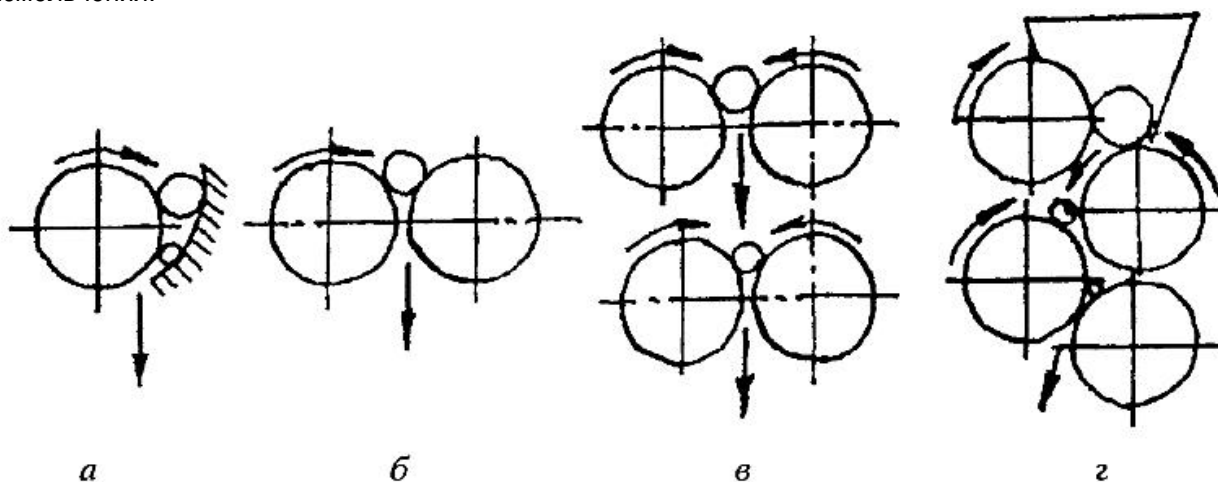


Рис. 3. Схема валовых дробилок: а – одновалковая; б – двухвалковая; в, г – четырехвалковые

### Вывод

Были рассмотрены основные конструкции для измельчения пластиковых отходов. Так как большинство конструкций измельчителей взяты из горнодобывающей промышленности, по многим показателям их использование является нецелесообразным. В связи с меньшей твердостью пластика относительно горных пород, конструкции, рассчитанные исключительно на очень твердые материалы (породы), экономически невыгодно.

Для лаборатории по работе с 3D-принтерами в виду отсутствия больших мощностей для переработки пластика самым экономичным и практичным будет конструкция разрезающего и разрывного действия, а именно одновалковый измельчитель. Его достоинствами являются малые размеры, он не требует огромного момента на вал измельчителя, а также может быть универсальным для переезда. Также преимуществом такого шредера является простая кинематическая схема, меньшая вибрация и шум, более простая конструкция и меньшие затраты на изготовление деталей, простота изготовления и сборки относительно других видов шредера.

### Библиографический список

1. Дробилки и шредеры для пластика — виды измельчителей, принципы работы и цены. URL: <https://rcycle.net/plastmassy/oborudovanie-pl/drobilki-i-shredery-dlya-plastika-vidy-printsip-raboty-tsena> (дата обращения: 17.02.2020).
2. Щековая дробилка устройство, принцип работы. URL: <http://www.mpoltd.ru/poleznoe/189-shchekovaya-drobilka-ustrojstvo-printsip-raboty.html> (дата обращения: 17.02.2020).
3. Конусная дробилка, устройство, принципы работы. URL: <http://www.mpoltd.ru/poleznoe/194-conusnaya-drobilka-ustrojstvo-printsipy-raboty.html> (дата обращения: 17.02.2020).
4. Особенности выбора шредера для пластика: разновидности, принцип работы, цена. URL: <https://regionvtormet.ru/metally/osobennosti-vybora-shredera-dlya-plastika-raznovidnosti-printsip-raboty-tsena.html> (дата обращения: 17.02.2020).

## УДК 67.02

**Н. И. Гарматий, К. О. Шишков, Д. А. Павлюков**

студенты кафедры электромеханики и робототехники

**А. Р. Худайбердина, К. С. Исаков**

студенты кафедры управления в технических системах

**С. В. Соленьий** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### СИСТЕМА ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

В современном мире одной из глобальных проблем человечества является проблема загрязнения огромных пространств пластиковыми отходами. По подсчетам специалистов в морях нашей планеты находится более 5,25 триллиона отходов полимеров и других синтетических материалов. Если в 1950 году в мире производилось всего 1,7 млн тонны, то в 1990 году – уже 105 млн тонн, а в 2017-м – 348 млн тонн. Загрязнение морской среды полиэтиленом, полистиролом и др. создает угрозу не только для нынешнего, но и для будущих поколений людей.

Вторичная переработка пластиковых отходов – самый эффективный способ снизить вред от существующего пластика на данный момент. Изделия из пластика после использования сохраняют практически все свои свойства. Вторичная переработка отходов позволяет существенно сократить сырьевые затраты промышленных предприятий, что снижает себестоимость продукции, а значит, при прочих равных условиях способствует получению большей прибыли.

В последнее время изучается новый перспективный подход к переработке полимеров, связанный с возможностями аддитивного производства наряду с разработкой аппаратных средств с открытым исходным кодом, таких как бытовые пластиковые экструдеры. Такой подход мог бы обратить вспять историческую тенденцию централизованной утилизации в сторону распределенной. Аддитивное производство (АП) определяется как процесс смазывания материалов для изготовления объектов из трехмерных (3D) модельных данных, обычно слой за слоем. Одним из процессов АП является моделирование методом послойного наплавления, при котором нить расплавленного материала наносится на подложку с помощью подвижной головки. Материал нагревают до температуры, немного превышающей его температуру плавления в головке, затем выдавливают через сопло на подложку и охлаждают до тех пор, пока он не затвердеет и не образует слой.

Перерабатывать можно пластик, стекло, автомобильную резину и т. д. Преимущества от повторной переработки стекла включают в себя экономию энергии, снижение объема вредных выбросов, экономия сырья, отсутствие побочных продуктов, снижение поступления отходов на полигоны.

«Шредер» и «дробилка». Это две достаточно небольшие установки, которые можно устанавливать, например, в подсобных помещениях, которые перерабатывают пластик во все те же флексы. «Шредер» делает из пластика продолговатые пластинки. «Дробилка» нарезает их на мелкие кусочки (флексы), которые, как было сказано выше, можно использовать как сырье.

#### Свойства пластика (температура)

Основными полимерами, входящими в состав сырья для вторичной переработки, являются полипропилен, полиэтилен и полиэтилентерефталат. Эти типы пластика мы и собираемся использовать в нашем проекте.

1. ПЕТ (PETE) – полиэтилентерефталат – самый распространенный вид пластика.

Как правило, из него делают бутылки для напитков, растительных масел, кетчупов, очищающих жидкостей и т. д. Маркировка обозначается цифрой «1».



Рис. 1. Маркировки пластика

Переработка полиэтилентерефталата методом экструзии осуществляется при 280–300 °С, что является температурной границей, близкой к температуре разложения полиэтилентерефталата (290–350 °С). Повышенная температура может при переработке приводить к частичной деструкции полимера, в ходе которой выделяются побочные продукты, ухудшающие свойства полиэтилентерефталата.

2. PEHD (HDPE) – высокоплотный полиэтилен низкого давления.

Маркировка обозначается цифрой «2». Это упаковки шампуней, гелей для душа, моющих средств для посуды, косметических средств и т. д. Некоторые марки HDPE не теряют своих свойств при температурах ниже 250 °С. При температуре выше 120 °С HDPE выделяет токсические вещества, поэтому при 3D-печати этим полиэтиленом необходима хорошая вентиляция.

Особенности использования в 3D-печати:

- большая усадка, нужно учитывать некоторую деформацию моделей после печати;
- низкая адгезия, приводящая к тому, что следующий слой материала плохо сцепляется с предыдущим. Проблему можно решить либо высокой скоростью печати, либо установкой тепловой пушки, которая будет поддерживать температуру слоя на приемлемом уровне;
- температура плавления колеблется в районе 130–145 °С, а температура застывания – в районе 100–120 °С.

3. PP – полипропилен.

Из него обычно изготавливают пищевые контейнеры, шприцы, часто используется для изготовления инженерных пластмасс и т. д. Маркировка обозначается цифрой «5». Минимальная температура плавления полипропилена – 160 °С, однако для 3D-печати температура должна быть существенно выше.

Особенности использования в 3D-печати:

- Полипропилен прилипает к холодной области печати, поэтому рекомендуется использовать нагреваемые платформы.
- Полипропилен имеет большую усадку – от 1,3 до 2,4 %. Нужно учитывать, что подобный недостаток часто приводит к деформациям моделей.
- Несмотря на то, что полипропилен начинает плавиться при температуре 160 °С, комфортная печать может быть достигнута только при температуре от 220 °С и выше. Минимальная температура печати составляет 208–210 °С – дальнейшее понижение температуры ведет к проблемам с выдавливанием.

### Описание системы установок переработки пластика

Изучая материал в источниках открытого доступа, наша команда разработала конструкцию каждой установки системы переработки пластика.

1. Schroeder (шредер) – устройство для измельчения изделий из пластика в очень мелкие полоски или крошечные кусочки. Шредер представлен на рис. 2.

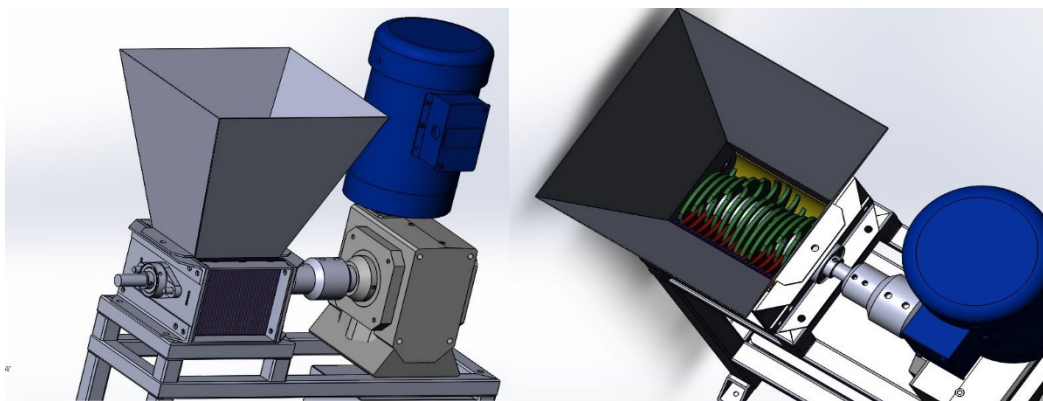


Рис. 2. 3D-модель шредера

2. Extrusion (экструдер) – устройство, работающее на принципе экструзии. Экструзия – технология получения изделий путем продавливания вязкого расплава материала через формующее отверстие.

Экструдер представлен на рис. 3.

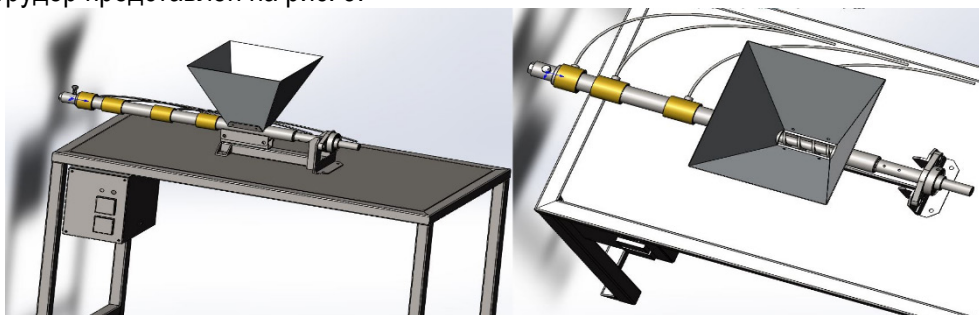


Рис. 3. Экструдер

### Описание процесса переработки пластика в материал для 3D-принтера

1. Дробление:
  - Подготовка к плавлению.
  - Уменьшение пространства, затрачиваемого для хранения сырья.
  - Ускорение и глубина протекания химической реакции (плавления).
  - Снижение применяемых температур и давлений.
  - Снижение энергозатрат и износа оборудования.
2. Плавление:
  - Возможность окраски пластика в момент плавления.
  - Придание пластмассе форму любой сложности, будь то формовка, вдавливание, либо вытягивание.
3. Отвердевание пластмассы:
  - Отвердевание пластмассы происходит при комнатной температуре, скорость процесса остывания зависит от размеров и формы детали, толщины, теплоемкости, материала и размеров формовочной детали.
    - Остужать пластиковую деталь при помощи отрицательной температуры не рекомендуется, так как пластик становится очень хрупким, что не подходит для материала 3D-принтера.
    - Ускорить процесс отвердевания пластика можно при помощи системы обдувки.

### Вывод

Данная статья дает основу для дальнейшей разработки образца 3D-принтера и установок для переработки пластика. Был произведен анализ свойств различных видов пластика для его дальнейшего использования и переработки.

Применение таких аппаратов позволит значительно улучшить экологическую обстановку как на территории отдельного населенного пункта, так и на территории целого региона. Системы переработки пластика такого рода отлично подойдут для домашнего использования или для использования малого бизнеса. Именно поэтому мы будем развивать данную тему и идею.

#### **Библиографический список**

1. *Дубовик О. Л.* Новое законодательство Европейского Союза о предотвращении загрязнения окружающей среды отходами, содержащими макро- и микрочастицы пластика // Международное право и международные организации / International Law and International Organizations. 2019.
2. *Становская А. В.* Переработка пластика как средство снижения загрязнения окружающей среды // НИРС БГЭУ: сборник научных статей. Вып. 7. Минск, 2018.
3. *Потапова Е. В.* Проблема утилизации пластиковых отходов // Бизнес-образование в экономике знаний. Иркутск, 2018.
4. *Сергиенко О. И.* Перспективы развития системы обращения с твердыми промышленными отходами. СПб.: НИУ ИТМО, 2017.
5. *Фроленок В. В.* Как спасти планету от пластика или первый шаг в ответственное развитие // Бизнес-образование в экономике знаний. Иркутск, 2018.

УДК 614.8.084:681.5

**Н. И. Гарматий**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**В. Е. Белай** – ассистент– научный руководитель

### АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Современная экономическая жизнь человека влечет за собой многочисленные риски, что сопровождается устойчивой тенденцией как роста количества чрезвычайных ситуаций (ЧС), так и увеличением от них экономического ущерба. По данным компаний лидеров по мировому страхованию количество техногенных аварий в мире выросло более чем в 6 раз за последние 30 лет. Среди всех масштабных катастроф техногенного характера 2/3 приходится на аварии на транспорте, еще 1/3 составляют крупные пожары на промышленных и энергетических объектах. Именно они приводят к поражению больших густонаселенных площадей, заражая местность радиацией, химическими и биологическими факторами. Ежегодно в России происходит в среднем более 800 ЧС техногенного и природного характера. Только радиационно-опасных объектов в нашей стране существует более полутора тысяч. В связи с этим возникает необходимость проведения пожарно-спасательных (ПС) и аварийно-восстановительных (АВ) работ в кратчайшие сроки с целью сокращения времени нахождения людей в опасных зонах, исключив возможность серьезных последствий ЧС. Для наибольшей эффективности и безопасности как спасателей, так и пострадавших аварийно-спасательные работы ведутся с использованием специальных робототехнических систем (РТС).

При исследовании были поставлены следующие цели:

- провести анализ научной литературы по данной тематике;
- выявить возможности современных РТС при ликвидации ЧС.

Согласно литературным данным основными факторами, влияющими на масштаб аварии, являются:

1. Человеческий фактор, который составляет 70 % среди всех причин катастроф и включает снижение уровня дисциплины работающих на опасных объектах и высокий уровень стрессогенного фактора в технологическом процессе.

2. Значительный износ промышленных предприятий, технологического оборудования.

Ниже представлена динамика количества пожаров (рис. 1) и динамика количества погибших людей при пожарах (рис. 2).

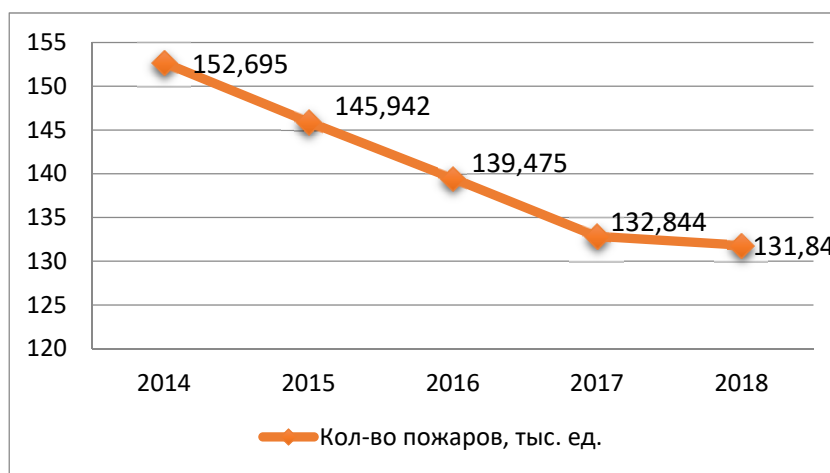


Рис. 1. Динамика количества пожаров в РФ за 2014–2018 годы



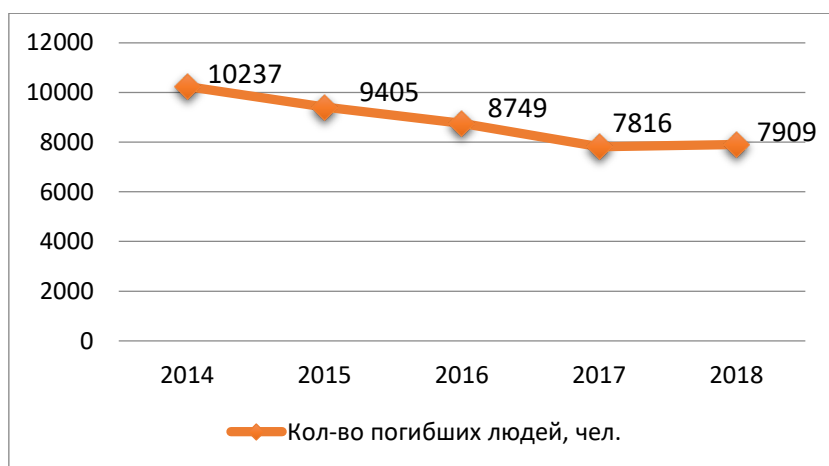


Рис. 2. Динамика количества погибших людей при пожарах в РФ за 2014–2018 годы

Согласно этим данным [1] можно с уверенностью сказать, что за последние годы наблюдается четкая динамика уменьшения количества пожаров у нас в стране на 5 % с уменьшением количества погибших на 10 % (исключая 2018 г.). Можно предположить, что эта положительная тенденция связана с улучшением мер пожарной безопасности (ПБ) и с введением в службу спасения РТС.

Однако одной из важных особенностей современных ЧС являются не только их резкий взлет в количественном отношении, но и масштаб экономического ущерба, а также устойчивый рост пострадавших при сокращении погибших.

Начиная с 2016 года [5] разрабатываются пожарные системы, направленные на совершенствование пожарно-спасательных технологий (ПСТ), основанных на применении робототехнических комплексов (РТК) с адаптивными системами ИИ, работающих в единой информационно-управляющей сети.

**Тактика.** Для применения РТС на пожаре учитываются много факторов: от свойств местности, локализации и способов ликвидации пожара до оперативной обстановки на объекте ЧС [3].

Оснащение РТС огнетушащими средствами (ОТС) следует планировать последовательно согласно схеме (рис. 3). Во-первых, разрабатываются способы поставки ОТС от места хранения до места пожаротушения в достаточном количестве для функционирования всех пожарных подразделений (ПП). В целом границы I этапа задаются от водоисточника (позиция 1) до места установленного разветвления (позиция 4). В зависимости от выбранного способа снабжения ОТС и оперативной обстановки на пожаре возможно изменение границ [3].

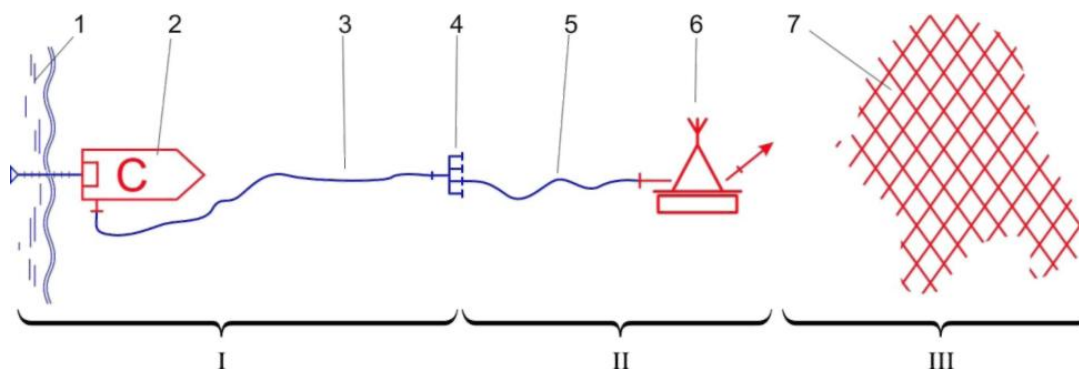


Рис. 3. Принципиальная схема водоснабжения: этап I – поставка воды от хранилища к источнику возгорания; этап II – поставка ОТС к РТС; этап III – подача ОТС в зону горения; 1 – водоисточник; 2 – насосная станция; 3 – магистральная линия; 4 – разветвление; 5 – рабочая рукавная линия; 6 – РТС; 7 – зона горения

**Тактические возможности.** Применение РТС при пожаротушении связано с потребностью повышения тактических возможностей ПС подразделений.

Тактические возможности РТС определяются из таких показателей, как [3]:

- возможная продолжительность времени работы РТС в зоне повышенной опасности;
- возможные площадь и объемы пожаротушения;
- схемы подачи ОТС.

Особенно это важно для подразделений, работающих в зоне повышенного воздействия опасных факторов пожара. Применение РТС позволяет повысить уровень защиты, увеличить возможности тактических маневров ПС подразделений, а также ориентирования на местности в разных условиях (задымление, загазованность, воздействие тепловых потоков и другие помехи). РТС призваны заменить личный состав и незащищенную пожарную технику при выполнении оперативных задач, находящихся за пределами человеческих возможностей или в случае угрозы жизни и здоровью людей.

Все пожары представляют собой бедствие с определенным набором общих характерных явлений и их параметров, позволяющие определять основные направления и способы использования сил и средств ПП. Далее представлены основные технические возможности РТС, за счет правильного использования которых возможно повысить тактические возможности ПП при тушении пожаров:

- возможность повышения точности и скорости выполнения указанного ряда действий в сравнении с ОТС;
- улучшение уровня защиты людей от воздействия опасных факторов пожара (ОФП) установленными на борту РТС средствами защиты, а также за счет удаления оператора и всей спасательной группы на безопасное расстояние от очага возгорания;
- увеличение времени работы РТС в сравнении с ОТС;
- повышенная точность подачи ОТС в зону активного горения, способствующая уменьшению излишних потерь ОТС и снижению материального ущерба от пожара;
- улучшение общего уровня управления ПП при пожаротушении за счет тактических возможностей РТС и сокращение рабочего состава, находящегося недалеко от зоны активного горения;
- повышение за счет группового использования РТС по сравнению с одиночным применением РТС, особенно актуально при тушении масштабных пожаров.

Объективно оцененные тактические возможности и правильно определенная тактика тушения пожара позволяют грамотно использовать РТС на пожаре. Каждый пожар по своей природе носит случайный всепоглощающий характер, состоящий из разноплановых событий и явлений (например, изменение скорости и направления ветра при пожаре). В связи с этим, к сожалению, невозможно однозначно предсказать развитие ситуации во всех деталях, создавать алгоритмы для РТС, способные учитывать все возможные обстоятельства или большую их часть. Стоит отметить технические особенности РТС, наличие которых пагубно влияет на общие тактические возможности ПП при пожаротушении [3]:

- автономность РТС, обусловленная наличием алгоритмов, исключает возможность корректных действий при возникновении новой для РТС обстановки;
- зависимость РТС от надежности сложных электронных систем;
- ограниченные возможности перемещения, связанные со спецификой конструкции РТС (масса, габариты, проходимость базового шасси и пр.).

*РТС.* На сегодняшний день ВНИИПО МЧС России используют три пожарных РТС: МРК-РП, LUF-60 (Австрия), ЕЛЬ-4 (Россия, Хорватия) [4].

*Мобильный робототехнический комплекс разведки и пожаротушения (МРК-РП)* предназначен для тушения очагов пожара локального характера и осуществления разведки, ликвидации последствий ЧС с наличием химического и радиационного загрязнения, связанных угрозой для жизни состава ПП. В соответствии с *тактико-техническими характеристиками (ТТХ)* в задачи МРК-РП входит: подача в очаг пожара ОТС (рис. 4, 5); использование манипулятора, схвата и набора сменных губок при проведении аварийно-спасательных работ; осуществление разведки в труднодоступных местах, проходя барьеры и другие препятствия. К оборудованию данного комплекса относится система видеонаблюдения, которая предоставляет оператору возможность управлять РТС на безопасном расстоянии от ЧС, в частности пожара, проводить аварийно-спасательные работы (АСР).



Рис. 4. Испытания робота МРК-РП при тушении пожара водой



Рис. 5. Испытания робота МРК-РП при тушении пожара пеной

Пожарная вспомогательная РТС LUF 60 отлично подходит для проведения операций по тушению пожаров, где типовые стратегии могут быть использованы с большим трудом (в железнодорожных или автодорожных туннелях, в метрополитене, на промышленности). Данная РТС обладает высокими техническими характеристиками касательно конструкции, эксплуатации и обслуживания. Дистанционно-управляемая система LUF 60 обеспечивает возможность работы ПС и АВ команд в экстренных условиях, где применяется водный тушащий эффект, представляющий собой «завесу из водяного тумана» (рис. 6а), охватывающую расстояние более 60 м. Кроме того, стоит отметить высокую устойчивость машины за счет точного маневрирования гусеничный ходового механизма в труднодоступных местах, возможность устранения подвижных препятствий и преодоление лестниц.

«Ель-4» — противопожарная РТС для работы в зоне повышенной опасности, которая предназначена для таких задач, как пожаротушение, проведение АСР и специальных работ в условиях ЧС (рис. 6б) на открытых участках местности, промышленных и складских объектах, а также демонтажа строительных конструкций для доступа к очагу возгорания. РТС оснащена дизельным двигателем мощностью 170 л/с, насосной станцией, потребляющей 20 л/с, манипулятором с лафетным стволом, емкостью для ОТС на 2000 кг, что благоприятно сказывается на тушении эпицентра пожара. Особую роль при ликвидации ЧС оказывает использование манипулятора для проведения АСР, когда есть различного рода заграждения и барьеры. «Ель-4» может освобождать проходы и перемещать грузы благодаря наличию ножа на бульдозерный отвал и гидравлического хвата. Оператор использует пульт, с помощью которого осуществляется управление данной машиной посредством установленных на роботе видеокамер.

Анализируя перспективные РТС для аварийно-спасательных работ, нельзя не упомянуть о проекте ICARUS, который ориентирован на развитие беспилотных технологий поиска и спасения для обнаружения, локализации и спасения людей. С целью обезопасить личный состав ПП внедряют дистанционно управляемые поисково-спасательные аппараты в качестве первых разведчиков территории [2].



Рис 6: а – испытания РТС LUF 60 с использованием пожарной пены;  
б – тушение пожара на военном складе под г. Ачинск посредством РТС «Ель-4»

Были разработаны два типа беспилотных наземных платформ: малая и большая. Первая предназначена для поиска пострадавших в труднодоступных местах. Вторая представляет собой мобильную базу для предыдущей с возможностью дистанционного зондирования и трансляции полученных данных оператору, а также для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), что позволит ускорить процесс исследования больших территорий.

Управление роботами для поиска и спасения может быть организовано индивидуально или совместно. РТС должны быть сопряжены между собой и с базой с помощью беспроводной самоорганизующейся когнитивной сети узлов мобильной связи и оснащены широким набором датчиков и сенсоров. На базовой станции данные обрабатываются и сопоставляются с геоинформационной системой, тем самым повышая ситуационную осведомленность персонала, работающего локально.

Эксплуатация наземных ТС данного проекта имеет несколько достоинств для ПС операций: преждевременное обнаружение пожарной опасности, безопасный сбор данных; динамическое планирование траектории движения.

*Рой роботов (социальные роботы).* Для повышения тактических возможностей внедряется групповое применение РТС, в частности «роевой подход», который представляет собой новый подход к координации множества простых в своем устройстве РТС. Формирование коллективного поведения – это взаимодействие РТС друг с другом и окружающей средой посредством так называемого роевого поведения. Такой рой состоит из большого количества роботов и использует только локальную связь, которая может быть создана, например, на базе беспроводных систем передачи данных в инфракрасном или радиочастотном диапазоне [2].

При взаимодействии по локальной связи роботы создают так называемый роевой (искусственный) интеллект (рис. 7). Анализ данных производится за счет считывания поступающей информации с сенсоров, что позволяет планировать и принимать решения для дальнейших действий роя [6].

Одним из возможных применений роевой робототехники является спасение людей. Например, при ликвидации последствий землетрясений можно использовать рой в нескольких стадиях: разведка (крошечные РТС), расчистка территории (малые/средние РТС) и аварийно-спасательные работы (большие РТС), то есть проникновение под обломки с поиском выживших, ликвидация обломков с целью расчистить объект и операция по спасению человека соответственно.

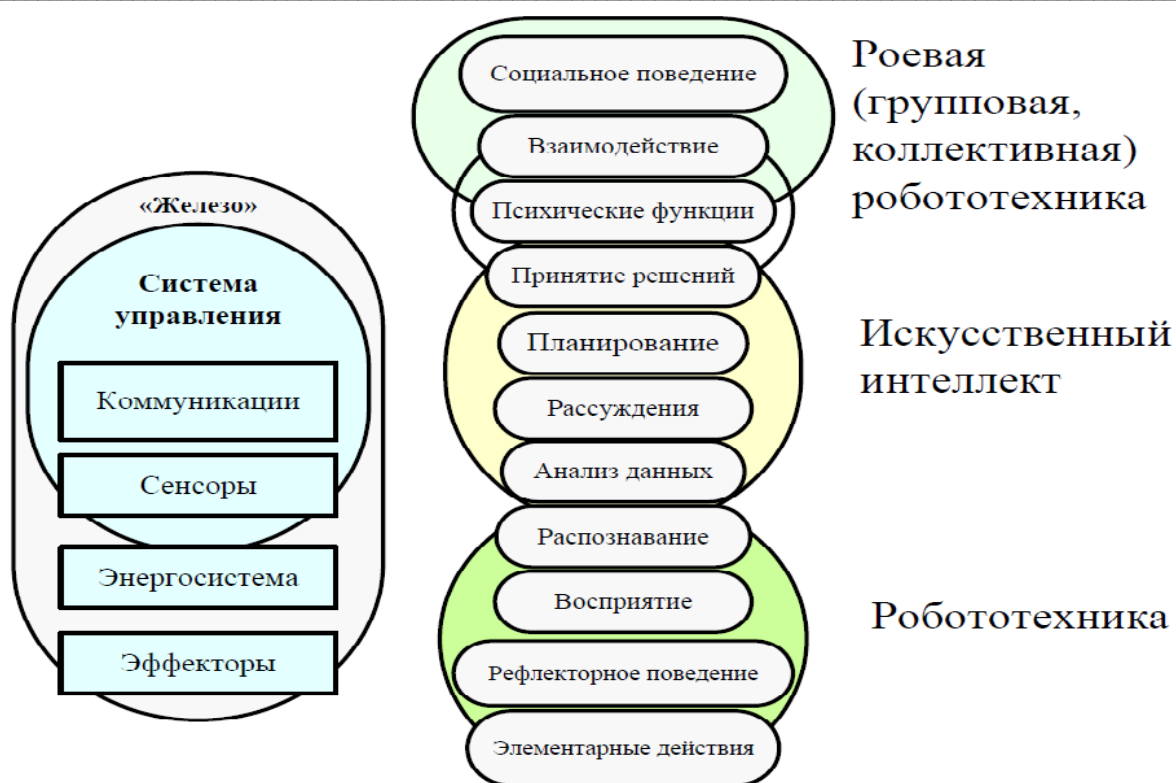


Рис. 7. Пример распределения задач и зон ответственности в групповой робототехнике

Таким образом, с целью обеспечения безопасности личного состава при ликвидации аварий с высоким уровнем опасности приоритетным является разработка методик пожаротушения с использованием безлюдных технологий для минимизации рисков поражения. В области создания аварийно-спасательных роботов необходимо концентрироваться на дистанционно управляемых РТС и групповых структурах (роевой робототехнике). На примере наиболее продвинутых моделей роботов демонстрируются широкие возможности по ликвидации последствий ЧС и оказанию неотложной помощи. Следовательно, РТС – это единственное эффективное средство при проведении спасательных действий при ликвидации ЧС, когда пожар развивается до крупных размеров и при угрозе возникновения катастрофических разрушений.

#### Библиографический список

1. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: статистический сб. / Под общей ред. Д. М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2019. 125 с.
2. Мотиенко А. И. Модели и методики поддержки принятия решений о спасении пораженных в результате аварий на опасных производственных объектах. СПб.: СПИИРАН, 2016. С.144.
3. Методические рекомендации по тактике применения наземных робототехнических средств при тушении пожаров. М.: ВНИИПО, 2015. 39 с.
4. Северов Н. В., Байков А. В. Применение робототехнических средств МЧС России для ликвидации последствий техногенных чрезвычайных ситуаций // Вестник Кыргызско-российского славянского университета. 2012. Т. 12. № 7. С. 134–138.
5. Применение робототехнических комплексов специального назначения: сб. трудов секции № 5 «Предотвращение. Спасение. Помощь», 21 марта 2019 года. ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России. 2019. 142 с.
6. Карнов В. Э. Модели социального поведения в групповой робототехнике. НИЦ Курчатовский институт. М., 2016. С. 27.

УДК 338.4

**Л. Р. Гизатуллина**

студентка института инновационных технологий в электромеханике и робототехнике

**В. А. Семенова** – кандидат экономических наук – научный руководитель

### **МЕТОДЫ И ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

Актуальность кадровой политики предприятия с каждым годом набирает обороты, так как на сегодняшний день от правильно сформулированной и выстроенной модели мотивации сотрудников зависит, какое в дальнейшем будет развитие предприятия.

Кадровая политика заключается в работе с персоналом, которая соответствует концепции развития предприятия, то есть кадровая политика является составной частью стратегически ориентированной политики предприятия [1].

Грамотно подобранные методы к формированию системы мотивации дают возможность предприятию привлекать и удерживать квалифицированных сотрудников.

Рассмотрим основные понятия: мотивация, мотив, кадровая политика, система.

Понятия мотивация не имеет единого четко сформированного определения, так как многие авторы, опираясь на основную базу, добавляют свое видение данного термина. Так, например, А. А. Анисимов определил мотивацию как процесс осознанного предпочтения человеком того или иного типа поведения, определяющийся комплексным влиянием факторов.

Рассмотрим и проанализируем принципы и методы формирования кадровой политики на предприятии, ответим на пару насущных вопросов: есть ли единое мнение, что такое мотивация? На какие принципы опираются для создания кадровой политики? Как влияет грамотно поставленная кадровая политика на показатели и состояние предприятия в целом?

По мнению Т. С. Гермаш, одной из центральных функций деятельности любого руководителя является мотивация, поскольку за счет нее оказывается воздействие на персонал предприятия.

К. В. Маечев считает, что мотивация является процессом побуждения себя и других к работе для достижения личных целей или целей организации.

В основе мотивации находятся потребности человека, преобразующиеся в мотивы. Мотив, в отличие от мотивации, – это то, что принадлежит самому субъекту поведения, является его устойчивым личностным свойством, изнутри побуждающим к совершению определенных действий.

Кадровая политика предприятия – это целостная стратегия работы с персоналом, объединяющая различные элементы и формы кадровой работы, имеющая целью создание высокопроизводительного и высокопрофессионального, сплоченного и ответственного коллектива, способного гибко реагировать на изменения внешней и внутренней среды.

Основополагающими принципами формирования кадровой политики являются:

- научность, использование всех современных научных разработок в этой области, которые могли бы обеспечить максимальный экономический и социальный эффект;
- комплексность, когда должны быть охвачены все сферы кадровой деятельности;
- системность, то есть учет взаимозависимости и взаимосвязи отдельных составляющих этой работы;
- необходимость учета как экономического, так и социального эффекта, как положительного, так и отрицательного влияния того или иного мероприятия на конечный результат;
- эффективность: любые затраты на мероприятия в этой области должны окупаться через результаты хозяйственной деятельности.

Оценка эффективности кадровой политики предприятия является одной из основных задач современного менеджмента, результатом которой является анализ эффективности проводимых кадровых мероприятий. Данный анализ позволит определить, является ли она целесообразной, благоприятной и плодотворной. К основным методам относятся качественный и количественный подход [2].

Количественный подход основан на стоимостных и натуральных показателях. Данные показатели подразделяются на несколько категорий, которые указаны в табл. 1.

Таблица 1

### Количественный подход к кадровой политике предприятия

Стратегические задачи предприятия	Основные направления кадровой политики	Показатели эффективности кадровой политики
Ежегодный прирост прибыли	Привлечение квалифицированных специалистов	Укомплектованность кадрового состава; затраты на подбор персонала
Эффективное функционирование предприятия	Развитие персонала	Семинары по обучению персонала; ежегодный тест на профпригодность; наличие преемников для замещения ключевых должностей
Операционная эффективность	Эффективность персонала	Коэффициент производительности труда

Качественный подход основан на методах экспертной оценки. К ним можно отнести индекс удовлетворенности труда, результаты проверок государственными органами в сфере соблюдения трудового законодательства, оценку руководства деятельности кадрового состава, количество реализованных проектов кадрового подразделения компании. Также рассмотрим SWOT-анализ, ранжирование и оценивание.

Большой популярностью экспертной оценки пользуется метод SWOT-анализ, а именно простота и универсальность данного метода. Главная составляющая SWOT-анализа – выявление слабых и сильных сторон предприятия, а также возможности и угрозы.

Таблица 2

### SWOT-анализ электроэнергетического предприятия

<p>Сильные стороны персонала:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>развитая система управления персоналом;</li> <li>высокий уровень компетентности руководителей;</li> <li>высокая проектная активность сотрудников;</li> <li>активное внедрение новых образовательных технологий</li> </ul>	<p>Слабые стороны персонала:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>отсутствие системы повышения квалификации сотрудников;</li> <li>отсутствие эффективной системы мотивации;</li> <li>отсутствие необходимой управленческой подготовки у руководителей структурных подразделений</li> </ul>
<p>Благоприятные возможности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>инновационные процессы в системе образования;</li> <li>информатизация образовательных научных и управленческих технологий;</li> <li>расширение спектра новых программ по повышению квалификации</li> </ul>	<p>Угрозы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>дефицит государственного финансирования;</li> <li>усиление конкуренции по всем видам деятельности;</li> <li>утечка высококвалифицированных кадров</li> </ul>

После составления SWOT-анализа проводим сравнительный анализ сильной стороны и возможности, где выявляем, как задействовать возможности, чтобы переросли в сильные стороны предприятия. Также анализируем слабые стороны и угрозы, которые дают понять, как внутренние и внешние источники воздействия, неблагоприятно влияющие на предприятие [3].

Еще один из популярных методов экспертной оценки – ранжирование, или метод ранговой оценки. В данном методе идет привлечение независимых экспертов, которые в бальной школе оценивают состояние как предприятия в целом, так и его отдельные системы.

С помощью ранжирования можно создать рейтинг кадрового состава: насколько эффективен данный сотрудник, каков его KPI, нуждается ли в повышении квалификации. Все эти критерии поз-

воляют увидеть предприятию, насколько эффективна работа как конкретного сотрудника, так и отдела в целом.

Также отметим, что в настоящее время активными шагами идет развитие инновации как в экономической сфере, так и в сфере мотивации.

Инновационная система мотивации включает в себя индивидуальный подход, моральные, психологические и организационные методики.

В индивидуальном подходе основополагающей системой была выбрана нематериальная, поскольку в нем упор делается на поощрение сотрудника с помощью похвалы, наград, восхваления как перед самим собой, так и перед коллективом, тем самым мотивируя его на дальнейшие задачи, поставленные предприятием [4].

Подход моральной и психологической системы включается в себя цель на выявления лидерских качеств в сотрудниках, что не маловажно для руководящей должности, а также психологические тренинги и социальные проблемы, через которые может действовать предприятия как стимул для сотрудников.

Организационный подход включает в себя планерки, отчеты о проделанной работе, а также составление плана развития сотрудника для дальнейшей работы на предприятии.

Не будем исключать и базовые методики, на которые опираются все нововведения. К материальному методу отнесем: премии, оплату медицинских и социальных страховок, оплачиваемый отпуск, компенсацию предприятием затрат на дорогу до работы, путевки в санаторий, льготное приобретение продукции предприятия, бесплатные билеты на культурно-массовые мероприятия и улучшение условий труда [5].

К нематериальным методам относятся наличие обратной связи сотрудник – работодатель, всевозможные виды похвалы в виде грамот, поощрительных писем и благодарностей, создание престижа предприятию, взыскания.

Таким образом, рассмотрев принципы и методы кадровой политики электроэнергетических предприятий, можно сделать вывод, что у каждого автора будет свое понимание мотивации. В целом мотивация – это процесс формирования методов для создания единой системы побуждения сотрудников к достижению общей цели.

Основой всех методов является материальные и нематериальные принципы, от которых уже идет преобразование инновационных и современных методов. А основополагающими принципами выступают системность подхода, учет экономического и социального эффектов от запланированных мероприятий, научная новизна и комплексность кадрового состава предприятия.

### Библиографический список

1. Кибанов А. Я. Кадровая политика и стратегия управления персоналом. М.: Проспект, 2015. 539 с.
2. Знаменский Д. Ю., Омельченко Н. А. Кадровая политика и кадровый аудит организации. М.: Юрайт, 2017. 368 с.
3. Одегов Ю. Г. Кадровая политика и кадровое планирование. М.: Юрайт, 2017. 178 с.
4. Цветаев В. М. Управление персоналом. М.; СПб, 2015. 192 с.
5. Михайлина Г. И., Матраева Л. В. Управление персоналом: учеб. пособие. М.: Дашков и К°, 2016. 280 с.



УДК 621.3:681.5

**А. Р. Горлач, Я. А. Горлач**

студенты кафедры электропривода\*

**Л. Н. Языкова** – старший преподаватель – научный руководитель\*

\*Липецкий государственный технический университет

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ VISSIM И MATLAB/SIMULINK

Современная инженерия идет в ногу с научно-техническим прогрессом. Расширяется область деятельности, ставятся новые задачи, которые необходимо решать. Для этого используются новые средства, список которых также регулярно увеличивается. Такое разнообразие позволяет инженеру выбрать, чем пользоваться исходя из большого количества факторов: эргономичности, сферы применения, актуальности инструмента и др. В данной статье мы рассмотрим наиболее популярные: VisSim и Matlab/Simulink.

VisSim (Visual Simulator) – это система динамического моделирования, предназначенная для исследования переходных и установившихся процессов динамических систем с применением визуальных средств моделирования. Данная программа позволяет создать модель (в том числе многоуровневую) из разнообразных блоков, которые можно выбрать из имеющейся библиотеки или при достаточных навыках создавать новые, удовлетворяющие собственным нуждам. Благодаря этим возможностям можно решить большое количество задач. При этом не требуется знание языков программирования высокого уровня [1, 2]. На рис. 1 изображено последовательное соединение двух А-звеньев, охваченных отрицательной обратной связью, смоделированное в VisSim.

Matlab – это пакет прикладных программ для решения инженерных задач любой сложности. Simulink – это инструмент для моделирования и анализа динамических систем в виде графов при помощи блоков из встроенных библиотек (принцип так называемого визуального программирования).

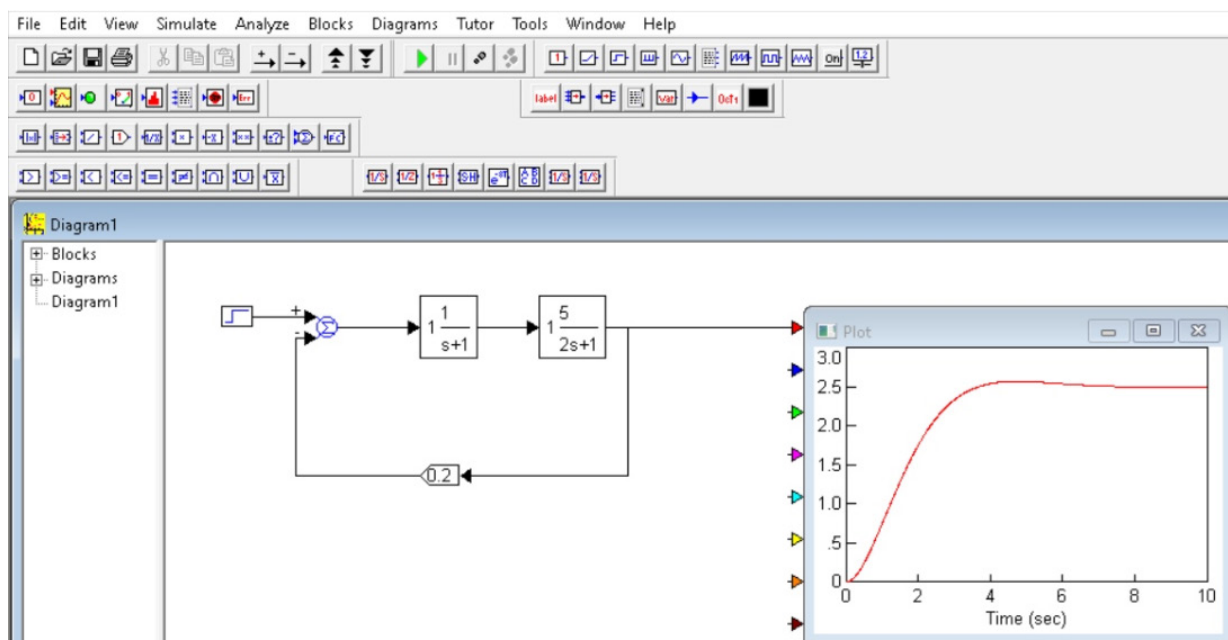


Рис. 1. Последовательное соединение двух А-звеньев, охваченных отрицательной обратной связью, смоделированное в VisSim

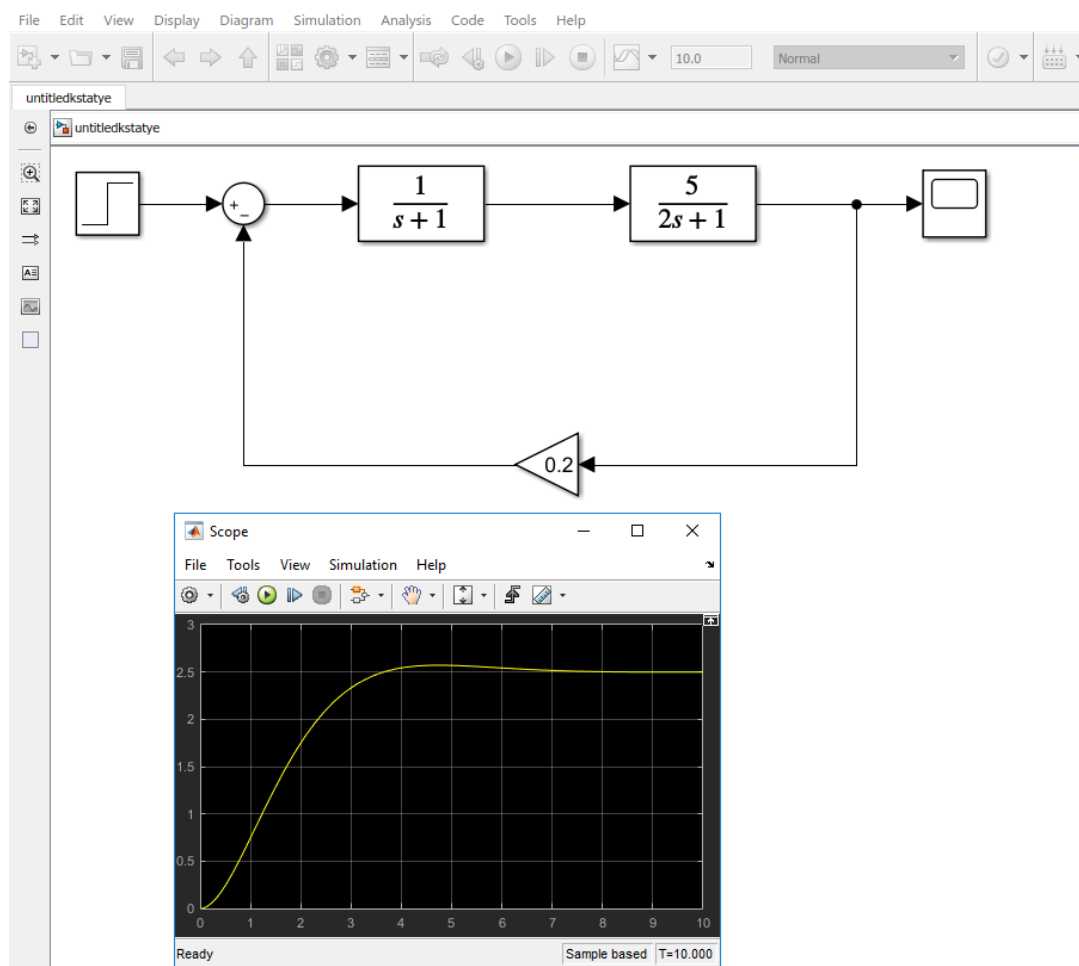


Рис. 2. Последовательное соединение двух А-звеньев, охваченных отрицательной обратной связью, смоделированное в Matlab/Simulink

Так же, как и в VisSim, здесь можно создавать собственные блоки [2–4]. Сама компания MathWorks также заявляет о взаимодействии с другими программами для моделирования и средствах интеграции готовых алгоритмов в модель. Все это позволяет решать множество задач – от разработки небольших моделей до тестирования сложных систем. На рис. 2 изображено последовательное соединение двух А-звеньев, охваченных отрицательной обратной связью, смоделированное в Matlab/Simulink.

*Сравнительный анализ.* Проанализировав обе программы, можно сделать следующие выводы:

- для работы с данными инструментами пользователю достаточно общих знаний, требующихся при работе на компьютере, а также знаний в той предметной области, в которой он работает;
- Matlab/Simulink и VisSim имеют возможность генерации кода на C, что позволяет использовать полученную модель в других программах как готовый продукт;
- одна из основных особенностей Simulink – интегрированность в среду Matlab, что дает возможность использовать различные библиотеки и подпрограммы;
- интерфейс Matlab/Simulink интуитивно понятнее за счет схожести с интерфейсом Microsoft Office.
- Matlab/Simulink доступен для трех наиболее популярных операционных систем – Windows, Linux, macOS, VisSim – только для Windows;
- последняя стабильная версия VisSim была выпущена в 2015 году, в то время как Matlab/Simulink обновляется регулярно;
- существенным недостатком обоих инструментов является их дороговизна [5, 6].

*Результаты.* Опираясь на проведенный анализ, можно сделать вывод что Matlab/Simulink и VisSim являются удобными, популярными и многофункциональными программами, однако у обеих были выявлены минусы (например, высокая цена), что позволяет другим программным продуктам конкурировать с ними. Несмотря на недостатки, Matlab/Simulink и VisSim благодаря ключевым аспектам удобства и функциональности являются наиболее популярными инструментами для решения задач современной инженерии.

#### Библиографический список

1. *Дьяконов В. П.* VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. М., 2008. 384 с.
2. *Карпов А. В., Калабанов С. А., Шагиев Р. И.* Современные программные средства структурно-функционального и схемотехнического моделирования. Казань, 2013. 36 с.
3. *Дьяконов В. П.* MATLAB. Полный самоучитель. М., 2011. 768 с.
4. *Потемкин В. Г.* Система инженерных и научных расчетов Matlab 5x. М., 2006. 309 с.
5. Официальный сайт Matlab. URL: <https://matlab.ru/> (дата обращения: 13.01.2020).
6. Официальный сайт VisSim. URL: <http://ptv-vision.ru/> (дата обращения: 13.01.2020).

УДК 621.314

**А. В. Григорьев**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**А. А. Мартынов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИНВЕРТОРА С ШИМ**

Применение широтно-импульсной модуляции (ШИМ) в автономном инверторе напряжения (АИН) позволяет формировать на выходах достаточно синусоидальные токи и напряжения.

АИН имеют наилучшие внешние и регулировочные характеристики.

Для того чтобы рассчитать АИН для тягового двигателя трамвая, нужно определиться с некоторыми исходными данными:

- Напряжение сети  $U_c = 550$  В;
- Мощность асинхронного двигателя.

Выбираем трехфазный асинхронный тяговый двигатель АТЧД-225.

Таблица 1

**Технические характеристики трехфазного асинхронного тягового двигателя АТЧД-225**

Номинальный режим работы	S1 – Продолжительный номинальный режим
Число полюсов	4
Коэффициент полезного действия (КПД)	91,8–93,0 %
Номинальный ток (I <sub>ном</sub> )	88,1–120,0 А
Метод охлаждения	IC0141 по ГОСТ 20459
Исполнение по степени защиты	IP22, IP54
Монтажное исполнение	IM9405
Высота оси вращения	225
Вес	300–320 кг
Мощность, кВт	54
Напряжение, В	345
Частота тока, Гц	60
Частота вращения, г.р.м	1800
Коэффициент мощности	0,76

Расчет инвертора напряжения АИН

Максимальный ток через ключи инвертора определяется из выражения:

$$I_{c.max} = \frac{P_H * k_1 * \sqrt{2} * k_2}{\eta_n * \cos \varphi * \sqrt{3} * U_n},$$

где  $P_H$  – номинальная мощность двигателя, Вт;  $k_1 = (1,2–1,5)$  – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимой для обеспечения динамики электропривода;  $k_2 = (1,1–1,2)$  – коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока;  $\eta_n$  – номинальный КПД двигателя;  $U_n$  – линейное напряжение двигателя, В.

Принимаем:

$$P_H = 54000 \text{ Вт}$$

$$k_1 = 1,2$$

$$k_2 = 1,1$$

$$\eta_n = 0,92$$

$$U_n = 345 \text{ В}$$

$$I_{c.\max} = \frac{P_H \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_H \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{54000 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1}{0,92 \cdot 0,76 \cdot \sqrt{3} \cdot 345} = 241,269 \text{ A.}$$

Значение напряжения на входе частотного преобразователя:  $U_{d0} = 550 \text{ В}$ .

Выбираем SiC-транзисторы или IGBT-модуль при условии  $I_c \geq I_{c.\max}$  и  $U_{ce} \geq U_{d0}$ .

Выбираем 6 модулей FZ400R12KP4 с параметрами:

Напряжение коллектор-эмиттер  $U_{ces} = 1200 \text{ В}$

Ток коллектора  $I_c = 800 \text{ А}$ .

Далее будем моделировать переходный процесс в системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД) с помощью программного обеспечения MATLAB.

На рис. 1 показана модель для симуляции переходного процесса, которая состоит из блоков: step, gain, sign, product, add, transfer fcn., scope.

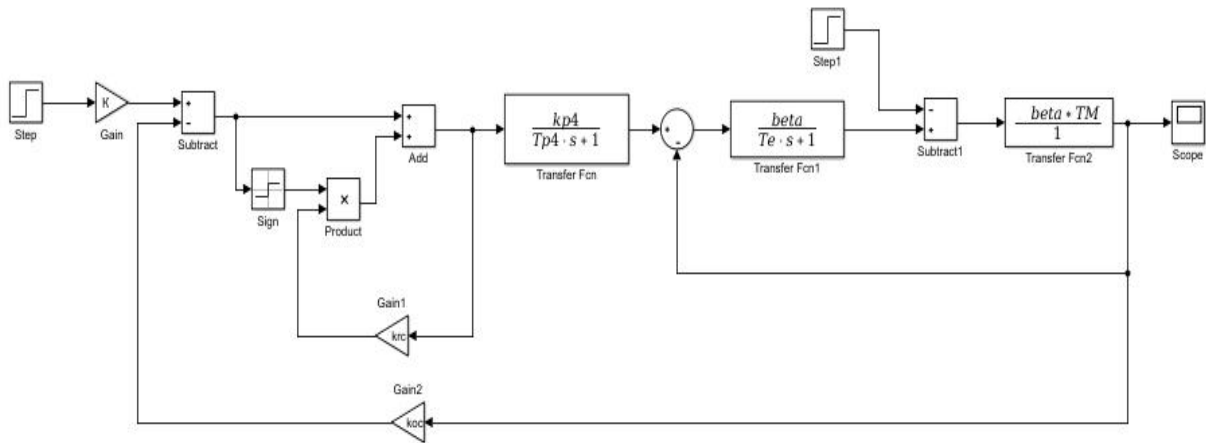


Рис. 1. Модель ПЧ АД в SIMULINK

Код m-файла в Matlab

% исходные данные

clc;

clear;

J = 0,5 % (кг/м<sup>2</sup>)

PN = 54 000; % номинальная мощность (Вт)

fc = 60; % частота питающей сети (Гц)

UzcN = 10; % напряжение задания (В)

KPD = 92; % КПД двигателя

pp = 2; % число пар полюсов

MkMN = 2.2;

ah = 2;

% расчеты параметров

% скорость вращения магнитного поля (об./мин)

n = 1800;

% скорость вращения магнитного поля (рад/с)

w0 = (n\*2\*pi)/60;

% номинальное скольжение

sN = 0.015;

% скорость вращения ротора (рад/с)

w = w0\*(1-sN);

% номинальный момент двигателя

```

MN = PN/w;
% критический момент
Mk = MN*MkMN;
% Ф. Клосса
sk = sN*(Mk/MN + sqrt((Mk/MN)^2-1));
% модуль жесткости механической характеристики;
beta = 2*Mk/(w0*sk);
% эквивалентная электромагнитная постоянная времени
Te = 1/(w0*sk);
% коэффициент изменения скорости
kw = 2*pi/pp;
% электромеханическая постоянная времени ЭП
TM = J*w0*sk/(KPD*Mk);
kp4 = w0/UzcN;
kf = w0*pp/(2*pi*UzcN); % коэффициент преобразования сигнала
koc = UzcN/w;
T1 = TM/2*(1+sqrt(1-4*Te/TM));
T2 = TM/2*(1-sqrt(1-4*Te/TM));
krc = T1/(kf*kw*koc*2*T1) % коэффициент усил. регул.
Tp4 = 0,001 % неком. пост. врем.
Tjd = T1 + T2;
% вывод рассчитанных данных в диалоговое окно
disp ('скорость вращения магнитного поля [рад/с]');
disp (w0);
disp (' ');
disp ('номинальное скольжение');
disp (sN);
disp ('% номинальный момент двигателя');
disp (MN);
disp (' ');
disp ('критический момент');
disp (Mk);
disp (' ');
disp ('Ф. Клосса');
disp (sk);
disp (' ');
disp ('модуль жесткости механической характеристики');
disp (beta);
disp (' ');
disp ('эквивалентная электромагнитная постоянная времени');
disp (Te);
disp (' ');
disp ('коэффициент изменения скорости');
disp (kw);
disp (' ');
disp ('электромеханическая постоянная времени ЭП');
disp (TM).
Подставим полученные значения в требуемые блоки.

```

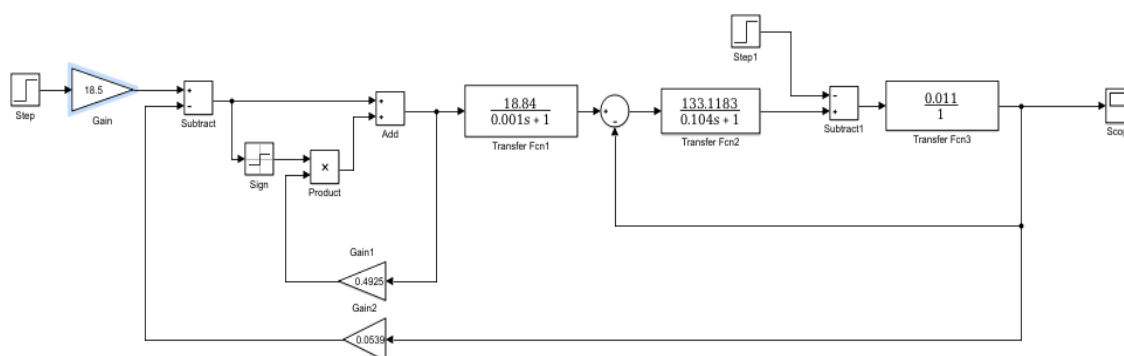


Рис. 2. Модель ПЧ-АД в SIMULINK с найденными значениями

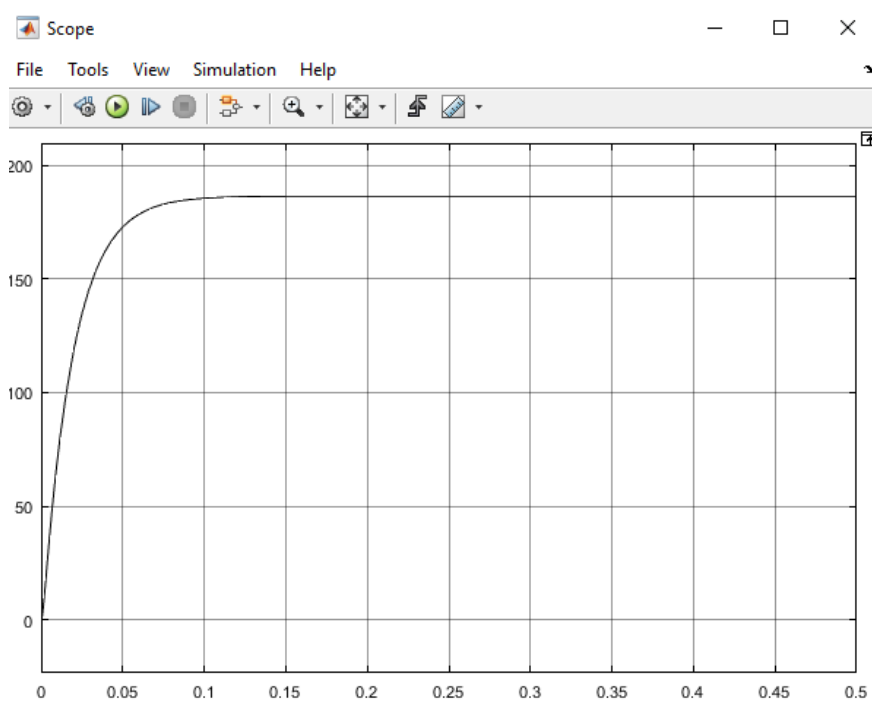


Рис. 3. Переходный процесс скорости в системе ПЧ-АД

В ходе симуляции получили переходный процесс системы, который имеет высокое быстродействие, малое перерегулирование и хорошую плавность хода. Данные параметры удовлетворяют условиям для асинхронного тягового электропривода трамвая.

### Библиографический список

1. Мартынов А. А. Проектирование и эксплуатация полупроводниковых преобразователей для электромехатронных систем: учебно-метод. пособие. СПб.: ГУАП, 2018. 122 с.
2. Шадхин Ю. И., Тойгожинова Ж. Ж. Определение передаточной функции замкнутой нелинейной системы преобразователь частоты-асинхронный двигатель с помощью MATLAB. / Алма-Атинский университет энергетики и связи, 2017. С. 220–224.

УДК 621.314

**А. В. Григорьев**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**А. А. Мартынов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКОВ

Технологии в силовой электронике все время совершенствуются и развиваются. В настоящее время используются биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) и полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET).

Проектируя силовой высокочастотный преобразователь для электропривода, разработчику нужно задумываться о выборе транзистора между MOSFET и IGBT, которые оба управляются напряжением, прикладываемым к затвору, а не током, как биполярные транзисторы. Использование разнообразных технологий изготовления позволяет охватить большой диапазон напряжений, токов, быстродействий и выбрать MOSFET или IGBT с наиболее выгодными параметрами.

Биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT) является продуктом развития технологии силовых транзисторов MOSFET и совмещает в себе два транзистора в одной полупроводниковой структуре: биполярный и полевой. Совмещение двух приборов в одной структуре позволило объединить преимущества полевых и биполярных транзисторов: высокое входное сопротивление с высокой токовой нагрузкой и малым сопротивлением во включенном состоянии. Упрощенная эквивалентная схема IGBT транзистора представлена на рис. 1.

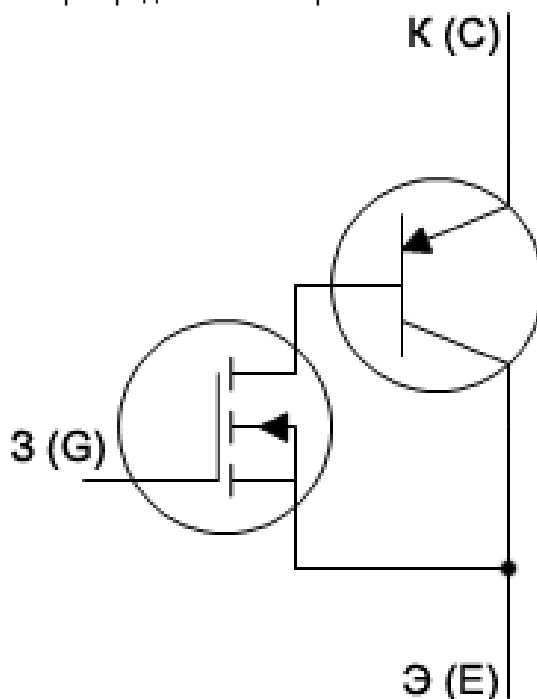


Рис. 1. Упрощенная эквивалентная схема IGBT транзистора

Для IGBT с напряжением в диапазоне 600...1200 В в полностью включенном состоянии прямое падение напряжения так же, как и для биполярных транзисторов, находится в диапазоне 1,5...3,5 В. Это значительно меньше, чем характерное падение напряжения на силовых MOSFET в проводящем состоянии с такими же номинальными напряжениями [1].

Технические характеристики IGBT с малым падением напряжения представлены в табл. 1, где:  $V_{(BR)CES}$ , В – напряжение коллектор-эмиттер;  $I_{C(cont)}$ , А  $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  – номинальный постоянный ток коллектора при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $V_{CE(sat)typ}$ , В – напряжение насыщения КЭ.



Таблица 1

**Технические характеристики IGBT с малым падением напряжения**

Наименование	$V_{(BR)CES}$ , В	$I_C$ (cont), А $T=100$ °С	$V_{CE(sat) typ}$ , В	Корпус
1	2	3	4	5
STGB3NB60SDT4	600	3	1,15	D2PAK
STGD3NB60SDT4		3	1,15	DPAK
STGD3NB60SD-1		3	1,15	IPAK
STGF7NB60SL		7	1,1	TO-220FP
STGD7NB60SL		10	1,1	DPAK

Достоинства IGBT:

- управляется напряжением;
- имеют малые потери в открытом состоянии;
- способны работать при температуре более 100 °С;
- способны работать с напряжением более 1000 В и токи более 1000 А [2].

С другой стороны, MOSFET с напряжениями 200 В и меньше имеют более низкое значение напряжения во включенном состоянии, чем IGBT, и остаются лучшими в этом отношении в области низких рабочих напряжений и коммутируемых токов до 50 А. По быстродействию IGBT хуже транзисторов MOSFET, но значительно превосходят биполярные. Быстродействующие IGBT применяются там, где требуется более высокая скорость переключений (до 100 кГц), например, высокочастотных инверторов, импульсных источников питания и корректоров коэффициента мощности.

На сегодняшний день также изготавливают транзисторы на основе кристаллов карбида кремния. Этими видами транзисторов занимаются многие компании, включая компанию Infineon, и она предлагает огромный выбор силовых карбид-кремниевых транзисторов семейства CoolSiC™.

Данный вид транзистора обладает важными преимуществами по сравнению с его предшественниками, например кремниевым транзистором. SiC-MOSFET позволяет уменьшить размеры пассивных компонентов, улучшить отвода тепла, уменьшить вес и стоимость решения. Из-за малых потерь SiC-транзисторов они могут работать с высокими частотами.

Технические характеристики карбид-кремниевый МОП-транзистора MSC040SMA120В представлены на табл. 2

Таблица 2

**Технические характеристики карбид-кремниевый МОП-транзистора MSC040SMA120В**

Параметры	MSC040SMA120В
1	2
Напряжение сток-исток	1200 В
Максимальный постоянный ток (25°С)	64 А
Предельный импульсный ток	105 А
Диапазон рабочих температур кристалла	-55...+175°С
Сопротивление открытого канала	40 мОм

В настоящее время выпускаются транзисторы IGBT пятого поколения, которые созданы по технологии TrenchStop5, позволяющей сократить толщину дрейфовой зоны, уменьшить ток при выключении и уменьшить падение напряжения между коллектором и эмиттером в открытом состоянии. У IGBT пятого поколения статические и динамические потери до 20 % меньше, чем у представителей транзисторов прошлых поколений. Кроме этого, увеличенная толщина медной металлизации вывода эмиттера может увеличить тепловую емкость структуры и улучшить допустимое время работы на границе области безопасной работы (в режиме короткого замыкания) до 10 мкс. На рис. 2 представлена структура IGBT разных технологий.

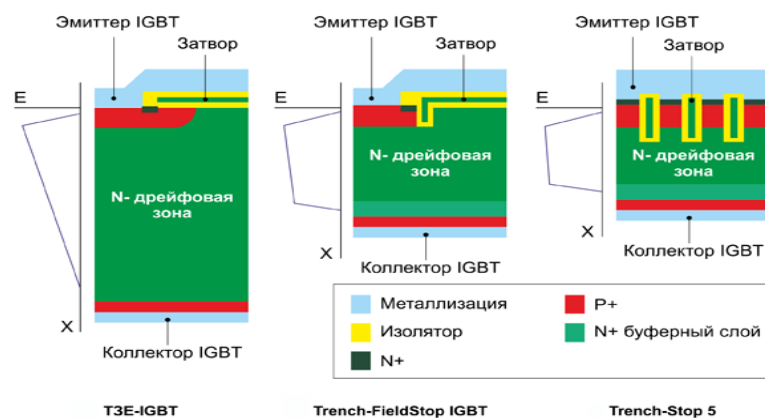


Рис. 2. Структура IGBT разных технологий

### Вывод

Для систем электропривода трамвая следует рекомендовать транзисторы на основе карбита-кремния, поскольку они имеют очень малое время включения и выключения, малые потери с учетом требуемых токов и напряжений.

### Библиографический список

1. Обзор MOSFET и IGBT компании STMicroelectronics. URL: <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=53491> (дата обращения: 08.06.2019).
2. IGBT транзистор. Принцип его работы и применение. URL: <http://go-radio.ru/igbt-transistor.html> (дата обращения: 08.06.2019).
3. Обзор MOSFET и IGBT компании STMicroelectronics. URL: <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=53491> (дата обращения: 08.06.2019).

УДК 004.931

**Г. К. Григорьев, И. М. Рыбаков**

студенты кафедры электромеханики и робототехники

**О. Я. Соленая** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### КЛАССИФИКАЦИИ И ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Одним из главных человеческих чувств является зрение. С помощью него мы получаем большую часть информации об окружающем нас мире. Но именно способность анализировать бесконечное множество состояний внешней среды и отвечать на них активными действиями открыло человеку способности к мышлению.

На обыкновенной фотографии мы с легкостью можем мысленно выделить различные объекты и их свойства, будь то люди и их внешность или природные пейзажи и определенные виды растений, животных и погодных условий. Человек не задумываясь проводит анализ и получает сведения о сцене, запечатленной на фотографии, а для системы распознавания – это лишь набор пикселей с разными параметрами цвета, не несущими сами по себе никакой информации об объектах. Однако существуют различные методы, с помощью которых можно научить систему распознавать отдельные объекты на изображениях.

*Система распознавания объектов (СР)* представляет собой совокупность технических средств и алгоритмов, позволяющих выделять конкретные объекты из общего множества и классифицировать их, если того требует поставленная задача. Данные системы нашли широкое применение во многих сферах жизни человека, этим обусловлено большое количество видов СР (рис. 1) и методов, заложенных в основу их работы.

Прежде всего стоит отметить, что системы распознавания объектов появились задолго до широкого распространения программируемых устройств, тем более внедрения в обыденную жизнь нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения. Классификация этих систем может осуществляться в зависимости от количества и сложности целевых предметов. Можно выделить простые СР, которые характеризуются единой физической природой признаков. Сложные СР характеризуются физической неоднородностью признаков. По способу, которым они получают информацию, такие системы подразделяются на одноуровневые и многоуровневые. Во-первых, информация о признаках распознаваемого объекта формируется на основе обработки прямых измерений. Во-вторых, информация об объекте формируется из косвенных измерений как результат функционирования вспомогательных распознающих устройств (примером является измерение дальности радиолокатором по времени задержки излученного импульса). Многоуровневые сложные системы распознавания отличаются от одноуровневых тем, что не все признаки от разнородных физических измерителей используются непосредственно для решения задачи распознавания [1].

Также важным критерием классификации СР является принцип их обучения. В этом разделе системы распознавания делятся на самообучающиеся, обучающиеся и системы без обучения. Для построения СР без обучения требуется наличие полной информации на первоначальном этапе. Обучающиеся системы целесообразно использовать в том случае, когда доопытной информации недостаточно для описания целевых объектов на языке признаков. На стадии разработки подобные системы настраиваются специалистом, который указывает на принадлежность предъявленного для обучения объекта к определенному классу. И прежде, чем система будет применяться, должен пройти этап обучения, который обычно реализуется за счет предоставления системе датасета – набора из тысяч изображений, в которых указано, где именно находится нужный объект и к какому классу он принадлежит. Для самообучающихся систем определен перечень признаков распознавания, системе задается список правил, и в соответствии с ним она сама вырабатывает классификацию. Для таких СР, как и для обучающихся с учителем, характерно наличие периода самообучения, когда ей предъявляются объекты обучающей последовательности, только при этом не указывается принадлежность их к каким-либо классам [2].

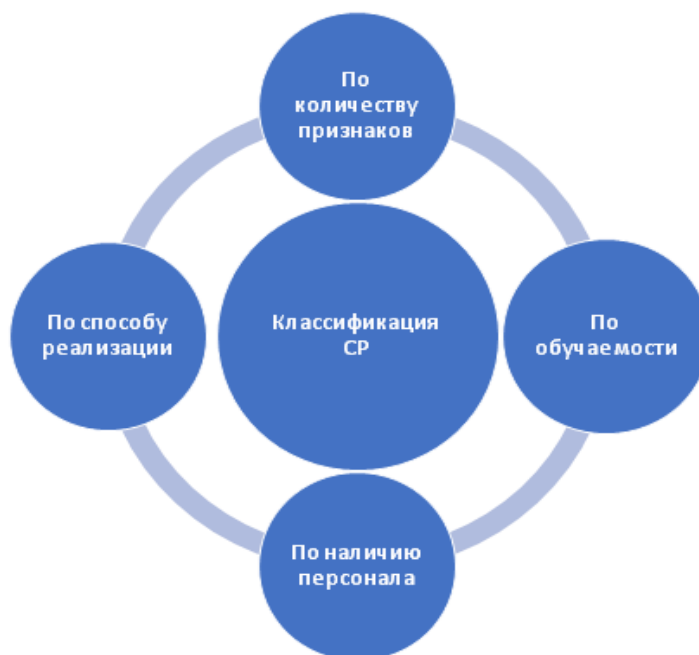


Рис. 1. Различные классификации CP

Еще одним критерием для классификации систем распознавания является участие персонала в процессе их функционирования. Таким образом, они делятся на:

- автоматические – работающие без участия персонала;
- автоматизированные – осуществляющие распознавание без участия специалистов;
- интегрированные – совмещающие в себе классы, обозначенные ранее.

Во времена первых программных систем распознавания использовались строгие логические операции для обработки данных или корректировки информации, введенной пользователем. Один из примеров, где этот жесткий подход потерпит неудачу, – это распознавание лиц на изображениях. На сегодняшний день каждый смартфон может распознать лицо на изображении. Тем не менее распознавание лиц было нерешенной проблемой, по крайней мере, до 2001 года. Основная проблема заключается в том, что способ, с помощью которого компьютер «воспринимает» пиксели, формирующие изображение на компьютере, очень сильно отличается от человеческого восприятия лица. Эта разница в принципе не позволяет человеку сформулировать подходящий набор правил, описывающих лицо с точки зрения цифрового изображения. Системы распознавания объектов нашли широкое применение во многих сферах жизни человека, этим обусловлено большое количество видов CP и методов, заложенных в основу их работы [3].

В последнее время в информационном пространстве все чаще и чаще встречаются новости об успешном использовании систем распознавания, в основе которых лежат искусственные нейронные сети. Подобные CP используются в магазинах AmazonGo, автопилоте Tesla, системах распознавания лиц и в многих других сферах жизни. Рассмотрим особенности систем распознавания объектов, реализованных с использованием нейронных сетей (рис. 2).

Как упоминалось ранее, нейросетевыми алгоритмами мы заменяем строгие модели систем распознавания, реализованных на заранее заданных условиях. Последние проигрывают в области распознавания из-за сложности ставящихся перед ними задач. Камеры автомобиля, управляемого автопилотом, каждую секунду детектируют множество объектов различных классов, которые также могут сильно отличаться между собой при меняющихся от региона к региону погодных условиях и условиях освещения. Все эти факторы создают близкое к бесконечности число сцен, которые должны быть обработаны и проанализированы системой распознавания. Очевидно, что ее построение исключительно на условиях в таком случае нецелесообразно из-за того, что ограниченный штат сотрудников не сможет за приемлемое время просчитать все возможные ситуации и из-за отличия восприятия цифровой информации между компьютером и человеком, которая не позволит последнему создать подходящий набор правил для распознавания.

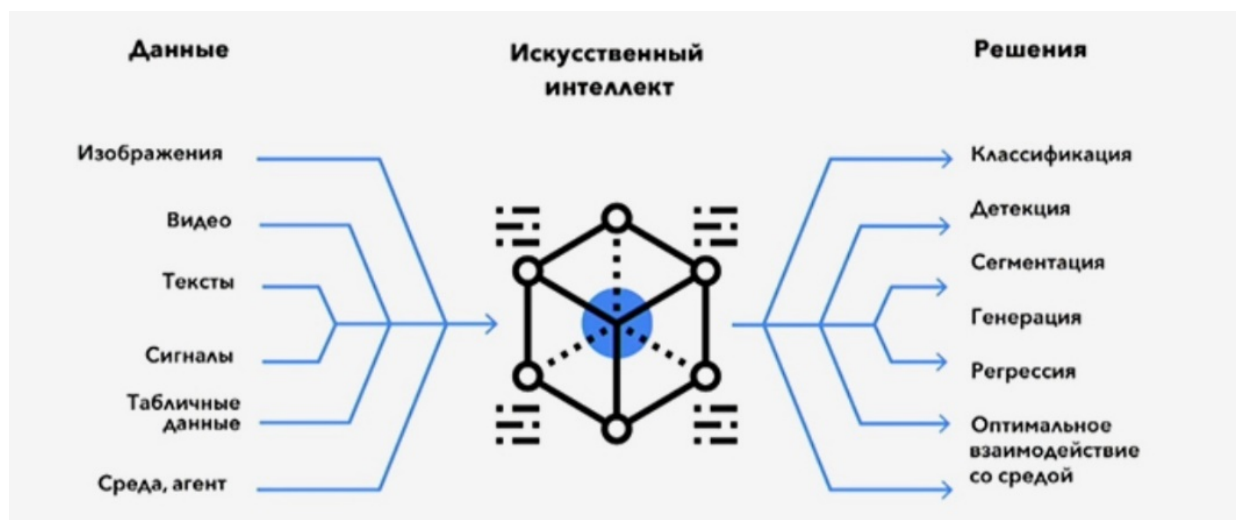


Рис. 2. Используемые типы данных и решаемые нейросетями задачи

Главной особенностью нейронных сетей в системах распознавания является их способность к обучению. В процессе своей работы она будет иметь способность реагировать на изменения, происходящие с объектом наблюдения, и автоматически корректировать или дополнять представления об объекте в своей памяти, что положительно скажется на функционировании системы в целом. Другой особенностью является то, что нейронная сеть, в отличие от программ со строгими инструкциями, может быть нечувствительна к небольшим искажениям и цифровому шуму на предоставляемых ей изображениях или видео, что позволяет до некоторой степени нивелировать несовершенство камер или алгоритмов обработки фотографий. В зависимости от условий эксплуатации оборудования и его износа непременно будут меняться и поступающие данные, на что нейросеть сможет ответить самонастройкой. Это в свою очередь позволяет до некоторых пор не прибегать к помощи специалистов для устранения возникших некритических неполадок. Данная особенность приведет к увеличению эффективности всей системы и снижению расходов на персонал, так как, к примеру, система распознавания лиц создается на базе множества камер, расположенных на обширной территории в труднодоступных местах. Помимо описанных особенностей нейронные сети имеют такие преимущества, как существование быстрых алгоритмов обучения, возможность работы при наличии большого числа неинформативных, шумовых входных сигналов, способность решения нескольких задач на едином наборе входных данных и возможность ручной корректировки структуры сети или ее отдельных элементов при наличии специальных требований.

### Библиографический список

1. Распознавание образов и ситуаций. URL: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=77537> (дата обращения: 09.04.2020).
2. Принципы классификации и типы систем распознавания. URL: <https://studfile.net/preview/4001643/page:3/> (дата обращения: 09.04.2020).
3. Мюллер А., Гвидо С. Введение в машинное обучение с помощью Python. М.: Диалектика, 2017. 480 с.

УДК 681.511.26

**С. Р. Гриднев**

студент кафедры управления в технических системах

**А. Л. Ляшенко** – доктор технических наук, доцент – научный руководитель

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА В ГАЗОХОДЕ ПАРОВОГО КОТЛА**

### **1. Описание**

#### **1.1 Описание проблемы**

Мощному котельному агрегату в настоящее время необходимо самое кропотливое и точное техническое обслуживание, управление и контроль.

Регулировка всех параметров и своевременное правильное реагирование на определенные условия и достижение требуемого результата для человека порой слишком непредсказуема. Также достижение экономической эффективности вносит определенные сложности и ставит ограничение для возможных решений. Внедрение программно-технического комплекса (ПТК) позволит довести принцип работы котла до состояния, требующего наличия всего нескольких операторов взамен целой бригады сотрудников эксплуатационной службы.

Обслуживание котлоагрегата во время работы – задача весьма сложная. За счет размера котлоагрегата отдельные элементы котла находятся на большом расстоянии друг от друга. Поэтому для контроля работы внедрение автоматических устройств поможет повысить продуктивность.

Таким образом, установка ПТК или блока управления котлом позволят уменьшить затраты человеческих ресурсов для поддержания работы, что увеличит скорость реакции для достижения требуемого значения в несколько раз. В добавок ко всему вышеперечисленному достижение значения будет проведено с наименьшими затратами топлива путем установки правильного соотношения «топливо-воздух». Стоит учесть, что надежность работы котла вырастет за счет поддержания постоянства выходного значения в случаях с перебоями или появлением иных помех в работе.

Стоит учесть, что обеспечение постоянного контроля давления газа для регулирования температуры в котле автоматизированной системой позволит минимизировать ошибки в процессе производств энергии и уменьшить влияние человеческого фактора.

#### **1.2 Постановка задачи**

Исходя из вышеперечисленных причин необходимо определиться с котлоагрегатом, который будет представлен в виде объекта управления.

Определив выбор котлоагрегата, нужно изучить его составляющие и их принцип работы, чтобы после можно было построить по этим данным функциональную схему работы систем котла.

На основе информации о процессах в котле составить список элементов, участвующих в процессе работы контроля давления газа. При подборе датчиков необходимо учитывать максимальное давление пара и возможность датчиков измерить нужную величину.

Изучив составляющие системы подачи газа и воздуха в котле, необходимо построить структурную схему, разобрать процессы в каждом элементе и построить передаточные функции каждого элемента.

По полученным передаточным функциям построить в среде Matlab Simulink модель системы. Собрав систему, необходимо выбрать регулятор и установить его в схему. Выбрать коэффициенты регулятора и убедиться, что он работает. После этого подать дополнительные возмущающие воздействия, чтобы приблизить модель к реальным условиям работы.

Завершающим этапом требуется провести эксперимент по работе системы автоматического регулирования, чтобы убедиться, что система способна регулировать температуру пара на выходе регулировкой давления газа и воздуха и может справляться с возмущающими воздействиями.

## 2. Математическая модель

### 2.1 Разработка математической модели

Структурная схема регулирования топливоснабжения показана на рис. 2.1.

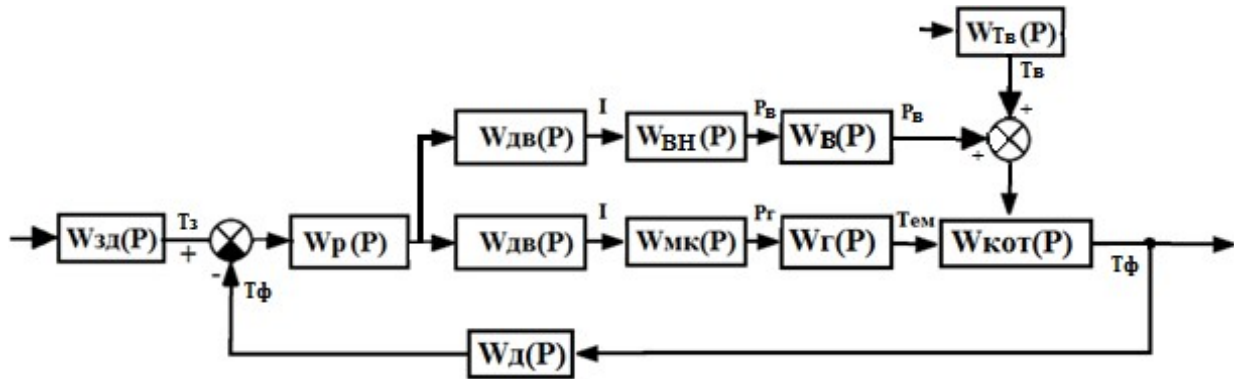


Рис. 2.1. Структурная схема системы топливоснабжения котлоагрегата

$W_{зд}(P)$  – передаточная функция задающего устройства;  $W_p(P)$  – передаточная функция регулятора;  $W_{дв}(P)$  – передаточная функция электрического двигателя;  $W_{мк}(P)$  – передаточная функция магнитного клапана;  $W_d$  – передаточная функция датчика;  $W_{кот}$  – передаточная функция барабана котла;  $W_g$  – передаточная функция горелки;  $W_{вн}$  – передаточная функция воздушного насоса;  $W_в$  – передаточная функция воздуха;  $T_3$  – заданная температура пара;  $T_ф$  – фактическое значение пара.  $T_в$  – температура воздуха;  $P_g$  – давление газа;  $P_в$  – давление воздуха.

Передаточная функция датчика температуры имеет вид:

$$W_d = K_d = 1, \quad (2.1)$$

где  $K_d$  – передаточный коэффициент датчика.

Изменение количественных характеристик воздуха и газа происходит с помощью асинхронного приводного электродвигателя, передаточная функция которого имеет вид:

$$W(P) = \frac{k_{дв}}{(T_{дв}P + 1)}, \quad (2.2)$$

где  $k_{дв}$  – коэффициент передачи двигателя;  $T_m$  – электромеханическая постоянная времени двигателя.

Подставив коэффициенты, получим:

$$W_{дв}(P) = \frac{0.25}{2.3s + 1}. \quad (2.3)$$

Коэффициент линеаризации магнитного клапана равен

$$k_{л} = \frac{4R}{\pi Y}, \quad (2.4)$$

где  $R$  – радиус отверстия, по которому поступает газ в электромагнитном клапане;  $Y$  – ток, получаемый катушками клапана.

Так как линеаризация статическая, то передаточная функция будет приблизительно равна коэффициенту линеаризации. Таким образом:

$$W_{мк}(P) = \frac{40}{\pi \cdot 1} \quad (2.5).$$

Передаточная функция горелочного устройства водогрейного котла будет иметь вид:

$$W_{\Gamma}(P) = \frac{k_{\Gamma}}{T_{\rho} + 1}, \quad (2.6)$$

где  $T_{\rho}$  – постоянная времени работы;  $k_{\Gamma}$  – коэффициент передачи.

Подставляем коэффициенты и получаем:

$$W_{\Gamma}(P) = \frac{0,2}{180 + 1}. \quad (2.7)$$

Динамические свойства воздушного насоса ВДН-9 с достаточной степенью точности можно описать инерционным звеном первого порядка со следующей передаточной функцией:

$$W_{ВН}(P) = \frac{k_{ВН}}{T_{ВН}P + 1} \quad (2.8),$$

где  $k_{ВН}$  – коэффициент передачи вентилятора;  $T_{ВН}$  – постоянная времени работы.

Передаточная функция по каналу изменения температуры сетевой воды на выходе из водогрейного котла будет иметь вид:

$$W_{КОТ}(P) = \frac{k_{КОТ}}{T_1 \cdot T_2 P^2 + (T_1 + T_2)P + 1}, \quad (2.9)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  – постоянная времени работы;  $k_{КОТ}$  – коэффициент передачи.

Подставляем коэффициенты и получаем:

$$W_{КОТ}(P) = \frac{k_{КОТ}}{5P^2 + 6P + 1} \quad (2.10).$$

### 3. Разработка устройства управления

#### 3.1 Расчет параметров устройства управления.

ПИД-регулятор реализует самый гибкий закон управления, который эффективен при управлении сложными объектами. Передаточная функция пропорционально-интегрально-дифференциального закона регулирования:

$$W_{\rho}(P) = k_{\Pi} + \frac{k_{\text{И}}}{P} + k_{\text{Д}}P. \quad (3.1)$$

Поскольку объект управления – водогрейный котел – содержит звено запаздывания, то для выбора закона регулирования применяется метод настройки, который основан на использовании кривой оптимального переходного процесса. Приведенной кривой разгона соответствуют передаточные функции следующего вида:

$$W_0(P) = \frac{ke^{-pt_0}}{(T_0P + 1)}, \quad (3.2)$$

$$W_0(P) = \frac{ke^{-pt_0}}{(T_{01}P + 1)(T_0P + 1)}, \quad (3.3)$$

$$W_0(P) = \frac{ke^{-pt_0}}{(T_0P + 1)^2}, \quad (3.4)$$

где  $t_0 = \tau - 0,11T$ ,  $T_0 = 0,64T$ ,  $T_{0i} = 0,37T$ .

Подставив передаточную функцию объекта в передаточную функцию регулятора, идеальную для объектов с запаздыванием:



$$W_{pu}(P) = \frac{1}{W_0(p)(1 - e^{-pt_0})} \quad (3.5)$$

и произведя приближенную замену, допустимую в области низких частот  $e^{-pt_0} \approx 1 - \tau_0 p$  (3.6) получим

$$W_p(P) = \frac{T_0 p + 1}{p \tau_0 k} = \frac{T_0}{p \tau_0} + \frac{1}{p \tau_0 k}, \quad (3.7)$$

$$W_p(P) = k_{\Pi} + \frac{k_{И}}{P}, \quad (3.8)$$

где

$$k_{\Pi} = \frac{T_0}{p \tau_0}, \quad (3.9)$$

$$k_{И} = \frac{1}{\tau_0 k}. \quad (3.10)$$

Для объекта, имеющего инерционную часть второго порядка, наилучшим будет ПИД-регулятор. Действительно, если подставить передаточную функцию в общую формулу идеального регулятора и учесть замену, получим:

$$W_P(P) = k_{\Pi} \frac{(T_{И} p + 1)(T_{Д} p + 1)}{p \tau_0 k}, \quad (3.11)$$

$$W_P(P) = k_{\Pi} \left( 1 + \frac{1}{T_{И} p} + T_{Д} p \right), \quad (3.12)$$

где

$$k_{\Pi} = \frac{T_{o1} + T_{o2}}{\tau_0 k}, \quad (3.13)$$

$$T_{И} = T_{o1} + T_{o2}, \quad (3.14)$$

$$T_{Д} = \frac{T_{o1} T_{o2}}{T_{o1} + T_{o2}}. \quad (3.15)$$

Для наиболее рациональной аппроксимации объектов с s-образной переходной характеристикой – модели с двумя одинаковыми постоянными времени  $T_{o1} = T_{o2} = T_{o3} = 0,37T$  параметры ПИД-регулятора должны быть равны:

$$k_{\Pi} = \frac{0,74 T_{oi}}{\tau_0 k}, \quad (3.16)$$

$$T_{Д} = 0,18 T_{oi}, \quad (3.17)$$

$$T_{И} = 0,74 T_{oi}. \quad (3.18)$$

### 3.2 Моделирование системы управления

Подставив в структурную схему САУ настроечные параметры ПИД-регулятора,  $k_p = 0,3$ ;  $T_{И} = 0,01$ ;  $T_{Д} = 55$ , получили модель замкнутой САУ температурой воды на выходе водогрейного котла с ПИД-законом управления, которая в среде Matlab Simulink приведена на рис. 3.4.

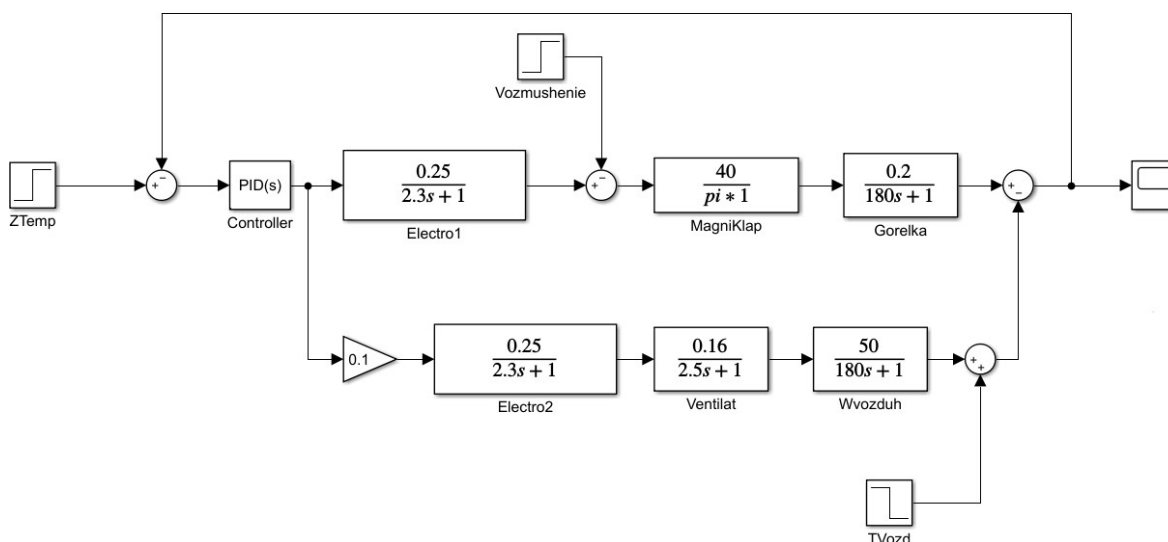


Рис. 3.1. Схема модели САР температурой водогрейного котла

Для проведения анализа работы системы с разными регуляторами необходимо провести моделирование схемы модели САР. Графические результаты представлены на рис. 3.2, 3.3, 3.4, и 3.5.

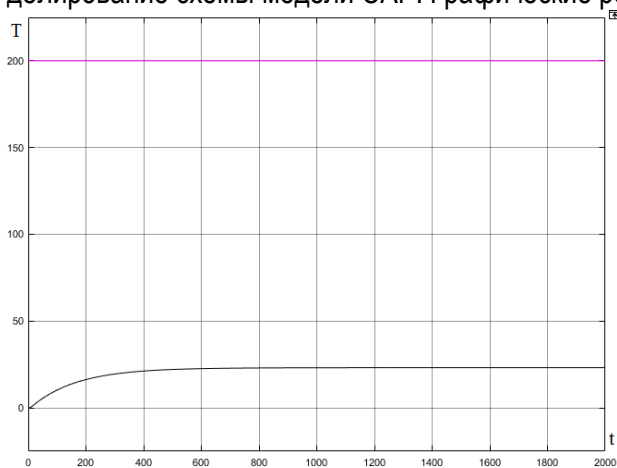


Рис. 3.2. Графическое представление работы P-регулятора



Рис. 3.3. Графическое представление работы PD-регулятор

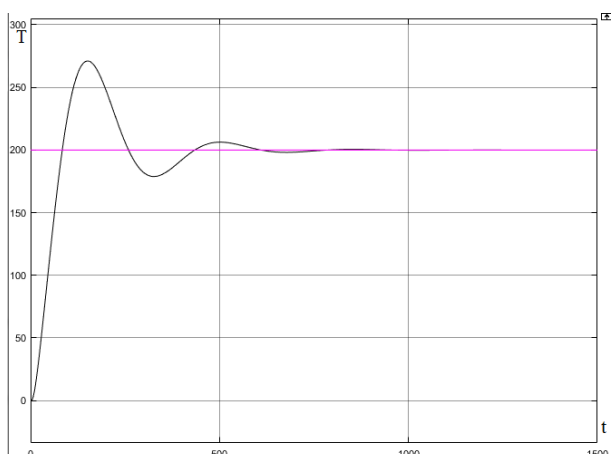


Рис. 3.4. Графическое представление работы PI-регулятора

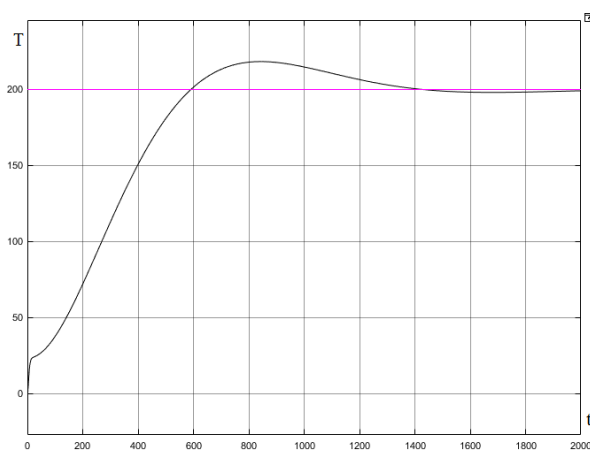


Рис. 3.5. Графическое представление работы PID-регулятора

Результаты моделирования показали, что САР обеспечивает необходимое качество регулирования. Обеспечение быстродействия переходного процесса и точность регулирования САР обеспечено за счет ПИД:

– регулятора, кроме этого, система эффективно устраняет возмущения опасных участков в работе котлоагрегата.

Для проверки устойчивости системы произведено три эксперимента для определения температурных характеристик водяного пара на выходе котла. Эксперимент 1: установка единичной температуры пара на выходе.

Эксперимент 2: установка температуры пара на выходе с последующим увеличением температуры в два раза в момент времени  $t = 4000$  с. Эксперимент 3: установка температуры пара на выходе с возмущением в момент времени  $t = 3000$  с.

Результаты представлены в экранной форме графика температуры пара на рис. 3.6–3.8.

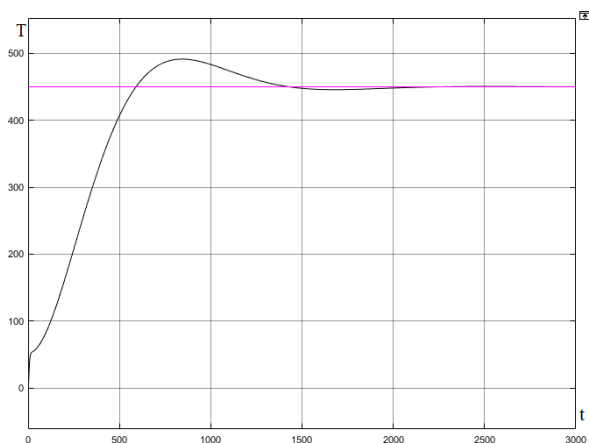


Рис. 3.6. Эксперимент 1

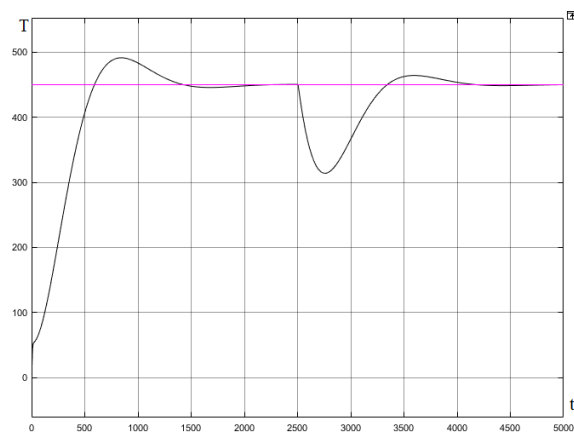


Рис. 3.7. Эксперимент 2

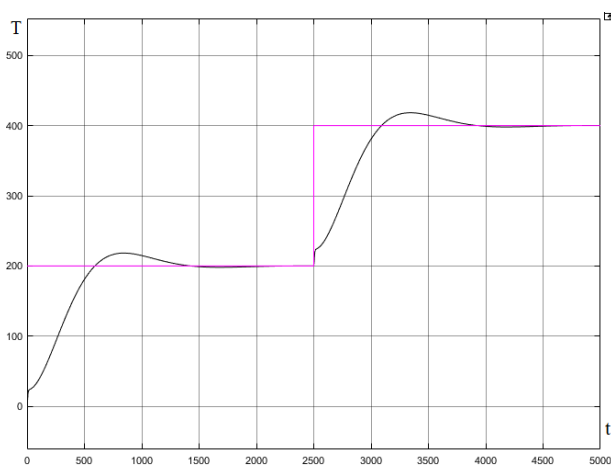


Рис. 3.8. Эксперимент 3

Как видно из графиков, САР справляется с необходимыми задачами и расчеты параметров устройства произведены верно.

### Заключение

Создание и внедрение системы автоматического управления позволит котлу повысить эффективность работы, задействовать меньше человеческих ресурсов и повысит КПД. Уменьшение влияния человеческого фактора и внедрение автоматики даст возможность в реальном времени снимать показания с датчиков и при необходимости контролировать поток газа в газоходе, уменьшить количество неблагоприятных исходов на производстве в связи с более быстрой реакцией на скачки давления газа в газоходе. Определение наилучших показателей соотношения «топливо-воздух» уменьшит количество вредных выбросов в атмосферу при том же количестве выработки пара.

В данной работе для достижения необходимой цели была произведена разработка функциональной и структурной схем регулирования топливоснабжением и воздухомоснабжением котлоагрегата. Полученные данные использовались для выборки элементной базы и расчета математической модели, а также последующих расчетов передаточных функций элементов. Заключительным этапом был произведен расчет регулятора и последующее моделирование в среде Matlab Simulink.

#### **Библиографический список**

1. Паспорт парового котла ТП-38.
2. Рабочий проект. Пояснительная записка 08/11-2017 «Техпереворужение котельной».
3. Кулаков Г. Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования. учеб. пособие. Технопринт, 2003.

УДК 53.06

**К. В. Дементьев**

ученик 11 класса ГБОУ СОШ № 210

**С. Г. Бабчинецкий** – студент кафедры № 32, лаборант лаборатории робототехники инженерной школы – научный руководитель

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

### Введение

#### **Основные понятия и некоторые методы создания и воспроизведения голограмм**

Голография в широком смысле – это один из способов записи изображения, позволяющий, в отличие от обычной фотографии, регистрировать не только интенсивность и длину волн, но их полную волновую картину, а затем по полученному снимку восстанавливать образ голографируемого предмета или явления. При восстановлении создается световая волна, идентичная объектной (отраженной от объекта), благодаря чему и появляется эффект его реального присутствия. Проще говоря, получающееся восстановленное изображение представляет собой оптическую копию предмета.

Голографический метод записи изображений был открыт венгерским физиком Денешем Габором [1] в 1947 году при проведении опытов по усовершенствованию электронного микроскопа. В своем докладе [1] ученый отмечал, что «наилучшая электронная линза, которая могла быть изготовлена (в условиях того времени – *примеч. автора*), по оптическим характеристикам была сравнима с дождевой каплей» [1]. Экспериментально было установлено, что улучшить данные параметры не представлялось возможным, поскольку при увеличении угловой апертуры [1] электронных линз вдвое, дифракционный предел [1] уменьшался в два раза, но при этом сферические aberrации [1] возрастали в 8 раз, что делало изображение «безнадёжно размытым» [1].

При съемке голограммы лучи света от когерентного источника разделяли на «опорные» и «предметные», а картину их интерференции записывали. Первые попадали на фотопластинку сразу же после деления и создавали «эталон фазы» («когерентный фон») [1], а вторые после деления рассеивались (в случае голографирования по методу Лейта-Упатниекса или Денисюка, отражались от голографируемого объекта (или проходили сквозь него) и только после это попадали на фотопластинку. Итоговую интерференционную картину Д. Габор и назвал голограммой (от слов «holo» (полный) и «gram» (сведения)) [1], [2].

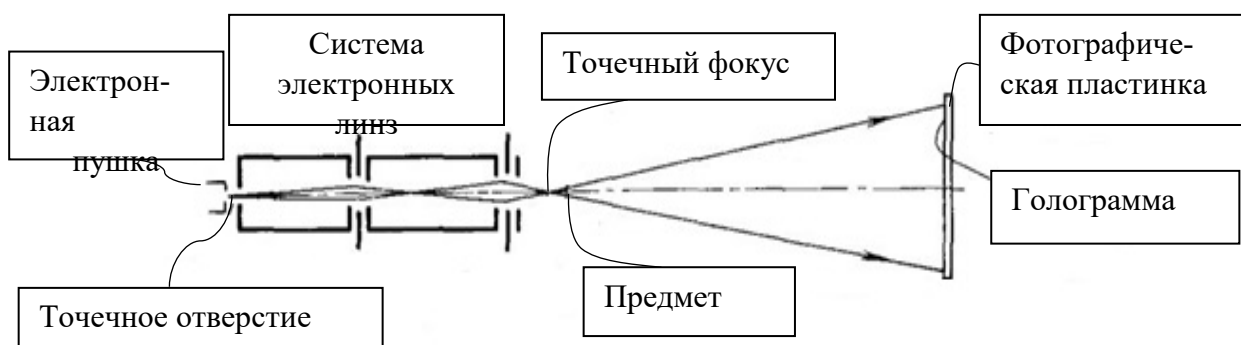


Рис. 1 Электронное устройство для получения голограмм конструкции Д. Габора  
(метод голографии с прямым опорным пучком)

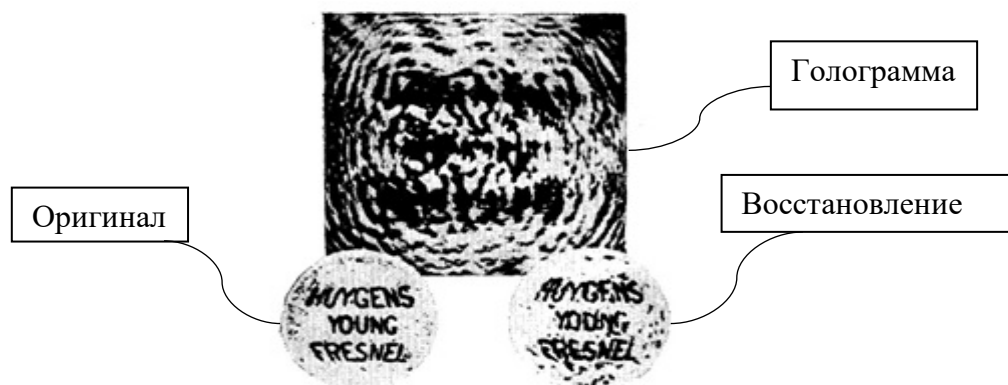


Рис. 2. Первое изображение, восстановленное голографическим методом в 1948 году

Чтобы восстановить образ голографированного объекта, достаточно было осветить голограмму лучом когерентного света, идентичного опорной волне, использовавшейся при записи изображения [1], [2]. На рис. 1 и 2 приведен чертеж электронного устройства для получения голограмм конструкции Д. Габора и пример создания голограммы описанным методом соответственно [1].

Однако при восстановлении изображения, полученного методом голографии с прямым опорным пучком, возникало не одно, а сразу два восстановленных образа объекта, расположенных на одной линии и вызывавших серьезные искажения (остатки этих искажений хорошо видны на рис. 2). Одним из возможных способов устранения такого влияния может быть схема записи и восстановления, предложенная Лейтом и Упатниексом (рис. 3).

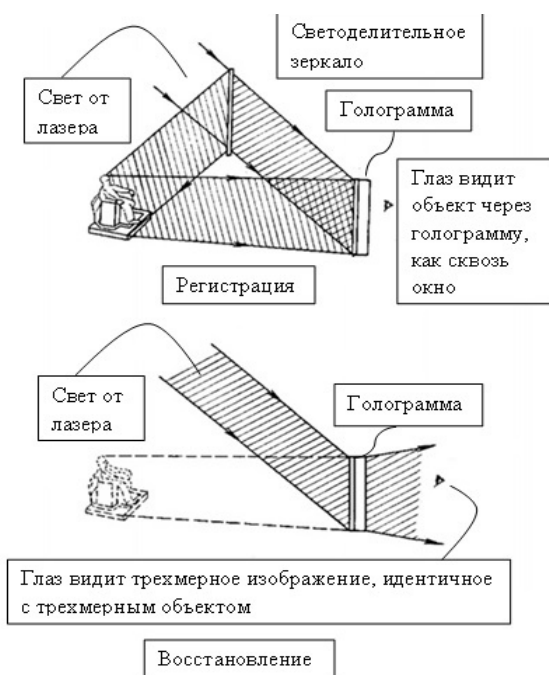


Рис. 3. Метод голографии трехмерного рассеивающего объекта с использованием лазерного света по методу Лейта-Упатниекса (метод голографии с наклонным опорным пучком)

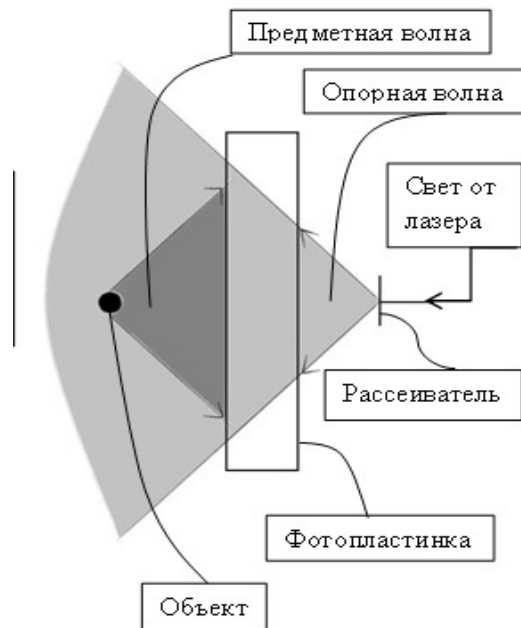


Рис. 4. Схема записи голограмм по методу Ю. Денисюка

Они же заметили, что, в отличие от фотографии, на одну голограмму может быть записано несколько различных изображений, что открывало широкие возможности хранения большого объема информации в сравнительно небольшом объеме. Кроме того, их уже можно было рассматривать обоими глазами без каких-либо оптических приспособлений, поскольку для записи

использовался широко направленный (рассеянный) свет и каждая точка голограммы «видела» каждую точку объекта.

Следующим важным этапом в развитии технологии голографирования стала предложенная советским физиком Ю. Н. Денисюком схема записи, при которой предметная и опорная волны попадают на фотозмульсию с разных сторон (рис. 4). Данный способ явился своеобразным гибридом методов голографии и цветной фотографии Г. Липпмана. Первая цветная голограмма, которую можно было освещать обычным белым светом, была изготовлена по методу Денисюка в 1965 году Строуком и Лайбери.

### Практическое применение голографии

Несмотря на то, что первые голографические записи известны с середины прошлого столетия, их развитие до сих пор сильно затруднено. Однако, как уже указывалось ранее, голограмма позволяет создать оптическую копию объекта, что открывает широкие возможности ее использования в различных сферах жизни человека, несмотря на сложность технологий голографирования и/или воспроизведения. Вот несколько примеров:

- *Применение голограмм в компонентах WDM для волоконно-оптических систем.* Технологии мультиплексирования с разделением по длине волны (CWDM) широко используются в городских сетях и сетях доступа из-за возросшего спроса на предоставление большей пропускной способности абоненту. Увеличение емкости может быть достигнуто с помощью технологии мультиплексирования, без необходимости большого количества каналов и близко расположенных длин волн, обычно используемых в сетях дальней связи. В нее входят также:

- ✓ приложение для маршрутизации по длине волны;
- ✓ разработка эквалайзеров голографических ROADM для применения в метро CWDM Сети.
- *Телеприсутствие, обучение и реклама*

Направление трехмерного телевизионного изображения в последние годы развивается со все ускоряющимися темпами. Исследователь Дэниэл Смолли из MIT Media Lab недавно предложил недорогую технологию для истинно голографического телевидения, основанную на использовании оптического чипа. Первые поколения голографических телевизоров уже существуют. Японские эксперты считают, что голографическое телевидение станет «мейнстримом» до 2020 года, и предлагают транслировать Чемпионат мира по футболу 2022 именно в таком формате. Ученые обещают, что технологии псевдоголографии и голографии скоро поднимут многие девайсы и процессы в жизни людей и компаний на новый уровень.

В 2014 году премьер Турции выступил перед избирателями в виде голограммы (основанной на иллюзии под названием «Призрак Пеппера» [1], известной еще с XVI века) – таким необычным способом «голографический премьер», возвышаясь над залом, заявил, что его партия будет принимать участие в выборах.

Использование 3D-голограмм в обучении и при проведении различных презентаций, логически вытекает из первого пункта. Уникальная возможность трехмерных голограмм показывать объект на 360 градусов и позволять человеку взаимодействовать с ним делают процесс демонстрации и обучения более интерактивным и запоминающимся.



Рис. 5. Проект «HOLO Corian».

Данное устройство, принцип работы которого основан на технологии «призрака Пеппера», позволяет создавать псевдо-объемные 3D-изображения, которые могут быть использованы, например, в процессе обучения

- *Бизнес*

3D-голография может стать инновационным решением для бизнеса. На сегодняшний день

технологии 3D – один из наилучших способов привлечь внимание и удивить клиента, зрителя или потенциального покупателя. Известно, что визуальное восприятие играет ключевую роль при любом представлении и презентации. Созданная реклама с яркими визуальными и оригинальными эффектами хорошо запоминается. 3D-голография – принципиально новый рекламный носитель.



Рис. 6. «Голографический вентилятор» – на данный момент один из наиболее широко используемых способов создания голограмм в коммерческих целях

### *Шоу-бизнес и развлечения*

Использование голографии в шоу-бизнесе уже не ново. Можно почти со 100 % вероятностью сказать, что в ближайшее время коммерческое использование этой технологии будет приобретать глобальные масштабы. Концерты голографических музыкантов и спектакли легендарных театральных актеров со временем станут одним из распространенных и популярных видов развлечений. Но пока такие номера, как выступления голограммы Тупака Шакура на фестивале «Coachella 2012», – экзотика и дорогое удовольствие для организаторов.

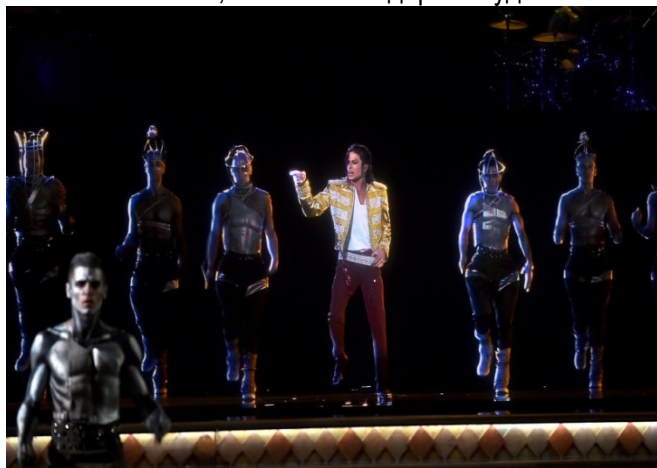


Рис. 7. Выступление «голограммы» Майкла Джексона, созданной по технологии «призрака Пенпера»

### *Потери и проблемы голографической записи*

- *Проблемы создания голографической телевизионной системы*

Применение методов голографии в телевидении безусловно открывает возможности перехода на принципиально более высокий уровень вещания. Однако в связи с высокой удельной плотностью информации необходимо передавать по каналам связи большое число дискретных элементов голограмм, что превышает по разрешению и скорости обработки реальные возможности существующих ТВ устройств и стандартных каналов связи. При формировании голографических ТВ изображений движущихся объектов в реальном масштабе времени требуемая скорость передачи и обработки информации еще более возрастает. По этой причине нужно либо увеличивать скорость регистрации, передачи и обработки информации, либо сокращать ее объем.

- *Голографические дисплеи в домах появятся не скоро*

Проблема создания трехмерных голографических дисплеев в том, что количество информации в обычной голограмме огромно. К примеру, необходимо порядка миллиона-триллиона пикселей для того, чтобы собрать трехмерный голографический дисплей, а при обычном уровне обновления (например, в 30 кадров в секунду) количество данных огромно. Кроме того, нужна технология, которая сможет записывать (в режиме реального времени) всю комплексную



информацию светового поля, технологии, которые смогут передавать эти огромные объемы данных, а также компьютер, который будет все это обрабатывать. Учитывая то, что мы только-только входим в эру 8К-телевизоров (на экране которых порядка 35 миллионов пикселей), эпоха голографии наступит еще не скоро.

- *Сложность в расчете голограммы*

В идеале мы могли бы записать всю информацию о световом поле сцены, но пока у нас нет никакой коммерческой технологии, способной на это. Мы могли бы сделать полное моделирование электромагнитных волн моделируемой сцены, чтобы обнаружить, что рассеивающийся свет в поле выглядит как точки в пространстве, а затем записать эту информацию, чтобы сформировать голограмму. Тем не менее для нынешних технологий это вычислительный кошмар. Возможно, лучшим способом будет глубоко математический подход к этому явлению. По сути, мы делаем приближение. Оказывается, когда свет дифрагирует, если вы находитесь достаточно далеко от точки дифракции, паттерн, который вы видите, связан с преобразованием Фурье математической репрезентации объекта дифракции. Это значит, что, поскольку наши компьютеры могут делать преобразование Фурье довольно быстро, мы можем генерировать голограммы буквально «на лету». Затем, отображая их на SLM, мы можем использовать дифракцию света для формирования произвольных изображений по своему желанию. Эта область называется генерируемой на компьютерах голографией. И теперь, когда компьютеры становятся все быстрее, это направление исследований становится все более популярным.

### Заключение

«...В ближайшие пять-семь лет человечество переживет очередную информационную революцию, которая изменит подход работы с данными. Больше не нужны будут физические инструменты для отображения информации: экраны ноутбуков, телевизоры, проекторы, билборды, телефоны. Зачем нам физические экраны, если они могут быть голографическими: любого размера и количества, в любом месте...» Александр Якубов (основатель и генеральный директор Hologroup). Подводя итоги, хочется отметить, что активнее всего развивается область голографии, связанная с head-up дисплеями. Технологии HMD (head-mounted дисплей) – это размещение дисплея непосредственно на голове зрителя

Когда на лобовом стекле автомобиля или самолета – это HUD (Head-Up Display), а когда человека полностью изолируют от окружающей обстановки – это дисплеи VR, виртуальной реальности (virtual reality).

Их устанавливают в шлемах, самолетах, автомобилях. Голографические дисплеи уже делают для пилотов, чтобы показания датчиков целеуказания находились перед глазами. Но их конструируют на базе объемной оптики и обычного плоского зеркального бим-сплиттера. Это громоздкая система, и сегодня разрабатываются более простые конструкции, которые можно было бы применять и в быту. Габаритную и точную оптику заменяют голограммами, чтобы снизить финальную стоимость изделия, к тому же это гораздо безопаснее.

Сейчас нет ничего более прозрачного, чем голограммы. Им уступают даже полупрозрачные зеркала и многозеркальные системы. Хотя они технологически более приспособлены для массового производства, их стоимость гораздо выше. Поэтому, вероятно, в течение нескольких лет голографические дисплеи запустят в массовое производство – такие разработки сейчас уже ведутся. Почти все производители стараются сделать устройства компактными, и наблюдается довольно интенсивная конкуренция, ведь голографические оптические элементы разрабатываются многими фирмами и институтами – это, кстати, свидетельствует о том, что изобретение голографии (чуть более полувека назад) стало неотъемлемой частью общечеловеческих фундаментальных знаний.

### Библиографический список

1. Габор Д. Голография (1948–1971 гг.). Нобелевские лекции по физике // Успехи физических наук. 1973. № 1. С. 5–29.
2. Габор Д., Кок У., Строук Дж. Голография. Физика наших дней // Успехи физических наук. 1972. № 7. С. 443–461.

3. Лоренци Р. Скрывают ли глаза Моны Лизы секретный код? 2010. С. 7–9.
4. Хорнер Д. Оптическое распознавание образов для проверки и безопасности, оптика. 1994. 94 с.
5. Бекурин М. Сообщество робототехников. URL: <https://robo-hunter.com/> (дата обращения: 07.04.2020).
6. Путилин А. Голография: история и применение. 2014. 62 с.
7. Константинов Б. П. Телекоммуникации. Проблемы создания голографической системы. 1999. №1. С. 2–7.
8. Гросс Е. Ф., Каплянский А. А. Оптическая анизотропия кубических кристаллов, вызванная явлением пространственной дисперсии. Квадрупольное экситонное поглощение света в закиси меди ДАН СССР. 1960. Т. 132. С. 98–103.
9. Киселев В. А., Жилич А. Г. Влияние обменного взаимодействия на экситонный спектр полупроводников // Проблемы теоретической физики. Издательство Ленинградского университета, 1974. С. 165–181.
10. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1992. С. 661.
11. История науки: как «Призрак Пеппера» стал призраком рэпера. URL: <https://indicator.ru/physics/o-prizrake-peppera.htm> (дата обращения: 10.04.2020).
12. Инновационное оборудование для вашего бизнеса. URL: <https://mir-3dx.ru> (дата обращения: 10.04.2020).

УДК 004.384

**А. В. Дмитриев, П. А. Калайда**

студенты кафедры технологий защиты информации

**В.А. Мыльников** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ОБЗОР СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ УМНОГО ДОМА

В настоящее время рациональное использование энергетических ресурсов является актуальным и обсуждаемым вопросом в любой отрасли. Потребление электроэнергии во время работы электроприборов не является исключением как для предприятий, так и в жилом секторе. Использование электроприборов всегда связано с анализом его режимов работы, будь то контроль состояния или более детальный уровень, – объем потребляемой энергии и уровень полезной работы.

Современное жилое помещение включает в себя целую систему электроприборов, которые потребляют значительный объем электроэнергии, а также могут быть источником риска при нарушении их работы. Локальным решением является создание оптимальных электроприборов, однако данный подход не в полной мере решает проблемы взаимодействия человека и устройств, а также взаимодействия устройств с окружающей средой в качестве компонентов системы обеспечения комфорта и безопасности жилища. Использование умного дома позволяет не только сделать жизнь владельца системы удобнее, но и обеспечить рациональный расход энергии.

В зависимости от сложности реализации системы умного дома оптимизация энергопотребления в системе может производиться с использованием следующих методов контроля [1]:

- освещения в помещении;
- электрического обогрева помещения;
- кондиционирования и вентиляции;
- мультимедиа устройств;
- бытовой техники.

На данный момент при освещении помещений используются энергосберегающие лампы, использование ламп накаливания актуально для помещений с предельными показателями температуры. Оптимизация потребления энергии для освещения помещений заключается в использовании освещения только в случаях необходимости, а также при настройке яркости при использовании диммируемых ламп. Для жилых помещений использование основного освещения оправдано в вечернее время, перед сном достаточно задействовать бра, настольные лампы и др. Система умного дома способна контролировать источники света и задействовать их в зависимости от времени суток и предпочтений конкретных пользователей.

Контроль электрического обогрева помещений необходим для поддержания заданной температуры помещений при помощи регулируемых обогревателей различных типов (масляных, инфракрасных и др.). Система умного дома может контролировать потребление энергии этих нагревателей способна предсказывать появление пользователей в зоне нагрева по косвенным признакам, например по времени возвращения домой, при подключении к сети Wi-Fi и др., и выполнить предварительный нагрев зоны до их появления.

Кондиционирование и вентиляция помещений необходимы для поддержания микроклимата, самостоятельное управление ими основано на собственных ощущениях комфорта. Если забыть выключать эти устройства, то вам обеспечен перерасход электроэнергии. Система умного дома может проводить анализ воздуха на уровень влажности, углекислого газа и микрочастиц пыли с последующим регулированием режимов работы.

Интеграция мультимедийных систем в умный дом добавляет большой набор функций [2], таких как зонирование аудио и видеосигнала, централизованное управление воспроизведением контента, таргетированные и общие звуковые и визуальные оповещения и др. Касательно оптимизации потребления энергии, интеграция мультимедийных систем в умный дом позволит контролировать их режим работы, их включение во время активности пользователей, определить регламент использования аппаратуры для

определенного круга лиц, например, работа в вечернее и ночное время, ограничения в комнатах отдыха и детских помещениях.

Система умного дома способна контролировать работу электроприборов, осуществлять сбор статистики использования, выполнять их проверку. В случае отклонений может быть задействована система оповещения или автоматическое отключение приборов в случае неисправности.

В качестве примера использования вышеперечисленных приемов можно рассмотреть гипотетическую систему умного дома, наделенную функцией контроля работы потребителей энергии (рис. 1). Основные источники света подключены через умные выключатели, второстепенные и регулируемые источники света подключены через диммеры. Контроль микроклимата помещений осуществляется при помощи беспроводных датчиков температуры, влажности и содержания углекислого газа. За изменение этих параметров отвечают обогреватели и кондиционеры, подключенные к умным розеткам [3], а за вентиляцию отвечает система подачи воздуха в помещения. Данная гипотетическая система способна контролировать важные для комфортного проживания человека параметры микроклимата в автоматическом режиме.

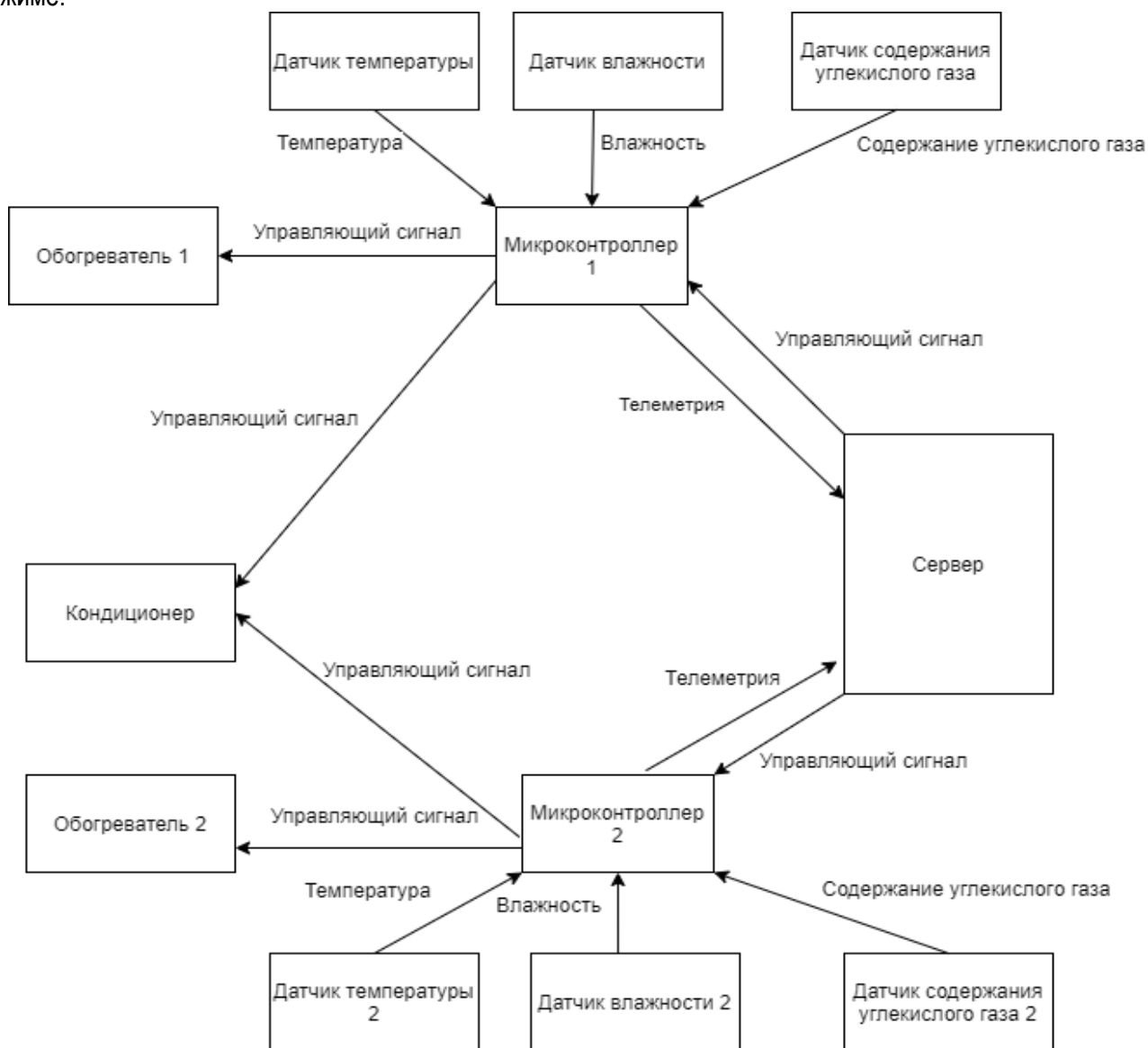


Рис. 1. Структура гипотетической системы

В настоящее время российский рынок систем категории «Умный дом» существенно вырос за последние годы, по статистике за 2019 год [4] продажи устройств для умного дома выросли в 3,5–4 раза. Наиболее популярными категориями товаров стали умные розетки, умные лампы и центры управления умным домом.

Несмотря на рост интереса к технологии умного дома, недостаточное число решений «под ключ» с полноценным функционалом, отсутствие понимания технологии среди потенциальных пользователей и сложности интеграции систем умного дома в энергосистемы жилых домов негативно влияют на покупательский спрос среди существующих систем. Поэтому работа по проектированию и разработке полноценного функционала систем умного дома в этом направлении является актуальной.

#### **Библиографический список**

1. Умный дом – Энергоэффективность. URL: <http://770044.ru/pages/energy> (дата обращения: 23.02.2020).
2. Мультимедийные системы для умного дома. URL: <https://mimismart.ru/smart-home/multimedia/> (дата обращения: 25.20.2020).
3. Умный дом или игрушка для мужчин: конечные устройства. URL: <https://habr.com/ru/post/366239/> (дата обращения: 25.02.2020).
4. Системы умного дома (рынок России). URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения 26.02.2020).

УДК 681.51

**Д. А. Добрынин**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник\*

\*Российский государственный гуманитарный университет, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Москва

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБУЧАЕМОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ РОБОТОВ

### Введение

Одной из важных задач управления роботом является обеспечение движения разных кинематических звеньев робота по заданным траекториям. Например, в роботах-манипуляторах – это согласованное движение отдельных звеньев, а для мобильных роботов – это перемещение всего мобильного робота в пространстве. Большие успехи в разработке методов и систем управления промышленными манипуляторами привели к появлению сложных, точных и быстрых систем манипулирования объектами, которые нашли широкое практическое применение в автомобильной промышленности, производстве микросхем, сборки электроники и др. областях.

Следует отметить, что при реализации методов управления движением сложных роботов возникают определенные проблемы:

- при увеличении количества степеней свободы механизма робота резко увеличивается сложность управления всей системой. По некоторым оценкам при добавлении одной степени свободы сложность возрастает примерно в два раза, то есть растет экспоненциально. Особую сложность приобретает обратная задача кинематики и динамические режимы управления, когда вместе с координатами звеньев необходимо учитывать еще их скорости и ускорения. Современные системы математического моделирования позволяют получить решение для систем с 15–16 степенями свободы (вне реального времени). Дальнейшее увеличение количества степеней свободы приводит к «рассыпанию» решению. Увеличение точности расчетов и увеличение быстродействия компьютеров проблему кардинально не решают;

- неизвестные силы в уравнениях динамики приводят к невозможности получить точное решение. К таким силам относятся сила трения, точный учет которой невозможен на сегодняшний день, люфты и зазоры, жесткость элементов конструкции робота, влияние внешнего окружения (например, опорной поверхности). Невозможность точного учета сил трения в задачах управления шагающих роботов приводит к тому, что полученные на компьютерных моделях численные решения имеют недопустимо большие погрешности при управлении реальным шагающим механизмом;

- ограничения на время получения решения для управления звеньями робота в реальном времени. Использование сложной вычислительной модели высокой точности может не позволить получить решение за заданное время. С другой стороны, простая модель хотя и дает быстрое решение, не является достаточно точной.

При разработке шагающих механизмов все вышеперечисленные проблемы проявляются наиболее остро.

На рис. 1 представлены наиболее известные разработки фирмы Boston Dynamics. Это четырехногие шагающие роботы Big Dog и его сильно уменьшенный вариант Spot Mini. Эти роботы имеют на каждую ногу по три степени свободы. Соответственно, на весь робот приходится 12 степеней свободы. Роботы являются автономными системами, демонстрируют устойчивую походку.

Ярким проявлением вышеперечисленных проблем является управление активным экзоскелетом для задач медицинской реабилитации. Следует отметить, что во многих случаях по естественным причинам человек в такой системе является чисто пассивным звеном.

Например, при атрофии нижних конечностей или недостаточной подвижности. Движение экзоскелета в таких случаях происходит самостоятельно, человек задает желаемый режим движения – встать, подойти, присесть и т. п. К системам такого типа относятся, например, экзоскелет компании REX Bionics из Новой Зеландии и экзоскелет ExoLite Юго-Западного

государственного университета из г. Курск (рис. 2). Для эффективного использования подобных систем важно обеспечить плавность движения, безопасность и подстройку движений под каждого конкретного человека.

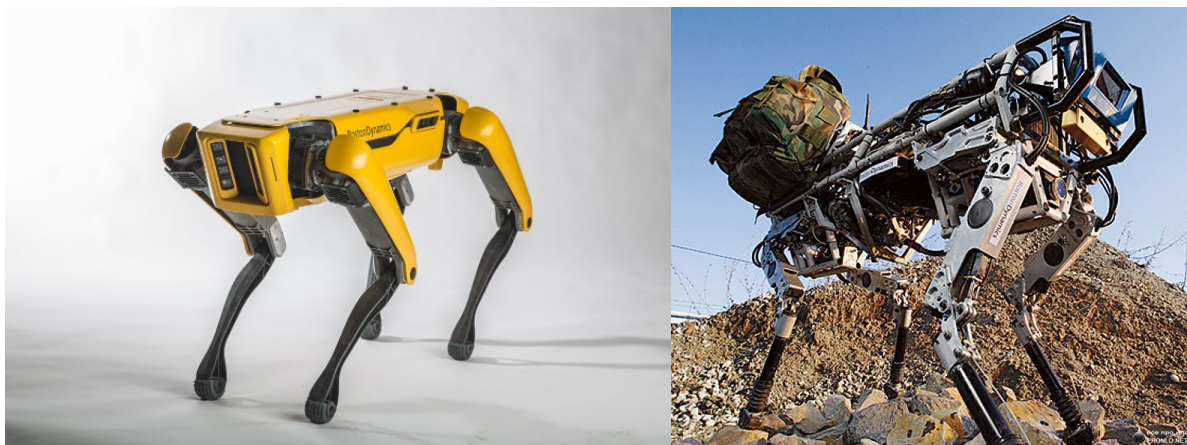


Рис. 1. Шагающие роботы BigDog и Spot Mini фирмы Boston Dynamics



Рис. 2. Экзоскелеты Exolite и REX Bionics

Сложность данной задачи заключается в необходимости одновременного управления многими степенями свободы. В соответствии с минимальными требованиями к экзоскелетам для реабилитации необходимо обеспечить для одной нижней конечности от 2 до 6 степеней свободы. Для двух ног такая система управления должна иметь уже 4–12 степеней свободы. При этом в режимах ходьбы, вставания, удержания равновесия и т. п. необходимо управлять всеми приводами, учитывая положение центра тяжести и силы инерции (динамическое управление). Математическая модель такой кинематической системы описывается системами уравнений 8–24 порядка. Для более сложных движений необходимо увеличивать количество степеней свободы, что еще больше усложняет задачу. Решение таких задач «в лоб» путем численного интегрирования в режиме реального времени на сегодняшний день не представляется возможным.

Следует отметить, что задача может быть решена различными методами: от построения упрощенной траектории математическими методами до различных методов искусственного интеллекта (ИИ). Активно используются различные упрощенные подходы, позволяющие получить приемлемое решение [1]. Так как активный экзоскелет является системой реального времени, то

естественно, что при реализации предпочтение будет отдаваться методам, обладающим наименьшей вычислительной сложностью при сохранении приемлемого качества управления. Одними из перспективных являются методы ИИ, основанные на обучении, позволяющие получить требуемый результат и обойтись без построения сложных математических моделей

### 1. Постановка задачи

Рассмотрим решение задачи управления движением многозвенным механизмом с использованием методов ИИ (рис. 2).

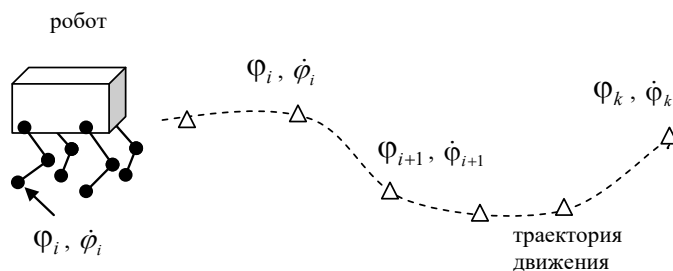


Рис. 3. Движение робота

При движении робота каждое кинематическое звено характеризуется координатой  $\Phi_i$ , определяющей его положение и скоростью  $\dot{\Phi}_i$ . Точка на траектории движения системы описывается координатами и скоростями всех звеньев робота. Система управления должна запомнить изменения координат и скорости, чтобы впоследствии обеспечивать требуемую траекторию для звеньев робота, путем подачи на исполнительные механизмы звеньев нужного воздействия. Эта задача похожа на задачу планирования траектории.

Основной принцип работы системы управления, основанной на методах искусственного интеллекта, заключается в том, что система управления должна распознать некоторую область в обобщенной многомерной системе координат возможных положений звеньев, а затем сформировать необходимый вектор управления, который приведет систему в другую известную область (другую точку на траектории управления). Затем этот процесс повторяется многократно. Таким образом, переходя из одной области в другую, можно обеспечить необходимый характер управления всем роботом. Система управления содержит классификатор, основанный на технологиях ИИ, который ставит в соответствие областям многомерной системы координат звеньев требуемые воздействия на приводы. Если рассматривать характер задания координат, то в простейшем случае используется линейная многомерная интерполяция исходных координатных функций с непрерывной первой производной (скоростью). Это связано с необходимостью управления приводами звеньев в мягком режиме – без рывков и резких остановов.

Так как траектории движения в обобщенной системе координат сложны и заранее не известны, то возникает задача обучения. Система управления должна научиться нужным траекториям движения, используя некий образец для подражания – так называемого учителя. Другой возможностью является самообучение такой системы, что требует введения оценочной функции, характеризующей качество обучения и учитывающую возможные ограничения на перемещения.

Одним из возможных методов построения обучаемой системы управления является использование нейронных сетей. Например, в работе [2] рассматривается применение нейронных сетей для планирования траектории сварочного робота-манипулятора с шестью степенями свободы в условиях сложной рабочей зоны с препятствиями. Нейронную сеть обучают обходить препятствия при перемещении манипулятора. Недостатком использования нейронных сетей является экспоненциальный рост времени обучения при возрастании сложности (например, при повышении точности), что не позволяет их обучать в реальном времени. Например, при рабочей точности перемещения сварочной головки система училась обходить препятствия за 30–40 мин.



В настоящее время за рубежом активно развиваются исследования в области шагающих роботов. Интересный обзор по применению методов машинного обучения для шагающих роботов представлен в [6]. Следует отметить, что ввиду высокой сложности задачи применение находят самые разные методы и направления – контролируемое обучение, обучение с подкреплением, самообучение и другие методы. Например, в работе [7] описывается двуногий робот, который использует несколько уровней обучаемых нейронных сетей для управления самостабилизирующейся биомеханической конструкции.

Другим перспективным методом, пригодным для построения обучаемой системы управления, является динамический ДСМ-метод [3]. В лаборатории робототехники Политехнического музея г. Москва на мобильном роботе «Амур» проводились эксперименты по построению обучаемой системы управления с помощью динамического ДСМ-метода. В качестве примера было взято движение робота по полосе, когда робот имеет несколько фотодатчиков и движется по контрастной полосе. Требовалось построить управляющую систему, которая бы заставляла робота корректно двигаться по этой полосе. Метод показал адекватность обученных систем поставленной задаче.

## 2. Динамический ДСМ-метод

Система управления, способная обучаться, может быть построена с помощью ДСМ метода. ДСМ-метод автоматического порождения гипотез [4] является теорией автоматизированных рассуждений и способом представления знаний для решения задач прогнозирования в условиях неполноты информации. Классический ДСМ метод работает с замкнутым множеством исходных примеров, которое формируется экспертом и составляет базу знаний. Каждый пример описывается множеством элементарных признаков и наличием (или отсутствием) целевого свойства. С помощью специальных логических процедур из этой базы знаний ДСМ-система получает гипотезы, которые объясняют свойства исходных примеров из-за наличия или, наоборот, отсутствия в структуре примеров определенной совокупности признаков. Таким образом, ДСМ система выделяет из исходной информации в базе знаний существенные совокупности признаков, то есть осуществляет автоматическую классификацию. ДСМ метод успешно применим в тех областях знаний, где пример можно представить в виде множества (или кортежа) элементарных признаков.

В отличие от классического ДСМ метода, который работает с замкнутым множеством исходных примеров и заранее определенными их свойствами, динамический ДСМ метод позволяет работать в открытой среде с неизвестным заранее количеством примеров [3].

Динамический ДСМ работает в двух режимах:

- обучения, когда происходит заполнение базы фактов (множество обучающих примеров) и генерируются гипотезы, составляющие базу знаний;
- рабочий, когда полученные ранее гипотезы используются для выработки сигналов управления.

Множество обучающих примеров – это множество пар вида:

$$E = \{e_i\} = \{(X_i, u^i)\},$$

где  $X_i$  – вектор координат звеньев;  $u^i$  – вектор управления (состояние исполнительных механизмов, например сервоприводов).

Гипотезы представляются в виде множества пар вида:

$$G = \{g_i\} = \{(X_i, y^i)\},$$

где  $X_i$  – часть вектора координат звеньев;  $y^i$  – требуемый вектор управления (управление исполнительными механизмами).

Существуют гипотезы двух видов: положительные гипотезы определяют, при каких входных координатах звеньев выполнять действия, приводящие к положительному результату; отрицательные гипотезы определяют, какие действия не нужно делать при данном входном воздействии. Для задач перемещения положительные гипотезы формируют набор управляющих правил для формирования заданных траекторий движения. Отрицательные гипотезы формируют набор правил блокировки перемещений, аварийной остановки и других ситуаций.

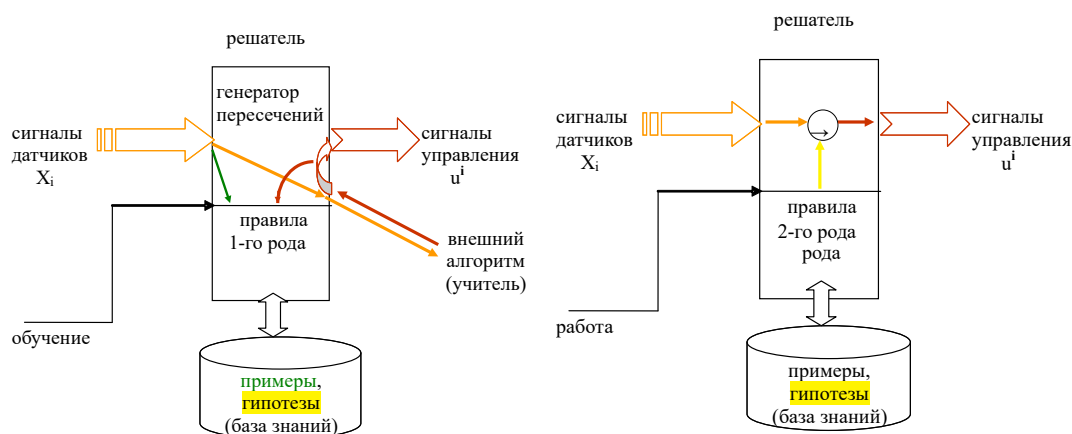


Рис. 4. Режимы обучения и рабочий режим ДСМ-системы

В режиме обучения (рис. 4) для формирования обучающих примеров используется внешняя система управления – так называемый учитель. Данная система получает на вход информацию от датчиков положения и вырабатывает управляющие сигналы, необходимые для правильного перемещения звеньев робота. Совокупность координат звеньев и выработанных для них управляющих воздействий определяет один обучающий пример. Этот пример проверяется на уникальность и заносится ДСМ системой в базу фактов. После занесения каждого нового примера во множество обучающих примеров производится поиск гипотез. На полученные гипотезы могут накладываться дополнительные ограничения, например, запрет на контрпримеры, когда положительная гипотеза не должна вкладываться в отрицательные примеры и наоборот. Эти ограничения определяются используемым ДСМ-методом [4].

Полученное множество гипотез будет содержать все возможные пересечения (общие части) обучающих примеров. Далее среди них отбираются минимальные гипотезы, то есть такие, которые вкладываются в остальные. Тем самым количество «полезных» гипотез резко сокращается. Полученные минимальные гипотезы проверяются на уникальность и заносятся в базу знаний.

Для практического применения важно определить критерий завершения. Обучение должно производиться до тех пор, пока база знаний не перестанет пополняться новыми гипотезами. Очевидно, что в этом случае обучающий алгоритм перебрал все возможные варианты входных воздействий, на которые он способен реагировать, и можно считать, что база фактов достаточно полна.

В рабочем режиме (рис. 4) ДСМ система получает на вход координаты звеньев в текущем положении, из которых формируется тестовый вектор. Принятие решения происходит путем проверки вложения гипотез в этот вектор. Если в тестовый вектор координат звеньев вкладывается гипотеза, то робот должен действовать в соответствии с ней. Если же ни одной гипотезы не найдено, то это неизвестное состояние, для которого нужно сформировать сигнал останова управления (или ничего не делать, например).

### 3. Обучение движению

Для обучения движению ДСМ-системы необходима внешняя система управления (учитель), которая принимает информацию от датчиков положения, вычисляет скорость перемещения звеньев и формирует управляющие воздействия (управляет двигателями), как показано на рис. 5.

В качестве такого учителя может выступать как сам человек, так и любая другая управляющая система. Например, в работе [5] рассматривалось обучение с помощью нечеткой системы управления.

Основным требованием к обучающей системе управления является непротиворечивость команд управления. В противном случае такие противоречивые команды могут «вести в заблуждение» обучаемую систему, что приводит к игнорированию противоречивых входных сигналов и, соответственно, снижению качества обучения.

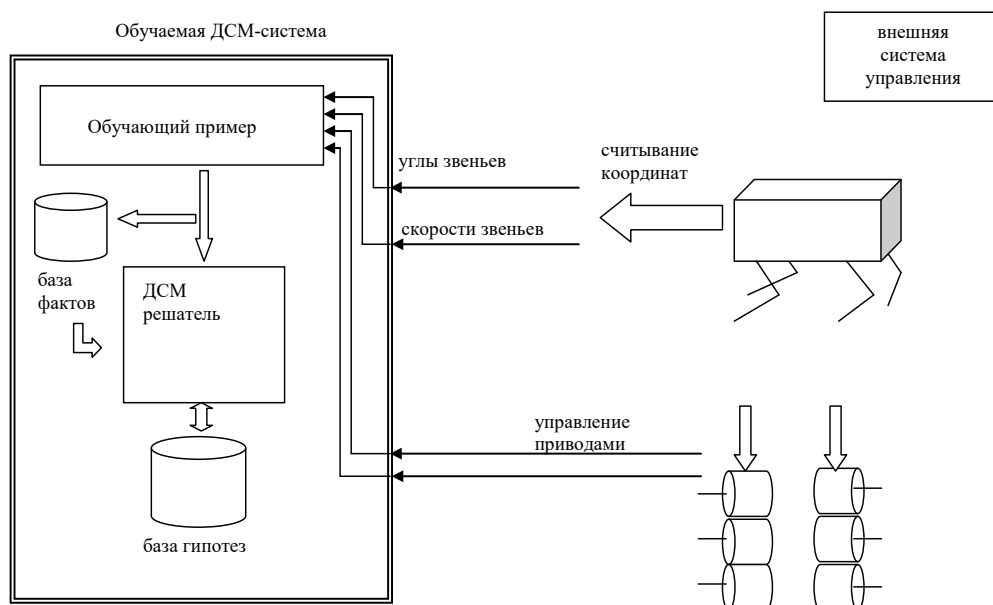


Рис. 5. Обучение ДСМ-системы

Сам процесс обучения ДСМ-системы выглядит следующим образом:

- «учитель» получает входную информацию и вырабатывает управляющие воздействия. Вся эта информация подается в ДСМ-систему, при этом формируется так называемый обучающий пример, который ДСМ-система заносит в базу фактов. Если в этой базе фактов такой пример уже есть, то ничего не происходит;

- если появляется новый обучающий пример, ранее не встречающийся в базе фактов, то в этом случае он передается ДСМ-решателю, который формирует с его помощью новую гипотезу. Если полученная гипотеза удовлетворяет критериям непротиворечивости, то она добавляется в базу гипотез;

- пополнение базы фактов и получение новых гипотез производится до тех пор, пока работает режим обучения.

Для завершения обучения критерием может служить тот факт, что перестает пополняться база гипотез. Это означает, что на вход обучаемой системы не поступает новая информация. После окончания режима обучения ДСМ-система имеет набор гипотез, которые в дальнейшем используются для работы обученной системы управления.

Работа обученной таким способом системы управления описана выше.

Эксперименты на компьютерных симуляторах и натурные эксперименты на мобильных роботах показывают, что внешние отличия в характере движения робота между работой системы-учителя и обученной с ее помощью ДСМ-системы практически отсутствуют. Это говорит о высоком качестве работы обученной системы управления.

## Заключение

На сегодняшний день задача управления многозвенными механизмами приобретает особую практическую значимость. Применение шагающих машин, активных экзоскелетов, автономных роботов с манипуляторами требует разработки эффективных систем управления такими механизмами. Ввиду высокой сложности математических моделей многозвенных механизмов, перспективным является использование обучения как метода ИИ для построения систем управления такими устройствами.

Проблема ограниченности вычислительных ресурсов системы управления в настоящее время не так актуальна, как несколько десятилетий назад. Однако для автономных устройств она является по-прежнему ключевой. Это связано как с ограничением стоимости таких систем, так и с

требованиями низкого энергопотребления (увеличение времени автономности). Следует отметить, что если нейронные сети ввиду своей архитектуры требуют весьма больших временных и емкостных затрат, то для работы ДСМ метода достаточно относительно небольших вычислительных ресурсов. Высокая скорость обучения и нетребовательность к вычислительным ресурсам позволяют выделить динамический ДСМ-метод как один из перспективных методов для построения обучаемой системы управления роботами.

Некоторым недостатком использования данного метода является необходимость представления входных данных в виде дискретного множества. Разбиение на интервалы исходных непрерывных значений позволяет только частично решить эту проблему, поскольку для увеличения точности нужно уменьшать шаг дискретизации, а при этом быстро растет размерность внутреннего представления данных и снижается быстродействие.

### Библиографический список

1. Изучение управляемого движения экзоскелета во фронтальной плоскости в режиме восстановления равновесия / С. Ф. Яцун, С. И. Савин, А. С. Яцун, А. В. Мальчиков // Труды Международной научно-технической конференции Экстремальная робототехника-2016. СПб.: ООО «АП4Принт», 2016. С. 240–245.

2. Кожевников М. М., Господ А. В. Планирование траекторий промышленных роботов на основе нейронных сетей // Исследования наукограда. 2012. № 1 (1). С. 37–41.

3. Добрынин Д. А. Динамический ДСМ-метод в задаче управления интеллектуальным роботом // Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2006, 25–28 сентября 2006 года. М.: Физматлит 2006.

4. Автоматическое порождение гипотез в интеллектуальных системах / Под. общ. ред. В. К. Финна. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 528 с.

5. Волкова Т. А., Добрынин Д. А. Сравнение системы нечеткого вывода и обучаемой ДСМ-системы при планировании движения мобильного робота // V международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления», 20–30 мая 2009 года. М.: Физматлит, 2009.

6. Wang S., Chaovalitwongse W., Babuska R. Machine Learning Algorithms in Bipedal Robot Control // IEEE transactions on systems, man, and cybernetics – part c: applications and reviews. Vol. 42. N 5. September 2012. P. 728–743.

7. Manoonpong P., Geng T., Kulvicius T. Fast Walking in a Biped Robot under Neuronal Control and Learning. PLoS Comput Biol 3 (7): e134.

УДК 681.511.26

**К. А. Евшин**

студент кафедры управления в технических системах

**А. Л. Ляшенко** – доктор технических наук, доцент– научный руководитель

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПАРОВОГО КОТЛА

### 1. Описание

#### 1.1 Описание проблемы

В настоящее время необходимый обогрев, поступающий к нам в дома, обеспечивают ТЭЦ. Электростанции данного типа также используются для получения энергии. За счет огромного КПД, достигаемого в районах 90 %, ТЭЦ не имеет существенных заменителей в сфере электроэнергетики. Основным агрегатом тепловой электростанции является паровой котел. Паровой котел – это устройство по производству пара, получаемого в результате прогрева питательной воды. Для обеспечения надежной работы котлоагрегата необходимо решить множество проблем. К их числу относятся: соблюдение всех норм при сжигании топлива, благодаря чему можно экономически выгодно добиться использование более дешевого топлива; автоматическое регулирования подачи питательной воды в котел и многие другие вопросы по обеспечению необходимым для нормальной работы котла. Для быстрого реагирования на возникшие проблемы при эксплуатации котлов необходима система управления, которая будет реагировать незамедлительно на значения датчиков, установленных в котле.

#### 1.2. Постановка задач

При разработке системы управления учитываются такие составляющие, как: объект управления, который имеет свои характеристики и процессы, протекающие в нем; устройство управления, благодаря которому достигаются задачи необходимые для регулирования того или иного процесса в самом объекте. После выбора объекта управления, а именно парового котла, необходимо подобрать датчики, которые смогут измерять уровень воды в паровом котле. При подборе датчиков нужно учитывать определенные характеристики котла, такие как: температура питательной воды в котле, температура перегретого пара, давление в барабане парового котла. При несоблюдении этих правил подвергается опасности вся система, что может привести к различным неприятностям начиная от поломок, заканчивая взрывом котла. После выбора датчиков требуется выбрать регулятор, который будет основным звеном в данной системе. С его помощью происходит контроль и регулировка уровня воды в котле, благодаря этому обеспечивается безопасность работы котлоагрегата. В дальнейшем будет собрана схема, имитирующая данную систему, тем самым можно пронаблюдать, как это работает через программную среду Matlab Simulink.

### 2. Математическая модель

За объект управления был взят паровой котел марки ТГМ-84.

#### 2.1. Описание системы управления

На рис. 2.2 изображена функциональная модель регулирования уровня. Данная модель показывает все составляющие входящие в регулирование уровня воды. Блок формирования сигнала формирует сигнал по подаче воды поступает на сумматор вместе с расходом пара. Попадая на сумматор, они суммируются с разными знаками, также к ним на сумматор попадает значение уровня  $h$ , в данном случае он используется для корректирования импульса, это необходимо для стабилизации динамического характера и устранения различных неточностей по блоку формирования и количеству водяного пара на выходе. В этом случае регулирующее устройство пытается уравнивать блок формирования сигнала и количество водяного пара на выходе.

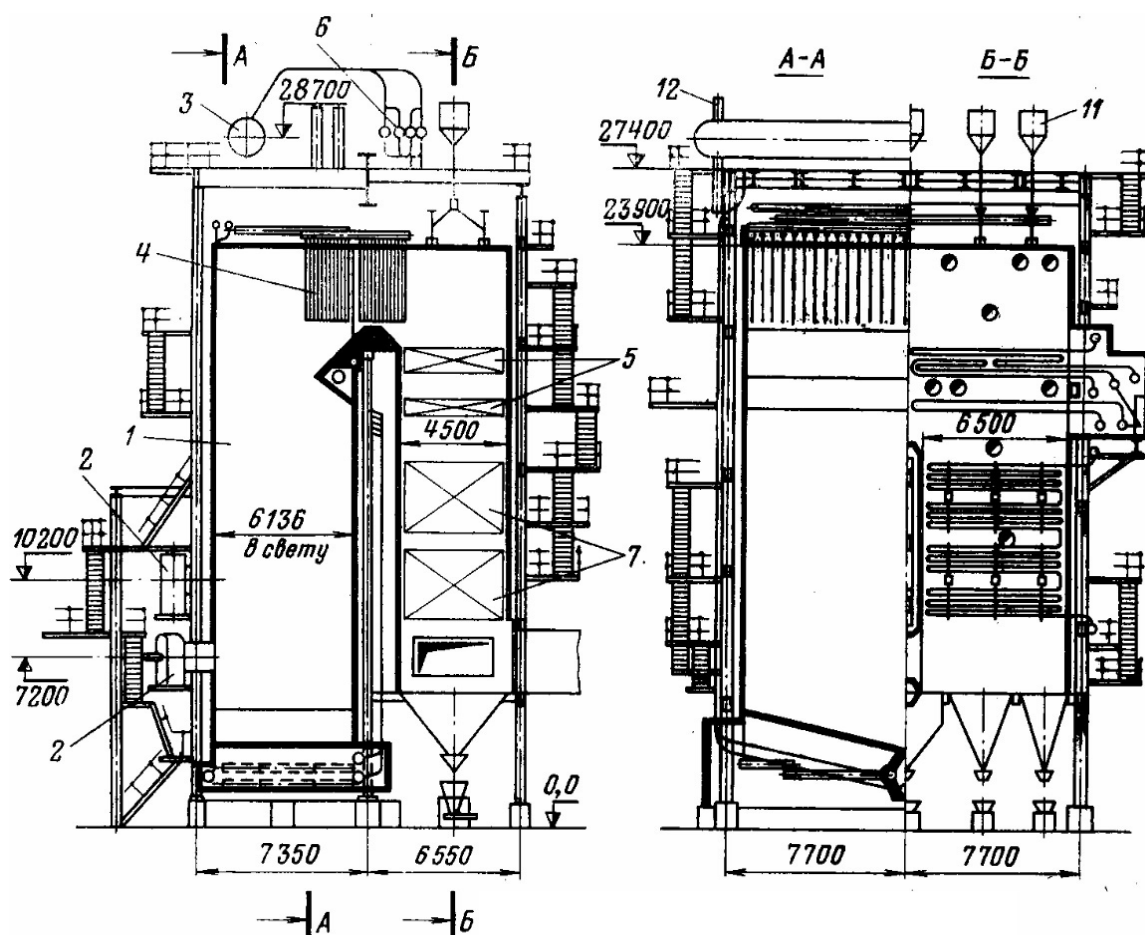


Рис. 2.1. Продольный и поперечный разрезы газомазутного котла ТГМ-84: 1 – топочная камера; 2 – горелки; 3 – барабан; 4 – ширмы; 5 – конвективный пароперегреватель; 6 – конденсационная установка; 7 – экономайзер, 11 – дробеуловитель; 12 – выносной сепарационный циклон

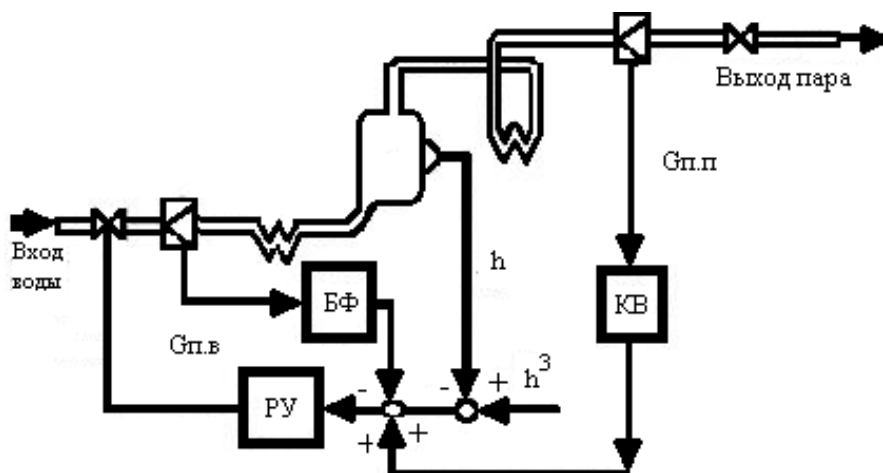


Рис. 2.2. функциональная модель регулирования уровня в барабане парового котла: РУ – регулирующее устройство; БФ – блок формирования сигнала; КВ – количество водяного пара на выходе

Для котлов имеющие большую производительность применяются трехимпульсные принципы регулирования. В него входят: учет расхода питательной воды, расхода пара и регулируемой величины, а именно уровня воды. Расходы пара и питательной воды измеряемые.

При проектировании системы автоматического регулирования уровня в котле барабана учитываются факторы, приведенные выше. Трехимпульсный регулятор эффективно уменьшает коле-

бания уровня из-за изменений расходов воды и пара, также позволяет поддерживать необходимый уровень воды в заданных пределах. Структурную модель можно наблюдать на рис. 2.3.

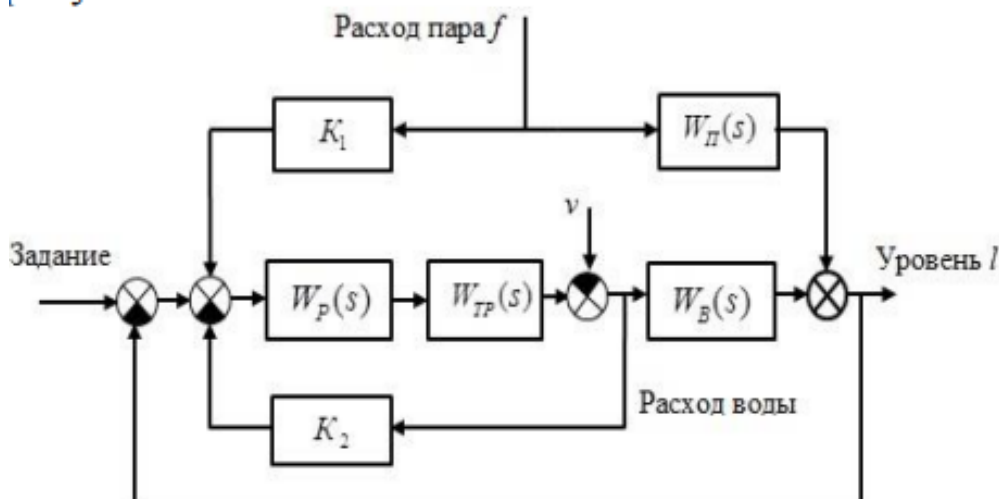


Рис. 2.3. Структурная модель регулирования уровня в барабане парового котла

Модель парового котла как объекта регулирования имеет следующую передаточную функцию (ПФ) с входом – расходом питательной воды и выходом – уровнем воды в барабане:

$$W_B(s) = \frac{1}{T_1 s} - \frac{K}{T_2 s + 1}.$$

В процессе синтеза САР примем, что передаточные функции объекта регулирования по расходам воды и пара противоположны по знаку равны по величине, то есть:

$$W_{\Pi}(s) = -W_B(s).$$

По экспериментальным данным получена ПФ объекта регулирования по каналу расхода воды:

$$W_B(s) = \frac{1}{60s} - \frac{2}{22.4s + 1}.$$

В схеме использованы следующие обозначения:  $W_K(s)$  – передаточная функция корректирующего устройства;  $W_{TP}(s)$  – передаточная функция трубопровода,  $W_B(s)$ ;  $W_{\Pi}(s)$  – передаточная функция объекта регулирования по каналам расхода воды и расхода пара;  $W_p(s)$  – передаточная функция регуляторов. По каналу управляющего воздействия имеются два контура регулирования. Первый контур состоит из регулятора  $W_p(s)$ , трубопровода  $W_{TP}(s)$ , датчика расхода воды и усилительного звена  $K_2$ . Этот контур предназначен для стабилизации расхода питательной воды при возмущении  $v$ , характеризующем изменение давления в трубопроводе. Эквивалентная передаточная функция первого контура имеет следующий вид:

$$W_p^*(s) = \frac{W_p(s) * W_{TP}(s)}{1 + K_2 * W_p(s) * W_{TP}(s)}.$$

Второй контур содержит  $W_p^*(s)$ , объект регулирования  $W_B(s)$  и датчик уровня. Так как инерционность элементов в первом контуре незначительна по сравнению с инерционностью объекта регулирования, то переходные процессы в первом контуре завершится раньше, чем во втором контуре. Первый контур стабилизирует расход воды, применяются ПИ- или ПИД-регуляторы. После

завершения переходного процесса в первом контуре его передаточную функцию можно рассматривать как передаточную функцию некоторого условного регулятора для второго контура. Имеется:

$$W_{\rho}''(s) = \frac{W_{\rho}(s) * W_{TP}(s)}{1 + K_2 * W_{\rho}(s) * W_{TP}(s)} = \frac{1}{\frac{1}{W_{\rho}(s) * W_{TP}(s)} + K_2} \approx \frac{1}{K_2}.$$

Так как:

$$K_2 = \frac{1}{W_{\rho}(s) + W_{TP}(s)},$$

обозначаем:

$$W_{\rho}''(s) \approx \frac{1}{K_2} = K_{\rho}.$$

Таким образом, при охвате ПИ-регулятора глубокой обратной связью в виде усилительного звена это соединение можно рассматривать как некоторый приведенный регулятор. Расчет внешнего контура заключается в выборе параметра этого условного регулятора. Используем метод Циглера – Никольца для внешнего контура САР, получаем:

$$k_{\rho}'' = 0,307 = \frac{1}{K_2} = \frac{1}{0,307} \approx 3.257.$$

Для первого контура имеется:

$$W_{TP}(s) = \frac{1}{s + 1},$$

$$K_2 = 3.2573$$

Используем ПИ-регулятор с параметров настройки  $k_{\Pi} = 0.1$   $T_{И} = 4_{сек}$ .

Проведем расчет коэффициента  $K_1$  корректирующего устройства по каналу расходу воды. Передаточная функция системы по каналу расхода пара имеет вид:

$$w_{ff}(s) = (k_1 + W_{\Pi}(s) * \frac{1}{w_{\rho}''(s)} * \frac{1}{w_B(s)}) * W_{lg}(s),$$

где  $W_{lg}(s) = \frac{W_{\rho}(s) * W_B(s)}{1 + W_{\rho}(s) * W_B(s)}$  – передаточная функция системы по задающему воздействию.

Принимая  $W_{\Pi}(s) \approx -W_B(s)$  и  $W_{\rho}''(s) = K_{\rho}''$ , получаем:

$$w_{ff}(s) \approx (k_1 - \frac{1}{K_{\rho}''}) * W_{lg}(s).$$

Для обеспечения условия инвариантности  $w_{ff}(s) = 0$ , то есть  $k_1 = \frac{1}{K_{\rho}''} = k_2 = 3.257$ .

2.3. Моделирование системы управления  
Моделирование САР проводилась в среде Simulink. Схема САР представлена на рис. 3.3



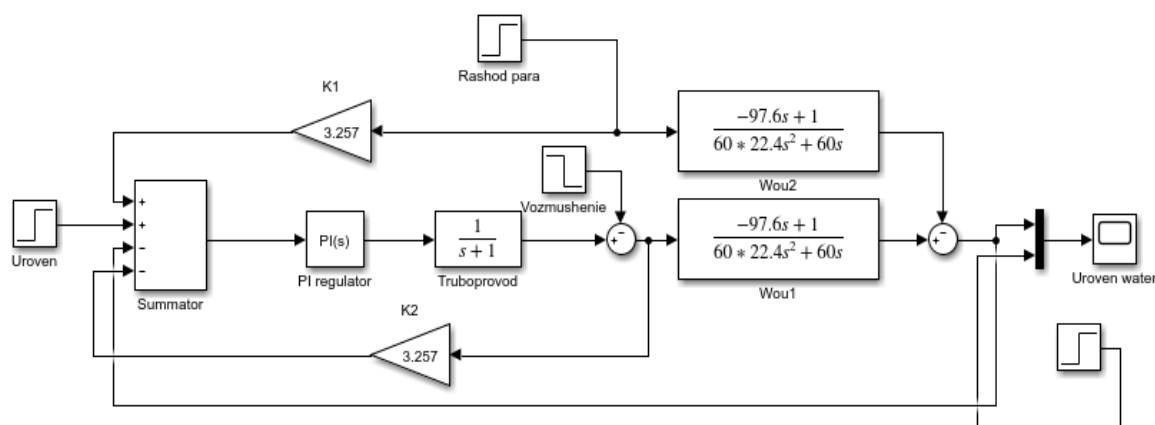


Рис. 3.3. Схема САР в среде Simulink

Результаты моделирования показали, что система автоматического регулирования с трехимпульсным регулятором обеспечивает необходимое качество регулирования. Система автоматического регулирования обеспечивает быстроту переходного процесса и точность регулирования. В процессе работы парового котла часто происходят изменения расхода пара и подачи питательной воды, система автоматического регулирования устраняет данную проблему. Графики уровня воды представлены без регулятора с возмущением (рис. 3.5) и без возмущения (рис. 3.4), а также при использовании ПИ-регулятора с возмущением (рис. 3.7) и без возмущения (рис. 3.6).

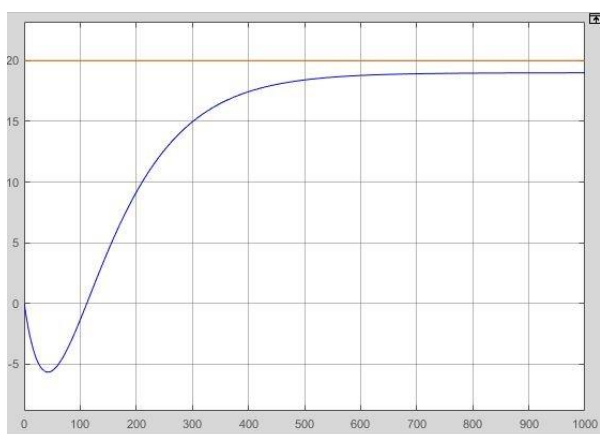


Рис. 3.4. Экранная форма графика уровня воды без регулятора и без возмущения



Рис. 3.5. Экранная форма графика уровня воды без регулятора с возмущением

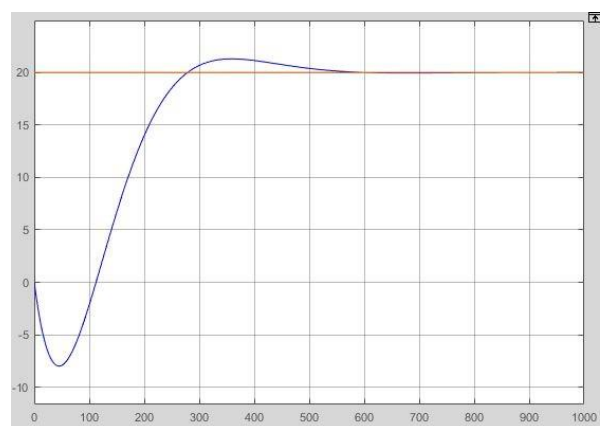


Рис. 3.6. Экранная форма графика уровня воды с ПИ-регулятором без возмущения



Рис. 3.7. Экранная форма графика уровня воды с ПИ-регулятором с возмущением

Как можно пронаблюдать из графиков, рассчитанный регулятор справляется с необходимой задачей по стабилизации воды при возмущении.

### **Заключение**

Принципиальная необходимость внедрения системы автоматического управления в промышленность обуславливается обеспечением безопасности всего оборудования от различных пагубных воздействий и поломок, а также защиты от остановок штатной работы котлов в промышленных масштабах.

В данной работе был промоделирован процесс регулирования уровня воды в котле. Такая система приводит к стабилизации значения уровня воды в котлоагрегате, за счет чего добивается надежная и правильная работа котла на предприятии.

### **Библиографический список**

1. *Калмыков М. В.* Конструкция и работа котла ТГМ-84: метод. Пособие. Самара: ТЭЦ ВАЗа, 2006.
2. *Мейкляр М. В.* Современные котельные агрегаты ТКЗ: учеб. пособие. М.: Энергия, 1978.
3. *Ковалев А. П., Лелеев Н. С., Виленский Т. В.* Парогенераторы: учеб. пособие. М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. *Бейрах Я.* Вывод уравнений динамики барабанного парового котла: учеб. пособие. М.: Автоматика и телемеханика, 1939.

УДК 62-53: 681.5.013

**В. И. Захватов**

инженер\*

\*Воронежский государственный технический университет

**МНОГОВАРИАНТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ**

Разработчики и пользователи современных систем управления обычно предпочитают простые в расчете и настройке « типовые » регуляторы, имеющие невысокий динамический порядок. Видимо, это можно объяснить тем, что выполненные по передовым теоретическим методикам проекты не имеют на практике явных преимуществ перед « типовыми », но уступают последним в сложности расчетов, настройки и реализации, потому редко используются при решении прикладных задач. Стандартные ПИ- и ПИД-регуляторы до сих пор преобладают в промышленности и в традиционных наукоемких областях – аэрокосмической, электротехнической, мехатронной и робототехнической. И, скорее всего, они не потеряют актуальности в ближайшем будущем.

Одним из важных требований к алгоритмам управления сегодня является необходимость поддержания заданного качества в условиях существенного изменения параметров объектов. Однако способность к непосредственному многорежимному управлению без использования сложных алгоритмов адаптации и смены структур известные методы проектирования стандартных регуляторов не поддерживают. В связи с этим рассмотрим один из возможных путей придания такой способности традиционным регуляторам на этапе проектирования с привлечением операторно-алгебраических методов.

Постановка и решение задач синтеза систем управления операторным методом с использованием алгебры полиномов и аппарата передаточных функций привлекает внимание исследователей в силу его возможностей обеспечивать реальные инженерные требования к системам. Но типовые численные процедуры синтеза предполагают задание строго определенных значений параметров управляемого объекта и желаемой модели замкнутой системы [1, 2]. Желаемой моделью обычно служит некоторый типовой нормированный характеристический полином с численными значениями коэффициентов. В случае изменения по каким-либо причинам исходных числовых параметров приходится повторять заново всю последовательность вычислений. Для объектов с неопределенностью, с изменяющимися условиями и режимами эксплуатации выходом из положения могло бы служить получение обобщенных алгоритмов управления, охватывающих все или большинство возможных вариантов. Это становится возможным за счет получения прямых аналитических зависимостей настроек регуляторов от обобщенных параметров объекта и желаемой модели замкнутой системы в целом с применением символьных вычислений [3, 4].

Постановка задачи синтеза регуляторов методом символьного решения полиномиальных уравнений относительно комплексной переменной преобразования Лапласа  $s$ , для объекта с передаточной функцией  $W_0(s) = B(s) / A(s)$  и выбранной структурой желаемой модели (характеристического полинома, ХП) замкнутой системы управления  $C(s)$ , заданных в аналитической (символьной) форме записи, заключается в следующем. Необходимо найти с применением программ компьютерной алгебры аналитические значения неизвестных параметров регулятора  $W_p(s) = Y(s) / X(s)$ , удовлетворяющих решению полиномиального уравнения синтеза (1) :

$$A(s)X(s) + B(s)Y(s) = C(s). \quad (1)$$

Рассмотрим процедуру аналитического синтеза ПИ-регулятора формализованным полиномиальным методом на примере построения системы управления угловой скоростью электропривода постоянного тока с тахометрическим датчиком обратной связи. Двигатель постоянного тока, питаемый линейным усилителем мощности, который будем считать безынерционным, имеет передаточную функцию второго порядка:

$$W_0(s) = B(s) / A(s) = k / (T_{\text{я}}T_M s^2 + T_M s + 1), \quad (2)$$

где  $T_M$  и  $T_{\text{я}}$  – постоянные времени двигателя (электромеханическая и электромагнитная);  $k$  – общий коэффициент передачи усилителя мощности и двигателя, управляемого по цепи якоря.

Передаточная функция искомого ПИ-регулятора имеет следующий вид:

$$W_P(s) = \frac{x_1 s + x_2}{s}.$$

Желаемый характеристический полином (ХП) системы назначим в виде бинома Ньютона:

$$C(s) = (s + \lambda)^3.$$

Этим достигается монотонный переходный процесс без перерегулирования. Устойчивость системы обеспечивается условием  $\lambda > 0$ . Величина коэффициента  $\lambda$  определяет требуемое быстродействие и полосу пропускания системы. Для расчета неизвестных параметров настройки ПИ-регулятора  $x_1$ ,  $x_2$  и значения коэффициента  $\lambda$  желаемого ХП в функции параметров объекта (2) составим систему алгебраических уравнений (3) сравнением коэффициентов при одинаковых степенях переменной  $s$  в левой и правой частях уравнения синтеза (1):

$$\begin{cases} T_M - 3T_M T_{\text{я}} \lambda = 0 \\ -3T_M T_{\text{я}} \lambda^2 + kx_1 + 1 = 0 \\ -T_M T_{\text{я}} \lambda^3 + kx_2 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Символьное решение системы алгебраических уравнений (3) методами компьютерной алгебры позволяет найти аналитические выражения для коэффициентов настройки ПИ-регулятора и параметра быстродействия  $\lambda$  желаемого ХП системы в зависимости от обобщенных параметров электропривода:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{T_M - 3T_{\text{я}}}{3T_{\text{я}}k} \\ \frac{T_M}{27T_{\text{я}}^2k} \\ \frac{1}{3T_{\text{я}}} \end{bmatrix}$$

В итоге, подставив найденные значения настроек регулятора  $x_1$ ,  $x_2$ , получим после преобразований передаточную функцию регулятора в символьной форме записи:

$$W_P(s) = \frac{(9T_M T_{\text{я}} - 27T_{\text{я}}^2)s + T_M}{27T_{\text{я}}^2 k s}. \quad (4)$$

Данную передаточную функцию можно представить в более удобной форме для практической реализации ПИ-регулятора с дополнительным внешним входом, задающим изменяемую электро-механическую постоянную времени электропривода  $T_M$ , если ее значение удастся идентифицировать:

$$W_P(s) = \frac{9T_{\text{я}}s + 1}{27T_{\text{я}}^2 k s} T_M - \frac{1}{k}. \quad (5)$$

Анализ полученной передаточной функции (4) позволяет выявить условие положительности коэффициента  $x_1$  регулятора и его минимально-фазовый характер, что выполняется при условии  $T_M > 3T_{\text{я}}$ . В этом случае говорят, что объект сильно стабилизируем или система обладает свой-

ством сильной стабилизируемости, чем обеспечивается отсутствие дополнительных выбросов в переходных процессах. Полученная аналитическая форма передаточной функции регулятора (4) или (5) носит достаточно универсальный характер и может быть использована для настройки регуляторов подобных электроприводов при изменении электромеханической постоянной времени  $T_M$  в результате, например, изменения момента инерции нагрузки.

Отметим, что в данном случае быстродействие и полоса пропускания системы остаются постоянными при вариациях  $T_M$ , поскольку параметр ХП целиком определяется величиной электромагнитной постоянной времени:  $\lambda = \frac{1}{3T_J}$ . Эффект сохранения быстродействия объясняется тем,

что с ростом  $T_M$  одновременно пропорционально повышаются и коэффициенты передачи регулятора в соответствии с (4) или (5), пока не наступит насыщение усилителя мощности. Причем при перестройках сохраняется заданное качество переходных процессов, которое определяется формой принятого при расчетах биномиального желаемого ХП.

### Библиографический список

1. Chen C.T. Linear system theory and design. 3rd ed. New York: Oxford University Press, 1999. 334 p.

2. Ишматов З. Ш. Микропроцессорное управление электроприводами и технологическими объектами. Полиномиальные методы. Екатеринбург, 2007. 278 с.

3. Захватов В. И. Развитие алгебраических методов синтеза систем управления // Некоторые вопросы анализа, алгебры, геометрии и математического образования. 2016. № 5-1. С. 133–134.

4. Захватов В. И. Методы компьютерной алгебры полиномов в задачах автоматического управления / XIII Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-2019). Москва, 17-20 Июня 2019 года. URL: [https://vspu2019.ipu.ru/files/vspu/Доклады ВСПУ-2019/18\\_В БКЗ/ЗахватовВИ.pdf](https://vspu2019.ipu.ru/files/vspu/Доклады ВСПУ-2019/18_В БКЗ/ЗахватовВИ.pdf) (дата обращения: 24.02.2020).

УДК 621.372.512.33

**М. Р. Кадыркаева**

студентка кафедры управления в технических системах

**С. Ю. Мельников** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗОНАТОРОВ НА СОВРЕМЕННЫХ АНАЛИЗАТОРАХ ЦЕПЕЙ

Кварцевый резонатор – электронный прибор, в котором пьезоэлектрический эффект и явление механического резонанса используются для построения высокочастотного резонансного элемента электронной схемы.

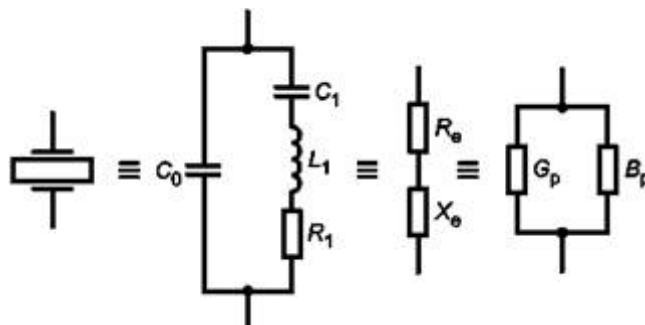


Рис. 1. Эквивалентная схема кварцевого резонатора

Кварцевый резонатор принято определять через частоту последовательного резонанса ( $F_r$ ) и параметры его эквивалентной схемы (рис. 1):

- динамическое сопротивление  $R_1$ , Ом;
- динамическую емкость  $C_1$ , фФ;
- шунтирующую емкость  $C_0$ , пФ;
- динамическую индуктивность  $L_1$ , мГн.

Определяют также добротность колебательной системы  $Q$  (ГОСТ Р МЭК 60122-1-2009).

При производстве кварцевых резонаторов одна из основных проблем – это контроль качества их изготовления и соответственно измерения частоты последовательного резонанса, добротности и параметров эквивалентной схемы.

На текущий момент их измерение согласно ГОСТ Р МЭК 60122-1-2009 [1] должно производиться по методикам IEC 60444-5 [2]. В соответствии с ГОСТ для определения параметров резонатора необходимо найти полную проводимость резонатора в измерительном четырехполюснике. Эта задача реализуется на специализированных приборах – измерителях импеданса.

На данный момент из приборов этого класса в Государственном реестре измерительного оборудования присутствуют лишь приборы фирмы Keysight (США), имеющие очень высокую стоимость.

Для снижения затрат при решении этой задачи была разработана методика измерения частоты последовательного резонанса, добротности и параметров эквивалентной схемы, основанная на IEC 60444-5, но позволяющая рассчитать эти характеристики только через измерения  $S$ -параметров резонатора в измерительном четырехполюснике (см. IEC 60444-5).  $S$ -параметры – это набор коэффициентов:  $S_{11}$  – коэффициент отражения от входа при условии, что нагрузка на выходе энергию не отражает,  $S_{22}$  – коэффициент отражения от выхода при условии, что коэффициент отражения генератора равен нулю,  $S_{21}$  – коэффициент передачи падающей волны от входа к выходу,  $S_{12}$  – коэффициент передачи падающей волны от выхода к входу.

Предлагаемая методика дает возможность проводить измерения параметров кварцевых резонаторов, используя сравнительно недорогие векторные анализаторы цепей, например, линейку векторных анализаторов цепей «Обзор» челябинской фирмы «Планар».

Реализация разработанной методики включает в себя несколько этапов:

1. Определяем эквивалентное сопротивление схемы четырехполюсника

$$2. R_{cx} = \frac{1}{\frac{1}{(KR_k)} - \frac{1}{R_{ex}}},$$

где  $K$  – модуль коэффициента передачи;  $R_k$  – номинал калибровочного резистора;  $R_{ex}$  – входное сопротивление анализатора цепей.

3. Измеряем статическую емкость

$$R_{c0} = \frac{R_{cx}(1-K)}{K}.$$

4. Вводим коррекцию на неидеальность используемого четырехполюсника

$$R_{c01} = \frac{1}{\frac{1}{R_{c0}} - \frac{1}{R_{open}}},$$

где  $R_{open}$  – сопротивление при разомкнутых контактах на данной частоте.

$$C_0 = \frac{\text{Im}(S_{21c0}) - \text{Im}(S_{21open})}{2\pi F_{c0} R_{c01}},$$

где  $S_{21c0}$  – коэффициент передачи на частоте измерения  $C_0$ .

5. В соответствии с методом окружности IEC 60444-5 определяем частоту последовательного резонанса

$$x_0 = \frac{W_1 N_{22} - W_2 N_{21}}{|N|};$$

$$y_0 = \frac{W_2 N_{11} - W_1 N_{21}}{|N|};$$

$$R = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + \frac{\left( \sum_{i=1}^n x^2 + \sum_{i=1}^n y^2 - 2 \left( x_0 \cdot \sum_{i=1}^n x + y_0 \cdot \sum_{i=1}^n y \right) \right)}{n}},$$

где  $n$  – число точек измерения;  $x_0, y_0$  – координаты центра окружности;  $x, y$  –  $\text{Re}(S_{21})$  и  $\text{Im}(S_{21})$  в измеренных точках;  $R$  – радиус окружности.

6. Определяем динамические параметры и добротность:  
динамическое сопротивление

$$R = R_{cx} \frac{(1-K_r)}{K_r},$$

где  $K_r = |\text{Re}(S_{21})|$ .

Эффективная добротность

$$Q = \frac{F_r}{\Delta F},$$

где  $F_r$  – резонансная частота;  $\Delta F$  – полоса частот по уровню.

$$L_1 = \frac{Q_{эф}(R + R_{cx})}{2\pi F_r}, \quad C_1 = \frac{1}{Q_{эф} \cdot 2\pi F_r (R + R_{cx})}, \quad Q_{эф} = \frac{\omega_s L_1}{R + R_{cx}}.$$

Соответственно полная добротность

$$Q = \frac{2\pi F_r L_1}{R}$$

Для детального исследования на практике был выбран анализатор цепей ОБЗОР-103 и два кварцевых резонатора на 10 МГц (1 гармоника и АТ-срез кристалла, 3 гармоника и SC-срез кристалла) и один на 100 МГц (5 гармоника и SC-срез кристалла). Срезы в кристаллах влияют на их свойства. АТ-срез позволяет создавать устройства с независимостью электрических параметров от температуры [3], а SC-срез обеспечивает компенсацию механических деформаций [4]. Результаты измерений динамических параметров и погрешностей измерений приведены соответственно в табл. 1 и 2.

Таблица 1

## Результаты измерений динамических параметров кварцевых резонаторов

Резонатор	Динамическое сопротивление $R_1$ , Ом	Динамическая емкость $C_1$ , фФ	Шунтирующая емкость $C_0$ , пФ	Динамическая индуктивность $L_1$ , мГн	Добротность, $Q \times 100$
10 МГц, 1 гармоника, АТ-срез	3,4	17,71	2,94	298	250
10 МГц, 3 гармоника, SC-срез	68,2	0,19	2,27	1326,4	1200
100 МГц, 5 гармоника, SC-срез	41,9	0,29	4,33	8,55	100

Таблица 2

## Результаты вычисления погрешностей

Резонатор	Частота последовательного резонанса $F_r$ , ppm	Динамическое сопротивление $R_1$ , %	Динамическая емкость $C_1$ , %	Шунтирующая емкость $C_0$ , %	Динамическая индуктивность $L_1$ , %	Добротность $Q$ , $\times 100$
10 МГц, 1 гармоника, АТ-срез	0,6	19,1	5,0	6,2	1,7	3,1
10 МГц, 3 гармоника, SC-срез	0,11	2,9	2,8	8,1	7,5	3,9
100 МГц, 5 гармоника, SC-срез	0,21	2,3	2,8	2,5	1,3	3,2

Рассчитанные и представленные в табл. 2 погрешности малы. Нормой по техническим условиям считаются 0,2–0,3 ppm для частоты, 10 % для  $C_1$ , 15 % для  $C_0$ , 15 % для  $L_1$ , 10 % для  $Q$ , следовательно, в условиях производства для изучения и контроля параметров резонаторов при использовании описанных выше методов измерений вполне подходят некоторые недорогие анализаторы цепей. Они справляются с этой задачей не хуже дорогостоящих RLC-анализаторов.

## Библиографический список

1. ГОСТ Р МЭК 60122-1, 2009.
2. Международный стандарт IEC 60444-1-5, 1995.
3. Сергеев В. В. Кристаллография и минералогия: учеб.-метод. пособие. Екатеринбург, 2017. 152 с.
4. Риле Ф. Стандарты частоты. Принципы и приложения / Пер. с англ. М.: Физматлит, 2009. 512 с.



УДК 658

**А. Е. Керс**

студент кафедры программно-целевого управления в приборостроении

**Ю. Г. Терентьева** – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ

### Введение

Сегодня модернизация систем управления предприятия тесно связана с относительно новыми системами ERP, которые позволяют производить модернизацию как системы в целом, так и отдельных ее модулей. Внедрение ERP-системы представляет собой большой проект, который изменит структуру компании, управления, организации на производстве и т. д. Каждое предприятие, которое проходит через изменения, сталкивается с различного рода трудностями и проблемами. Наличие сложностей при внедрении ERP-системы оказывает значительное влияние на реализацию проекта сопровождаемого, как правило, рисками, что в итоге может обречь его на неудачу.

Как и все современные системы, ERP имеет ряд недостатков, не позволяющих использовать систему каждому предприятию, а также пользоваться всеми преимуществами и возможностями подобного рода систем. К таким недостаткам можно отнести отсутствие мобильности системы, то есть невозможность мобильного контроля ее состояния и отдельных участков, а также отсутствие комплексности отдельных модулей системы и сложность внедрения, оказывающих отрицательное воздействие на популярность данных систем, следовательно, на их развитие.

### Обзор литературы

По мнению социального СМИ об IT-технологиях: «По мере структурирования промышленных компаний все более популярными становятся современные автоматизированные системы поддержки управленческой деятельности, так называемые ERP-системы (от англ. *Enterprise resources planning* – управление ресурсами предприятия), которые позволяют создать единую среду для автоматизации планирования, учета, контроля и анализа всех основных бизнес-операций в масштабе предприятия. Конкурентоспособность и успешность компаний в условиях рыночной экономики напрямую зависят от их способности к быстрой адаптации и мгновенному реагированию на изменение рыночной среды. Новые горизонты бизнеса и новые задачи требуют частого пересмотра бизнес-процессов, а увеличивающиеся объемы накапливаемых данных – новых, более совершенных средств управления ими. Система управления предприятием позволяет топ-менеджменту и собственникам бизнеса повысить конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность компании за счет оптимизации и стандартизации бизнес-процессов с использованием лучших мировых практик и обеспечения прозрачности операционной и финансовой деятельности и применения IT-инструментов» [1].

Комплексная автоматизация процессов управления предприятием – это переход к управленческой концепции, включающей в себя одновременно инструменты и стандарты управления. Такой путь к повышению эффективности предприятия предполагает комплексный подход к оптимизации бизнеса. Прежде всего система управления предприятием должна предоставить руководству новые возможности, поддерживающие управленческие изменения и эволюцию бизнес-процессов.

Основные проблемы при внедрении ERP-системы на предприятии и способы их решения представлены ниже:

*нехватка инфраструктуры и недостаточные мощности.* Такие проблемы могут привести к провалу всего проекта внедрения системы. Для поддержки внедрения необходимо понимать, какие мощности потребуются новой системе для корректной работы. Все ресурсы для внедрения системы необходимо подготовить до самого процесса внедрения;

*отсутствие поддержки руководства.* Эта проблема может замедлить процесс внедрения системы и тем самым сдвинуть все сроки. Руководству необходимо принимать участие для принятия быстрых решений и мониторинга самого проекта внедрения;

*негативное отношение к изменениям.* Внедрение ERP-системы всегда подразумевает многочисленные изменения в компании. Но, к сожалению, не все сотрудники готовы принять перемены и могут им сопротивляться. Руководству компании важно помочь понять, что эти перемены помогут оптимизировать работу компании и выполнять задачи сотрудникам станет проще благодаря новым функциям в системе;

*некачественное обучение.* Это создаст проблемы в будущей эксплуатации ERP-системы. Для понимания основных процессов и функций в новой системе сотрудникам необходимо пройти соответствующее курсы, чтобы все они понимали основные возможности новой системы. Также необходимо создать базу знаний для внедренной системы, чтобы пользователи после прохождения обучения всегда могли обратиться к необходимой информации;

*нереалистичное планирование.* Если разработанный проект внедрения не будет соответствовать реальности и поставленные задачи будет невозможно выполнить в поставленный срок, то он, скорее всего, будет обречен на неудачу. Организациям необходимо проанализировать выявленные задачи, требования и понять, возможно ли выполнить запланированное. Также рекомендуется согласовать проект по внедрению с руководителями отделов и со всеми участниками внедрения системы, так как при согласовании проекта могут быть выявлены несоответствия в планировании, которые следует исправить;

*неверный выбор конфигурации поставщика и системы.* Если выбранная платформа для внедрения не будет соответствовать требованиям организации, то весь проект может быть неудачным. При выборе системы необходимо обратить внимание на репутацию и опыт поставщика, проверить его последние проекты и при возникновении необходимости узнать качество работы у последних заказчиков. Описанные выше проблемы могут встретиться на любой стадии проекта и иметь разный характер важности. На российском рынке предприятия сталкиваются с проблемой ориентации современных систем на западные рынки, тем самым делают невозможным внедрение. Некоторые модули не могут работать в реалиях российского рынка.

Трудности также возникают из-за человеческого фактора на предприятиях, что приводит к вышеперечисленным ошибкам при внедрении, следовательно, отсутствию положительного эффекта. Для российских предприятий современные ERP-системы кажутся неэффективными. Отсутствие интуитивного интерфейса обращения с ERP отталкивает руководство предприятий. Отдельным пунктом стоит выделить проблему мобильности данных систем. Из-за дорогостоящего внедрения систем и отсутствия концептуального нового подхода к использованию данных систем предприятия не решаются на подобное внедрение. Решением данной проблемы может послужить увеличение мобильности. Под мобильностью следует понимать как обслуживание систем на удаленном доступе, так и создание мобильной платформы для удаленного мониторинга и управления отдельными элементами предприятия. Таким образом, предприятие и все его процессы смогут управляться с помощью мобильной платформы, без участия большого количества персонала.

### Основная часть

Для предприятия любого уровня внедрение ERP-системы может стать затратным мероприятием. Недостатком данных систем является высокая стоимость и продолжительное время установки и настройки. Необходимы как сами компоненты системы, так и дальнейшие работы по планированию деятельности, настройке, полному внедрению и сервисному обслуживанию. Внедрение подобной системы может занять от 1 до 3 лет. При этом системы ERP имеют низкий уровень совместимости с современными бизнес-процессами, не все системы смогут контролировать сложные бизнес-процессы, а для систем, имеющих большой спектр настроек, возникает проблема изменения при модернизации бизнес-процессов. При успешном внедрении ERP-систем в процессы предприятия возникают сложности с освоением программ контроля для осуществления мониторинга и настройки. Как правило, ERP-системы обладают сложным интерфейсом для коммуникации с пользователем. Для успешного внедрения и работы ERP-системы потребуется долгое обучение персонала. Затрат-

ность модернизации не заканчивается на приобретении определенной ERP-системы, основным пунктом затрат является поддержание работоспособности системы, ее сервисное обслуживание. Зачастую поставщики стараются навязать как можно больше сервисных услуг.

Внедрение ERP-системы на предприятии технически сложный процесс, но как показывает практика, еще сложнее поддерживать ее функционирование. Технический мониторинг всех процессов может осуществлять только подготовленный персонал, в основном только компания-поставщик может грамотно наладить весь функционал подобных систем. Системы ERP сегодня позволяют автоматизировать множество процессов на предприятии, но возникают сложности с освоением программ работы с данными системами. При грамотной настройке данные системы могут охватывать все отделы предприятия, начиная с самых банальных операций и заканчивая контролем безопасности и предотвращения аварийных ситуаций. При наличии грамотной мобильной платформы данные системы позволят не только сочетать в себе мониторинг и контроль всех отделов предприятия, но и возможность упрощенного взаимодействия с ERP-системой, а также удаленный доступ для удобства работы штатных сотрудников.

### Результаты исследований

Системы управления предприятием сегодня не полностью комплексны, и существует очевидная надобность в доработке. Необходимо добавление новых модулей из различных звеньев предприятия, таких как безопасность, полный контроль за объектами, и, конечно же, мобильность. Разработка мобильной платформы позволит осуществлять мобильный контроль с помощью персональных устройств на понятном языке, чтобы контролирующие органы смогли выполнять свои обязанности удаленно от громоздких вычислительных станций, например с планшета устройства. Данная платформа должна сочетать в себе возможность взаимодействия с каждым из отделов системы управления предприятием нового поколения. Это решение позволит мобильно отслеживать объекты предприятия и принимать решения мгновенно, а также вести полный контроль за всеми процессами работы предприятия и его положения безопасности. Современные технологии позволяют заменить вычислительные станции больших объемов на комплекс мобильных приложений для осуществления мобильного контроля. Добавление новых модулей упростит задачи, автоматизирует множество процессов предприятия, тем самым увеличив энергоэффективность предприятия, уменьшит финансовые затраты современных предприятий.

### Библиографический список

1. Хабрахабр – социальное СМИ об IT. URL: <https://habr.com/ru/> (дата обращения: 02.02.2020).
2. Enterprise Resource Planning Systems: Systems, Life Cycle, Electronic Commerce, and Risk // Scientific American, 2004.
3. Microsoft Dynamics – ERP systems. URL: <https://www.clouderp.ru/tool/796/> (дата обращения: 02.02.2020).
4. Lee H. HighLoad++ // Высоконагруженные системы. URL: <https://www.highload.ru/> (дата обращения: 01.02.2020).
5. ERP – online. // Независимый ERP-портал. URL: <http://www.erp-online.ru/> (дата обращения: 05.02.2020).

## УДК 330

**Р. А. Клепцов**

студент кафедры программно-целевого управления в приборостроении

**В. А. Семенова** – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель**ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ БИЗНЕСА**

Цифровая трансформация (ЦТ) – это комплекс преобразований организации, включая изменение бизнес-моделей на основе новых технологических возможностей. Трансформация предполагает не только инвестиции в новые технологии (искусственный интеллект, блокчейн, анализ данных и интернет вещей), но и глубокое преобразование продуктов и услуг, структуры организации, стратегии развития, работы с клиентами и корпоративной культуры. Другими словами, это революционная трансформация модели организации. Цифровая трансформация нужна тем бизнесам, которые еще не в цифре или которые не были созданы изначально в цифре.

Цифровая трансформация бизнес-процессов направлена на то, чтобы компании оперативно принимали решения, моментально адаптировали работу к требованиям текущего момента и удовлетворяли потребности клиентов. Если предприятие не использует возможности современных технологий, не адаптируется к темпу и особенностям ведения бизнеса, оно не сможет конкурировать с теми, кто уже это делает [1].

Технологии цифровизации позволяют организовать максимально персонализированное взаимодействие, релевантное для большинства клиентов. Цифровые каналы связи, искусственный интеллект, роботизация – со всем этим мы уже сталкиваемся в нашей повседневной жизни. Клиенты – основная движущая сила цифровизации. Каждый день они взаимодействуют с коммерческими и государственными компаниями, многие из которых уже начали трансформировать свою деятельность. В таких случаях клиент видит, что современные технологии делают процессы более быстрыми и простыми, поэтому ожидает таких изменений и от других предприятий [2].

Под клиентским опытом понимается не только взаимодействие с компанией внешних заказчиков, но также внутренних клиентов. Цифровая трансформация процессов оптимизирует работу сотрудников предприятия, благодаря чему растет продуктивность каждого отдельного члена команды. Например, автоматизация рутинных операций предоставляет больше времени для решения действительно важных и сложных задач.

Согласно прогнозам IDC мировые расходы на цифровую трансформацию в 2019 году составили около 2 триллионов долларов. Более 70 % компаний признают, что у них уже есть digital-стратегия или они работают над ее созданием [3].

Основы внедрения цифровой трансформации в бизнес:

- 1) выявление сути бизнеса и перспектив его развития, приоритетов бизнеса, требований бизнеса к ИТ;
- 2) выбор целесообразных новых ИТ-технологий. Анализ возможностей новых ИТ-технологий;
- 3) анализ текущего состояния ИТ (информационные системы, инфраструктура ИТ, управление ИТ);
- 4) учет размера компании, отрасли, других особенностей;
- 5) определение ответственных за цифровую трансформацию бизнеса;
- 6) определение рамок проекта по цифровой трансформации бизнеса: время, деньги, люди, методики, элементы ИТ и бизнеса;
- 7) разработка стратегии цифровой трансформации бизнеса.

Специфика цифровой трансформации представляет собой:

- 1) цифровая трансформация – это изменение текущих практик ведения бизнеса в области принятия решений, которые либо принимаются человеком на основе анализа данных, либо исключают человека из процесса;
- 2) алгоритмы позволяют не только ускорять и улучшать процессы в текущих бизнес-моделях, но и создавать новые бизнес-модели, такие как экосистемные, платформенные бизнесы;

3) новые модели, основанные на использовании аналитики данных, позволяют предложить огромный выбор, персонализацию, скорость и дешевизну на масштабе, недоступном традиционным компаниям;

4) для проведения цифровой трансформации нельзя использовать только одну технологию или оцифровать один бизнес-процесс. Необходим комплексный подход к использованию информационных технологий во всех процессах компании, причем не только внутри, но и при взаимодействии с окружающим миром, заказчиками, партнерами и государством.

Проблематика ЦТ заключается в следующем:

1) административные проблемы – несоответствие действующего отраслевого регулирования потребностям нового технологического уклада, отсутствие единых стандартов;

2) информационные – недостаток информации о ЦТ и их возможностях, недоверие к технологиям и выгодам от их внедрения на предприятиях;

3) кадровые – нехватка кадров. На текущем этапе кадровая нехватка не рассматривается как критическая проблема ЦТ, эксперты сходятся во мнении, что по мере развития ЦТ именно эта проблема будет приобретать все более масштабный характер;

4) финансовые – нехватка средств для реализации проекта;

5) вопрос мотивации руководящего состава, цифровая грамотность среднего и верхнего уровня менеджмента на предприятиях. Психологические барьеры и неразумный консерватизм;

6) инновации в технологической области слабо поддерживаются инновациями в области экономики и управления;

7) успешно реализованные новые технологические возможности по работе с информацией и информационными (цифровыми) сущностями приносят предприятию не только улучшения, но и новые угрозы: для организационной структуры, для операционной деятельности (кибербезопасность), для принятия управленческих решений.

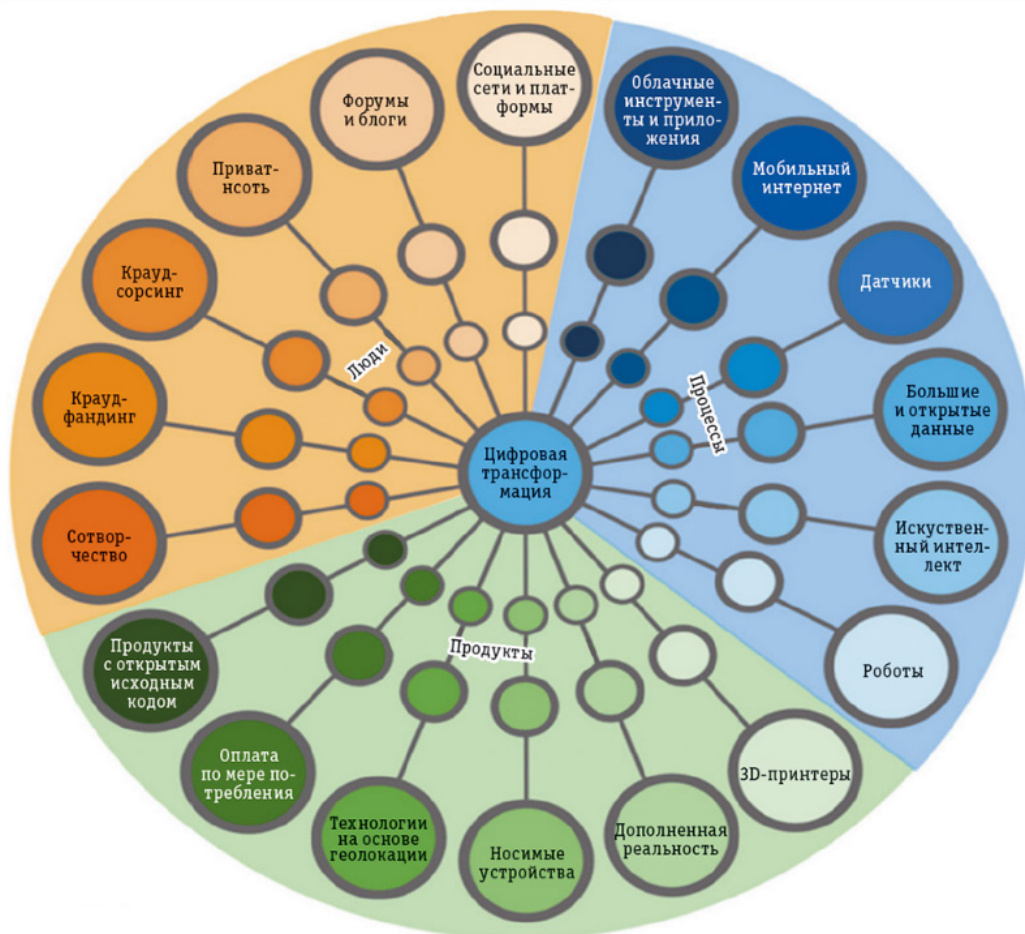


Рис. 1. Схематическое представление функций ЦТ

а) люди – это пользователи, которые все активнее применяют технологии совместного создания продуктов, собирают средства, решают задачи коллективно с помощью методов crowdsourcing, введут диалоги и монологи с помощью форумов, соц. сетей и блогов;

б) процессы – это переход к облачным технологиям, мобильный Интернет, аналитика Big-Data, искусственный интеллект, сенсоры и роботизация;

в) продукты – это 3D-принтеры, VR-технологии, wearables (технологии которые человек может носить с собой или на себе), технологии с определением геолокации и т. п.

Цифровая трансформация охватывает каждую отрасль бизнеса. Бизнес перешел на новый уровень развития – индустрия 4.0. Устоявшимся компаниям требуется полное переосмысление введения бизнеса, иначе они останутся за бортом современной экономики. Пришло время для изобретений и открытий в области менеджмента и экономики. Требуются создания методик для новых бизнес-моделей, основанные на использовании аналитики данных. Отдельного внимания требует адаптация экономической безопасности современным кибер-угрозам. Для достижения цели цифровой трансформации использовать только одну технологию или оцифровать один бизнес-процесс будет недостаточно. ЦТ – это прокомплексный подход по использованию IT на всех процессах компании, причем не только внутри компании, но и при взаимодействии с заказчиками, партнерами и особенно с государством. Требуется повышение квалификаций сотрудников на всех слоях. Для ЦТ требуется колоссальные работы по цифровизации с огромным количеством данных. Россия хоть и отстает от ведущих стран, но у нас есть свое видение ЦТ и главное понимание требуемых перемен.

#### Библиографический список

1. Прохоров А., Коник Л. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт. 2019. 460 с.
2. Иванов В. В., Малинецкий Г. Г. Цифровая экономика: мифы, реальность, перспектива. 2017. 64 с.
3. Автономная некоммерческая организация «Цифровая экономика». URL: <https://data-esopomtu.ru/> (дата обращения: 15.01.2020).

УДК 629.785

**А. В. Коньшев**

ученик 9А класса ГБОУ СОШ № 562

**В. В. Ижболдина, И. В. Лебедев, И. В. Дубойский** – магистры кафедры электромеханики и робототехники – научные руководители

## РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В КОСМОСЕ

Изучение космоса вывело человечество на новый уровень. Благодаря изучению космического пространства учеными были исследованы и модернизированы системы навигации, телевидения, телекоммуникации и многое другое. В настоящее время большое число исследователей и инженеров постоянно совершенствуют и создают новые космические аппараты. Например, с выводом на орбиту искусственных спутников появилась возможность наблюдать и бороться с существующими проблемами природного характера на Земле. При создании космических аппаратов всегда используются новейшие технологии, которые впоследствии работают на благо человека на Земле. Примером могут служить специальные сплавы металла, сухая заморозка продуктов, особый ввод лекарственных препаратов. Изучение космического приборостроения вносит огромный вклад в другие сферы жизни: медицину, машиностроение, информационные технологии.

Развитие наук, изучающих космическое пространство, влечет за собой развитие современного направления – робототехники. В настоящее время роботов внедряют во все сферы жизни, в том числе и в космонавтику [1]. Это необходимо с точки зрения безопасности человека в космосе. Роботы могут справиться с непосильными и опасными для космонавта задачами. Также важным преимуществом использования космических роботов является то, что они могут функционировать в жестких условиях и обходиться почти без ресурсов, потому что, как правило, работают на солнечных батареях. Исходя из этого, можно сделать вывод, что космическая робототехника является перспективным направлением современной космонавтики.

Часто задача такого робота заключается в проведении научной деятельности. На самом деле такую же работу может провести и обычный земной робот. Однако к космическому роботу предъявляются особые требования, которым он должен соответствовать: перенести запуск на орбиту и влияющие на робота перегрузки; функционировать в сложных условиях космического пространства; обладать малым весом; потреблять мало энергии и долго эксплуатироваться; работать в автоматическом режиме или быть оснащенной системой дистанционного управления; обладать высокой надежностью. Для того чтобы соответствовать всем требованиям, ученые создают новые устройства, механизмы, приводы, микроконтроллеры, обладающие высокой прочностью, использующим как можно меньше энергии и имеющие малый вес. Также использование роботов при освоении космического пространства дешевле и безопаснее. Ученые подсчитали, что безвозвратное отправление человека на Марс будет стоить примерно 200–300 млрд долларов. А отправка космического корабля, на борту которого будет робот, обойдется примерно в 5–10 млрд долларов.

В данной статье рассматриваются пути и важность развития современной космической робототехники. Также в работе представлены современные типы космических роботов и их характеристики.

### Цели и задачи космической робототехники

Использование робототехники в целях исследования и освоения космоса является одним из самых важных направления науки и техники. Космическая робототехника объединяет в себе новейшие технологии в целях облегчения опасной и трудоемкой работы человека в открытом космосе [2].

Космическая робототехника решает обширный класс задач. Основные задачи, которые должна решать космическая робототехника, заключаются в исследовании космических тел, техническом обслуживании и сборки спутников и других космических объектов на орбите, очистке орбиты от техногенного мусора [3].

### Типы космических роботов

В космической робототехнике выделяют три основных типа роботов: манипуляторы [4, 5]; роверы, или планетоходы; роботы-андроиды [6].

Примерами манипуляторов могут служить: система бортовых манипуляторов (СБМ) «Аист», бортовые манипуляторы «Canadarm-1» и «Canadarm-2», робот-манипулятор ERA (*European Robotic Arm*). Рассмотрим их подробнее.

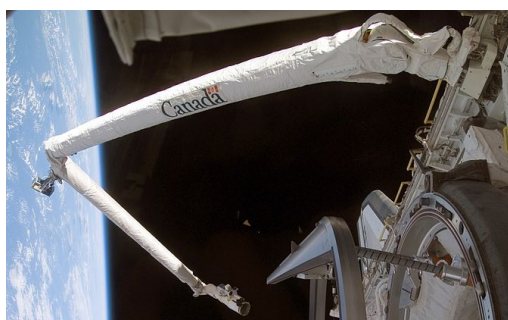
СБМ «Аист» – это система, предназначенная для работы с грузами и установленная на многоэтажном транспортном корабле «Буран» (рис. 1). В основном работа СБМ заключается в перемещении грузов из различных отсеков или в открытом космосе.



Рис. 1. СБМ «Аист» на корабле «Буран»

Система «Аист» состоит из двух манипуляторов, каждый из которых весит около 360 кг. Груз удерживается за счет специальных захватов, установленных на концах манипуляторов. Контроль за работой СБМ осуществляется оператором при помощи камер. Все составляющие системы выполнены из углепластика – материала, выдерживающего резкий перепад температур. «Аист» имеет две системы дистанционного управления: управление можно осуществить с борта орбитального аппарата и с Земли. Управление СБМ происходит через контроллер, связанный с приводами манипуляторов. СБМ имеет несколько режимов управления благодаря бортовому вычислительному комплексу, установленному на нем.

Дистанционно управляемая система манипулирования «Canadarm-1» (рис. 2а) – это роботизированный манипулятор первого поколения, созданный Канадским космическим агентством. Данный вид манипуляторов использовался на космических шаттлах для перемещения полезных грузов в космосе. Существует всего пять таких манипуляторов.



а



б

Рис. 2: а – внешний вид манипулятора «Canadarm-1»; б – астронавт Стивен Робинсон, удерживаемый системой «Canadarm-2»

Манипулятор «Canadarm-2» (рис. 2б), размещенный на борту Международной космической станции (МКС), был изобретен для транспортировки полезных грузов. Преимущество манипулятора такой модели заключается не только в перемещении многотонных грузов, но и космонавтов вне станции во время выхода в открытый космос. Манипулятор также используется для мониторинга внешних модулей космической станции. Робот «Canadarm-2» состоит из двух штанг, двух захватов, «локтевого» шарнира и шарниров «запястья».

Еще один современный робот-манипулятор – это европейский космический манипулятор «ERA» (рис. 3). Как и многие манипуляторы, «ERA» перемещает грузы на борту МКС. Важной осо-



бенностью является то, что при помощи такого манипулятора можно проводить сборочные и монтажные работы, так как «ERA» обладает точным позиционированием. Манипулятор оснащен системой дистанционного управления и может работать от солнечных батарей. Конструктивно манипулятор состоит из штанг по 5 м, на концах которых находятся идентичные системы крепления. Две штанги соединены шарнирным механизмом. Это позволяет манипулятору прикрепляться к станции любым концом и перемещаться по ее поверхности.

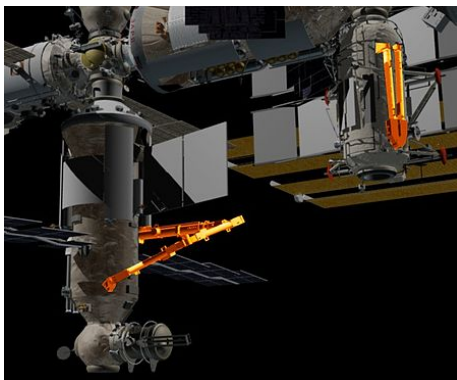


Рис. 3. Манипулятор «ERA» на МКС выделен оранжевым цветом

Роботы-андроиды являются перспективным направлением в развитии космической робототехники. Рассмотрим модель антропоморфного робота российского производства: SAR-400 (рис. 4а), созданного для работы на МКС в качестве помощника космонавта. Такой робот оснащен особой системой захвата движений оператора. В итоге робот полностью копирует движения человека, расположенного в специальном костюме для управления. Это позволяет использовать робота в открытом космосе в задачах, где необходимы точные и мелкие движения, с которыми может справиться только человек. Достоинства такой системы заключается в облегчении космических кораблей. Это объясняется тем, что для робота нет необходимости встраивать системы жизнеобеспечения. К тому же робота после выполнения миссии не нужно забирать обратно, следовательно, не нужно тратить дополнительные ресурсы и энергию на его возвращение. Но у таких роботов есть существенный недостаток: задержка в передаче сигнала от костюма роботу и обратно. Это усложняет процесс управления роботом. Однако развитие технологий в сфере передачи сигналов позволит использовать таких роботов в удаленном космическом пространстве.

В 2014 году на основе этого робота был разработан антропоморфный робот FEDOR (рис. 4б). А в 2019 году этот робот был запущен в космос на корабле «Союз МС-14».

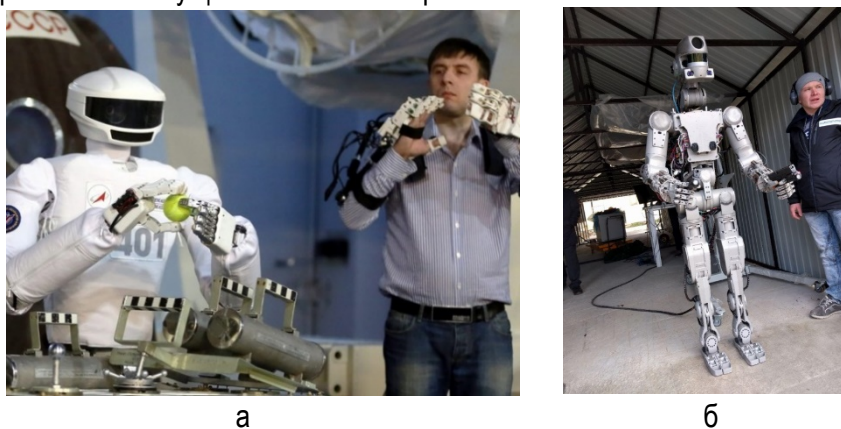
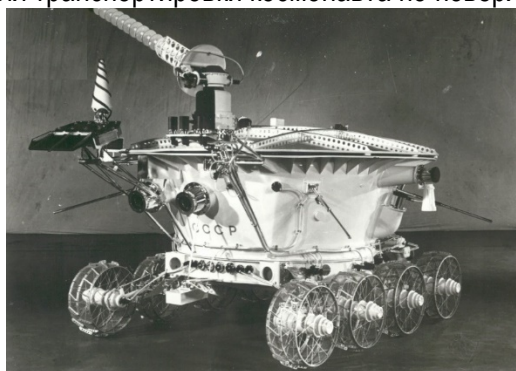


Рис. 4: а – космический робот-андроид SAR-401; б – робот-андроид FEDOR

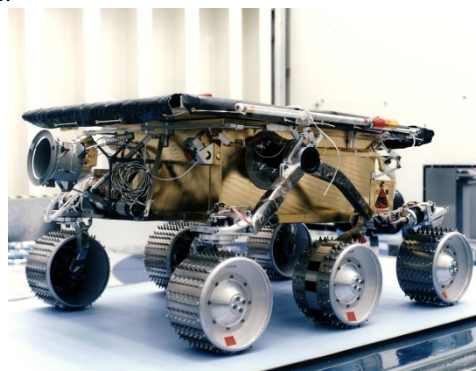
Роверы и планетоходы также относятся к космической робототехнике, так как представляют из себя роботизированную платформу для изучения поверхностей других планет и небесных тел. Роверы не могут перемещаться в открытом космосе самостоятельно, поэтому их доставляют на по-

верхности космических тел при помощи специальных аппаратов. На борту планетохода установлены различные измерительные приборы, которые позволяют получить пробы грунта и атмосферы. Поскольку роверы работают в автоматическом режиме и оснащены системами связи, все полученные данные отправляются на Землю для их дальнейшего анализа. В настоящее время существует два вида роверов: луноходы, которые перемещаются по поверхности Луны, и марсоходы, которые перемещаются по поверхности Марса.

Планетоход, предназначенный для передвижений по поверхности Луны, называется луноходом. Помимо дистанционного управления, например с Земли, луноход может быть автономной робототехнической системой. Примерами луноходов является серия управляемых самоходных аппаратов-планетоходов для исследования Луны, разработанных инженерами СССР – «Луноход» (рис. 5а). Создание и запуск советских луноходов стало важным этапом в изучении Луны. В рамках советской лунной миссии два лунохода должны были изучить предполагаемые районы прилунения и выполнять роль радиомаяков при посадке лунного корабля. Также луноход планировалось использовать для транспортировки космонавта по поверхности Луны.



а



б

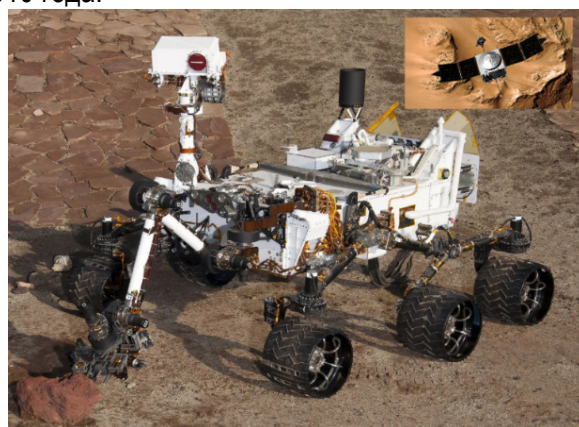
Рис. 5: а – луноход модели «Луноход-0»; б – марсоход «Sojourner»

В конце XX века на западе возник вопрос изучения поверхности Марса, так как учеными было предположено нахождение воды на планете. Благодаря этим исследованиям ученые смогут установить, существовали ли когда-либо условия, подходящие для нахождения жизни на Марсе. Первый марсоход «Sojourner» (рис. 5 б) был разработан и изготовлен под руководством по заказу NASA в 1997 году. Марсоход работал на поверхности планеты в течение трех месяцев.

В рамках проекта Mars Exploration Rover были разработаны и изготовлены два современных марсохода «Spirit» и «Opportunity» (рис. 6а). Главная цель проекта Mars Exploration Rovers заключалась в изучении осадочных пород Марса. «Spirit» являлся первым марсоходом из двух запущенных космическим агентством NASA. Старт миссии состоялся 10 июня 2003 года. Запускаемый аппарат с марсоходом на борту совершил успешную посадку. «Opportunity» был успешно доставлен в другой район Марса, в кратере Игл, на плато Меридиана. В мае 2009 года марсоход застрял в песчаной дюне. Последняя связь с Землей была 22 марта 2010 года.



а



б

Рис. 6: а – марсоход «Opportunity»; б – марсоход «Curiosity»

Еще один американский марсоход «Curiosity» (рис. 6б) по размерам в несколько раз больше и тяжелее аппаратов-близнецов «Spirit» и «Opportunity». Марсоход представляет собой автономную химическую лабораторию. Перед марсоходом «Curiosity» стоит цель сбора проб осадочных пород и атмосферы Марса, а также подготовка к высадке человека на планету.

Основные задачи марсохода «Curiosity» – получение подробных сведений о климате и геологии Марса, проведение подготовки к высадке человека на Марсе.

### Заключение

В данной работе были рассмотрены основные направления в развитии космической робототехники на примерах технических концептов и конечных реализаций, таких как роботы-манипуляторы, антропоморфные роботы и роверы. Проанализировав вышеупомянутый материал, можно сделать вывод, что космическая робототехника – одна из быстроразвивающихся направлений науки и имеет множество перспектив развития. Дальнейшее развитие космической робототехники будет направлено на совершенствование прототипов, разработку роботов с автоматическим и полуавтоматическим управлением со стороны человека-оператора, находящегося на космической станции или на Земле. Многие функционально развитые и технически отработанные средства уже активно применяются в составе систем Space Shuttle и МКС. Исходя из рассмотренных типов космических роботов актуальным классом можно считать монтажно-сервисные автономные робототехнические комплексы в виде манипуляторов, важной особенностью которых является многообразие возможных режимов функционирования.

### Библиографический список

1. Белоножка П. П. Космическая робототехника. Опыт и перспективы развития // Воздушно-космическая сфера. 2018. № 1. С. 84–93.
2. Белоножка П. П. Космическая робототехника. Современное состояние, перспективные задачи, тенденции развития. Аналитический обзор // Наука и образование (МГТУ им. Н. Э. Баумана). Электронный журнал. 2016. № 12. С. 110–153.
3. Ключников В. Ю. Как очистить околоземное пространство от космического мусора // Воздушно-космическая сфера. 2018.
4. Belonozhko P. P. Perspektivnye montazhno-servisnye robotizirovannye kosmicheskie moduli. Robototekhnika i tekhnicheskaya kiber-netika. 2015. No 2 (7). P. 18–23.
5. Virgili-Llop J., Romano M. Simultaneous Capture and Detumble of a Resident Space Object by a Free-Flying Spacecraft-Manipulator System // Frontiers in Robotics and AI. 2019.
6. Железняков А. Наука и промышленность: Космическая робототехника. URL: [http://old.ci.ru/inform06\\_08/p\\_06.htm](http://old.ci.ru/inform06_08/p_06.htm) (дата обращения: 01.04.2020).

УДК 621.3

**В. С. Коробкина**

студентка кафедры электромеханики и робототехники

**О. Б. Чернышева** – старший преподаватель – научный руководитель**ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ СОЦИАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ**

Развитие робототехники с использованием современных информационных технологий привело к ее стремительному использованию не только в промышленности, но и в повседневной жизни. Еще в 20-х годах прошлого века у людей возникли первые мечты о замене самих себя, но только лишь в конце 50-х годов они стали превращаться в реальность – именно в этот период времени появились первые промышленные роботы. Так, в 1959 году Дж. Деволом был разработан первый промышленный робот, вес которого составлял около 2 тонн, а управление осуществлялось программой, записанной на магнитном барабане. Точность позиционирования робота составляла 0,254 мм, а манипулятор управлялся при помощи гидравлических приводов [1]. Компания Unimation, основанная Дж. Деволом, в 1961 году впервые в мире внедрила на производственной линии завода General Motors промышленный робот, предназначенный для производства кулис переключения коробки передач, а также оконных ручек. Вес магнитного барабана, на котором была записана управляющая программа, составлял 1814 кг. Безусловно, габаритные размеры первых промышленных роботов сейчас могут вызвать улыбку, но тем не менее можно считать, что это была революционная модернизация технологии промышленного производства.

На современном этапе робототехнику можно разделить на два больших класса – промышленные роботы и сервисные роботы (рис. 1). Это деление условно, так как благодаря расширяющемуся функционалу, усовершенствованным системам компьютерного зрения и сложнейшим системам безопасности промышленные роботы постепенно привлекаются к работе с людьми. Действительно, роботы-манипуляторы, первоначально спроектированные для промышленного производства, в настоящее время находят широкое применение в сервисной робототехнике и наоборот.

Согласно данным Международной федерации робототехники (*International Federation of Robotics, IFR*) темпы роста сервисной робототехники в 2017 году составили 85 % против роста промышленной робототехники на 31 % (данные приведены по отношению к 2016 году) [2].



Рис. 1. Классификация робототехники

Если анализировать временной интервал с 2014 по 2018 год, то объем продаж сервисной робототехники в 2018 году увеличился в 8,91 раза по сравнению с 2014 годом (рис. 2).

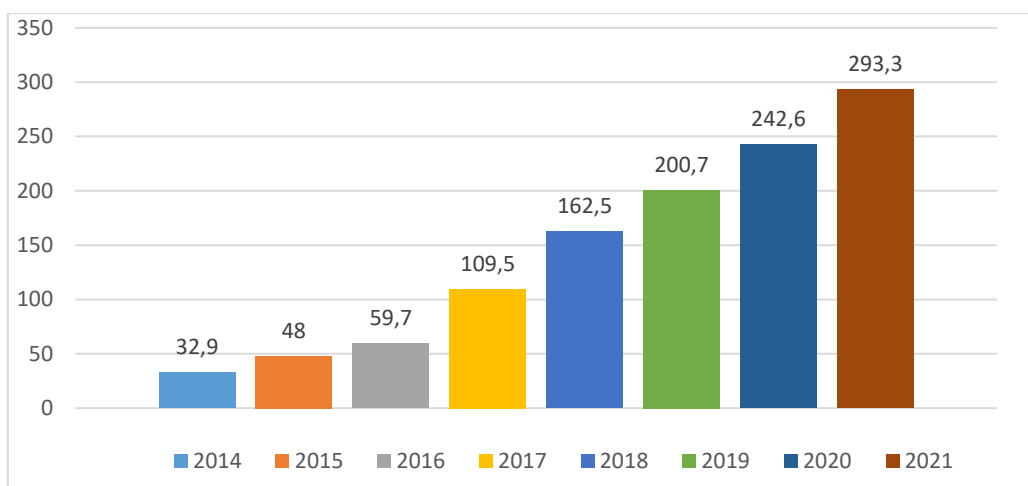


Рис. 2. Динамика продаж профессиональной сервисной робототехники в 2014–2018 гг. и прогноз до 2021 г., тыс. единиц

В свою очередь сервисную робототехнику можно подразделить на классы в зависимости от возложенных на них функций (рис. 3). Анализ данных, представленных на рис. 3, показывает, что явным лидером являются логистические системы, военные роботы и роботы, предназначенные для работы в общественных местах. Стоит отметить также подкласс экзоскелетов, разработке и внедрению которых в последнее время уделяется много внимания. Например, отечественная компания «Симбионикс» – резидент Инновационного центра «Сколково», в 2020 году проведет в 35 реабилитационных центрах России апробацию экзоскелета «Компаньон». Он предназначен для людей, лишенных подвижности в нижней части тела, а также для процесса реабилитации последствий инсульта, травм спинного мозга, черепно-мозговых травм, нервно-мышечных заболеваний [3].



Рис. 3. Объем продаж профессиональных сервисных роботов по типу роботов в самых крупных сегментах рынка, количество единиц, 2018 год

С другой стороны, крупнейшая горнодобывающая компания «Северсталь» приобрела 30 экзоскелетов Exorise, которые предназначены для компенсации компрессионной нагрузки на позвоночник сотрудников, занимающихся тяжелым физическим трудом, а также при работе с тяжелыми инструментами, погрузочно-разгрузочных и монтажных работах [4]. Таким образом, приведенный пример ярко иллюстрирует использование экзоскелета как в сервисной, так и в промышленной робототехнике.

Социальная робототехника является относительно новой отраслью робототехники, предназначенная в первую очередь для социального обмена между людьми и человекоподобными роботами. Ориентирована социальная робототехника на уборку помещений, приготовление пищи, уход за пожилыми людьми [5]. Увеличивающийся спрос на бытовые роботы обусловлен их практичностью и удобством, достижимыми за счет визуализации помещений, определении зон, в которых

функционирует робот, а также их интеграции с «умными» голосовыми помощниками от компаний Amazon и Google [6].

В социальной робототехнике особую нишу занимают роботы, ориентированные на создание успокаивающего эффекта и положительных эмоций у пациентов больниц и домов для престарелых [7]. На рис. 4а представлен робот, разработанный компанией Hasbro (США), предназначенный для решения такой проблемы, как одиночество престарелых людей. Робот Alan при помощи сенсоров, встроенных в тело, при поглаживании обладает способностью мяукать, мурлыкать, зевать и дремать, что делает его похожим на реальную кошку. Робот-лабрадор Tombot Puppy (рис.4б) обладает аналогичным функционалом, обеспечивая эмоциональную поддержку пожилым людям и людям, которые в силу различных причин не могут иметь живого питомца. Представленные образцы роботов-животных – это лишь капля в мировой линейке роботов данного направления. Разработаны робот в виде детеныша тюленя Pigo, морского котика и др.



а



б

Рис. 4. Роботы-животные: а – роботом компании Hasbro (США); б – робот-лабрадор Tombot Puppy

Если рассматривать роботов-животных с точки зрения социальной направленности, то они могут быть полезны не только людям преклонного возраста, но и детям, поскольку общение с такими роботами способно привить у ребенка любовь и заботу к живым существам, тем более что роботы-животные не способны нанести вред ребенку.

В сфере обслуживания можно выделить компании Blue Ocean Robotics (Дания) и SoftBank Robotics (США), которые позиционируют свои разработки как роботов-уборщиков в таких областях, как здравоохранение, гостиничный бизнес, строительство, аэропорты и учебные заведения (рис. 5).



а



б

Рис. 5. Роботы-уборщики: а – устройство компании Blue Ocean Robotics; б – устройство компании SoftBank Robotics

В настоящий момент устройства Blue Ocean Robotics используются в нескольких больницах по всему миру и являются неоценимыми помощниками при обеспечении стерильности помещений, а

также для предотвращения распространения инфекций. В условиях пандемии нового коронавируса COVID-19 использование такого робота чрезвычайно актуально, поскольку робот делает необходимые манипуляции быстрее и эффективнее по сравнению с ручной работой сотрудников [8].

Робот-уборщик Whiz компании SoftBank Robotics предназначен для уборки крупных помещений, таких как аэропорт, и способен запоминать до 600 маршрутов уборки. Робот оснащен механизмом компьютерного зрения, что позволяет ему избегать столкновений и делать уборку вплотную к стенам [8]. Заряда аккумулятора хватает на три часа работы. За это время робот способен убрать площадь в 1394 м<sup>2</sup> с максимальной скоростью 1,8 км/час.

Среди отечественных производителей роботов социальной направленности особого внимания заслуживает российская компания Promobot, основанная в 2015 году в г. Пермь и являющаяся крупнейшим производителем сервисных роботов не только в России, но и в странах Северной и Восточной Европы. Компания позиционирует промоботов в 36 странах мира в качестве администраторов, промоутеров, консультантов, гидов и консьержей. Роботы Promobot являются сотрудниками московского метро, Музея современной истории России, МФЦ, Сбербанка [9]. Некоторые образцы роботов представлены на рис. 5.



а



б



в



г

Рис. 6. Линейка сервисных роботов компании Promobot: а – робот – консультант МФЦ; б – робот-няня; в – учебный робототехнический комплекс; г – робот-консьерж

На выставке Toy Fair в марте 2020 года в Нью-Йорке компанией был представлен человекоподобный робот с функциями няни. Разработанный робот является антропоморфным, то есть ему

присущи движения, характерные обычному человеку – робот может двигать губами, бровями, глазами и другими мышцами. При разработке робота-няни была применена технология создания искусственной кожи, которая позволяет придать роботу внешность любого человека, в том числе и родителей, что для восприятия ребенка создает эффект их присутствия. Функционал робота-няни достаточно широк: он может следить за ребенком, поддерживать разговор с ним, рассказывать сказки, реагировать на его действия и подключаться к любым домашним устройствам [10]. Кроме того, разработана система безопасности, благодаря которой установлена двусторонняя связь между родителями и роботом. При возникновении посторонних звуков и чужой речи дroids может в случае необходимости успокоить ребенка и поставить об этом в известность родителей.

Стоит отметить достижения компании Promobot и в области здравоохранения. Так, сервисный робот-администратор работает в сети клиник «Askonamed», в обязанности которого входит встреча посетителей, запись на прием к врачу, сопровождение пациентов до кабинета врача. Кроме того, при предъявлении паспорта андроид способен заключать договора на обслуживание, самостоятельно оформляя все необходимые документы [10].

Безусловно, представленные в статье роботы – далеко не полный перечень роботов социальной направленности. Увеличение функциональных возможностей и практической полезности способствует резкому увеличению объемов продаж сервисных роботов. Роботы данного направления завоевывают все большую популярность и создают принципиально новые возможности для развития человека как личности, для творчества, образования и развлечений в домашних условиях.

### Библиографический список

1. Официальный сайт. URL: <http://robotforum.ru/novosti-technologij/epochalnyie-etapyi-razvitiya-robototekhniki-1959-2013.html> (дата обращения: 15.02.2020).
2. Аналитический обзор мирового рынка робототехники 2019. URL: [https://adindex.ru/files2/access/2019\\_07/273895\\_sberbank\\_robotics\\_review\\_2019\\_17.07.2019\\_m.pdf](https://adindex.ru/files2/access/2019_07/273895_sberbank_robotics_review_2019_17.07.2019_m.pdf) / (дата обращения: 20.02.2020).
3. Официальный сайт. URL: <https://expert.ru/expert/2020/01/ekzoskeletyi-polegchali-i-podesheveli/> (дата обращения: 05.03.2020).
4. Официальный сайт. URL: <http://www.comnews.ru/digital-economy/content/203802/2019-12-26/2019-w52/severstal-ispolzuet-ekzoskelety-dlya-snizheniya-travmatizma> (дата обращения: 05.03.2020).
5. Официальный сайт. URL: [http://tic.tsu.ru/www/uploads/smartsection/703\\_Sbornik\\_KRT.pdf](http://tic.tsu.ru/www/uploads/smartsection/703_Sbornik_KRT.pdf) (дата обращения: 25.02.2020).
6. Официальный сайт. URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения: 25.02.2020).
7. Гасумова С. Е. Роботизация социальной сферы // Социология науки и технологий. 2019. Т. 10. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/robotizatsiya-sotsialnoy-sfery/viewerhttps://cyberleninka.ru/article/n/robotizatsiya-sotsialnoy-sfery/viewer> (дата обращения: 05.03.2020).
8. Официальный сайт. URL: <https://www.newsko.ru/news/nk-5698658.html> (дата обращения: 03.03.2020).
9. Официальный сайт. URL: <http://www.iksmedia.ru/news/5624736-Servisnye-roboty-stali-glavnym-eksp.html> (дата обращения: 03.03.2020).
10. Официальный сайт. URL: <https://www.newsko.ru/news/nk-5698658.html> (дата обращения: 25.02.2020).



УДК 629.7.01

**А. А. Красиков**

ученик 10 класса ГБОУ СОШ № 308

**В. А. Лазерко, А. В. Щербинин** – магистранты кафедры электромеханики и робототехники – научные руководители**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА НА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ**

Современная авиация шагнула далеко вперед за последнюю сотню лет. Большую модернизацию прошли как сами планеры, так и их силовые установки. Самолеты стали летать дальше и быстрее и даже преодолели звуковой барьер. Но каким бы совершенным не был планер, и каким бы мощным не был двигатель, самолет не полетит далеко без хороших приборов. Именно появление различных электроприборов смогло как упростить управление самолета, так и помочь «оседлать» более сложные аппараты.

Вначале стоит рассмотреть стандартную бортовую сеть гражданского авиалайнера (рис. 1).

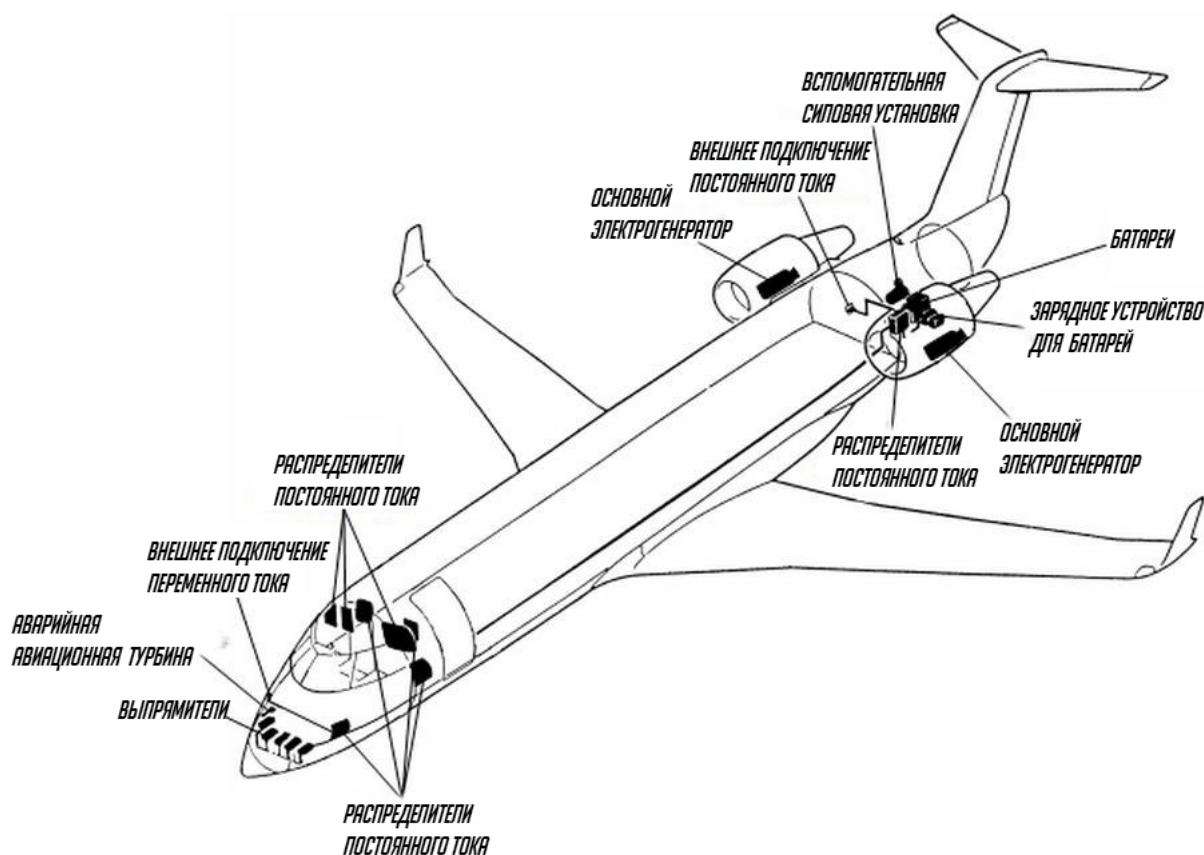


Рис. 1. Бортовая сеть авиалайнера

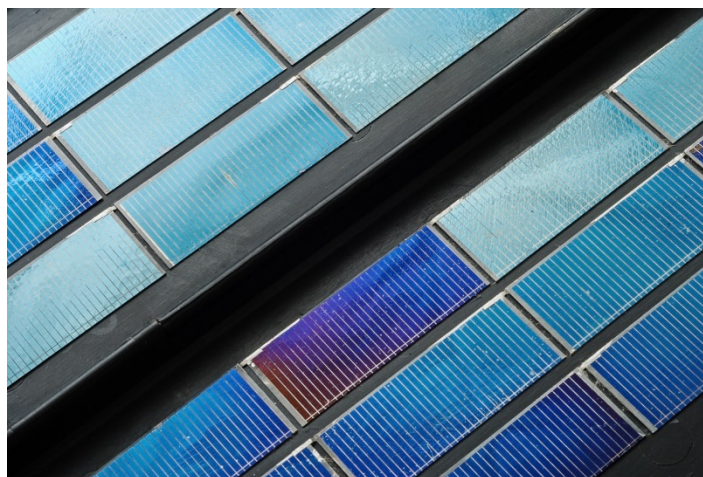
В основной сети, в принципе, ничего необычного, основная электроэнергия поступает от генератора в авиадвигателе. Разве что напряжения нестандартные – 28,5 В постоянного тока, переменного однофазного тока напряжением 115 В и переменного трехфазного тока напряжением 36 В [1].

Из резервных источников можно отметить вспомогательную силовую установку (ВСУ), которая представляет из себя простой газотурбинный генератор. Она используется на этапе подготовки летательного аппарата (ЛА) к полету или в случае отказа генераторов на авиадвигателях. Из преимуществ ВСУ стоит отметить большую выработку электроэнергии, универсальность в сравнении с обычным турбореактивным двигателем (ТРД) по части топлива. Из недостатков ВСУ можно выделить: большой вес и неэкономичность по сравнению с другими резервными источниками.

Аварийная турбина также относится к резервным источникам энергии и представляет собой небольшую лопасть, которая вращается от набегающего потока воздуха. В случае необходимости

автоматически выпускается из фюзеляжа самолета. Помимо функций электроснабжения, турбина также поддерживает давление в гидросистеме.

С того момента, когда человек начал покорять солнечное небо, люди начали мечтать о полностью автономном самолете – самолете, который не нуждался бы в каком-либо топливе. В 1842 году Александр Эдмон Беккерель обратил внимание на Солнце и открыл эффект преобразования света в электричество, а в 1922 году итальянский фотохимик Джакомо Луиджи Чамичан представил миру прототип солнечных батарей (рис. 2). Именно тогда человечество осознало, что у него имеется неиссякаемый источник энергии [2].



*Рис. 2. Солнечные батареи*

4 ноября 1974 года можно считать началом эры солнечной авиации. Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) американской компании AstroFlight с солнечной энергоустановкой Sunrise I (рис. 3) впервые поднялся в небо. Всего через год был построен улучшенный образец БПЛА на солнечной тяге – Sunrise II, он имел большую тягу и существенно меньшую массу, поэтому новая модель летала быстрее [3].



*Рис. 3. Энергоустановка Sunrise I*

В дальнейшем аккумуляторы наращивали объем, а солнечные панели – КПД и мощность. До 2010 года солнечные панели лишь продлевали дальность полета. В 2010 году был совершен пер-

вый пилотируемый полет на солнечной тяге. Самолет SolarImpulse (рис. 4) провел в воздухе чуть более часа. Он рассчитан на горизонтальный полет. Но данный ЛА отличается от других тем, что накапливает электроэнергию в литиевых аккумуляторах и использует ее в ночное время.



Рис. 4. Самолет SolarImpulse

В июле 2010 года SolarImpulse совершил первый непрерывный круглосуточный полет. В марте 2015 года улучшенный SolarImpulse 2 начал кругосветный перелет, закончив его в июне 2016 года.

Солнечная энергетика в сегодняшнем виде обладает множеством положительных сторон, таких как:

- возобновляемость и доступность;
- экологичность (никаких выбросов и шумов во время генерации электроэнергии);
- универсальность (ее можно использовать в различных областях).

Существуют, конечно, и недостатки, например:

- высокая стоимость панелей и оборудования для них;
- малая удельная мощность, так как КПД на данный момент составляет всего 18 %;
- непостоянство источника энергии.

В заключение хотелось бы сказать, что на данный момент солнечные панели являются крайне перспективным направлением авиации, несмотря на все вышеперечисленные недостатки. При нынешнем развитии технологий уже осуществим беспосадочный перелет. Благодаря универсальности солнечных панелей их можно применять в разных сферах авиации. Начиная от вспомогательного источника энергии, заканчивая основным источником энергии. А в ближайшем будущем, вполне возможно, мы увидим коммерческие авиаперелеты на энергии Солнца.

#### Библиографический список

1. Никитевич Н. В. Применение солнечных батарей в авиации // Эксплуатация и надежность авиационной техники. 2015. С. 427–428.
2. Маркова Е. В. Солнечная энергетика будущего авиационной промышленности // Наука и образование. 2019. № 4.
3. Кичигин Е. К. Беспилотные и пилотируемые летательные аппараты с солнечными электрическими источниками питания электродвигателей тяги // Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки. 2016. С. 248.

УДК 004.032.26

**А. С. Куделин**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**О. Я. Соленая** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ВИЗУАЛЬНЫХ ОБРАЗОВ

ИНС (искусственные нейросети) – это математическая модель нервных клеток живых организмов. В искусственных сетях основными элементами являются нейроны, соединенные между собой и образующие слои. Количество слоев может различаться в зависимости от назначения нейросети и решаемых ею задач [1].

Создали этот удобный инструмент ученые У. Питт (*W. Pitts*) и У. Маккалок (*W. McCulloch*). Они ввели понятие *нейронной сети*. Это случилось в 1943 году, а Н. Винер (*N. Wiener*) предложил реализовать концепцию при помощи вакуумных ламп. Он же в своей работе о кибернетике представил биологические процессы организма в виде математических моделей.

История ИНС циклична, в ней встречаются как долгие периоды спада интереса, так и молниеносные взлеты. Данный момент как раз считается пиком интереса. Такую популярность нейросети обрели благодаря разработке новых алгоритмов обучения, которые позволили нейросетям выйти на современный уровень.

Одна из самых популярных задач нейросетей – распознавание визуальных образов. На данный момент создаются сети, в которых алгоритмы распознают символы на бумаге и банковских картах, подписи на официальных документах и т. д. Подобные функции позволяют упростить человеческий труд, а также повысить надежность и точность всевозможных процессов.

### Распознавание изображений нейросетью

Одной из важных сфер применения ИНС является работа с изображениями. Файлы из камер наблюдения представляют собой библиотеку неструктурированных данных. При помощи нейросетей данные структурируются и используются для выполнения всевозможных задач – от бытовых до государственных, в частности обеспечения безопасности.

Основой архитектур для видеонаблюдения является анализ, первым этапом которого будет распознавание изображения. Но сначала нейронная сеть должна быть обучена. Этот процесс схож с обучением человека. Необходимо учитывать, что исходные данные для нейросети должны быть однозначны и непротиворечивы.

### Простейшая архитектура нейросети

Для начала стоит ввести такое понятие, как *простейший перцептрон*. Перцептрон своим строением напоминает наш мозг. Элементарная единица перцептрона, схожая с клеткой мозга, – нейрон, имеющий входные и выходные элементы.

Слева расположены входные части нейрона, справа выходные части. Простейший перцептрон способен выполнять только самые простые операции. Для выполнения более сложных вычислений необходима структура с большим количеством скрытых слоев [2].

Распознавание изображений при ИНС возможно только посредством обучения, представляющего собой процесс, направленный на настройку ее параметров.

Существует несколько способов обучить нейросеть:

- машинное обучение с учителем;
- обучение без учителя;
- обучение с частичным привлечением учителя;
- обучение с подкреплением.

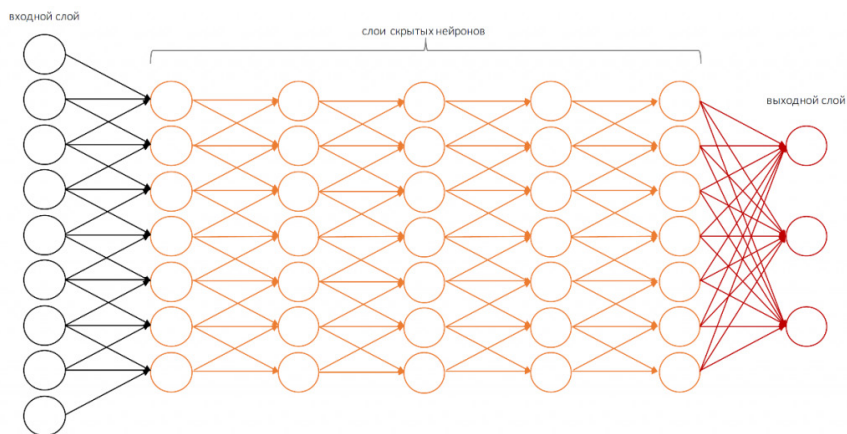


Рис. 1. Перцептрон

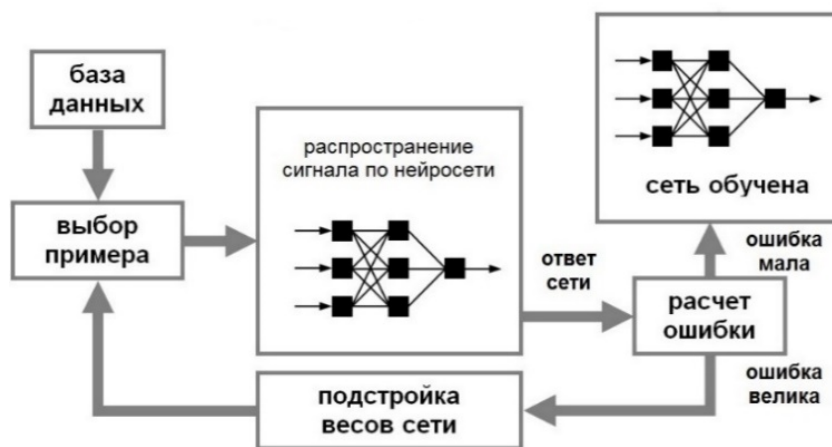


Рис. 2. Процесс обучения нейросети

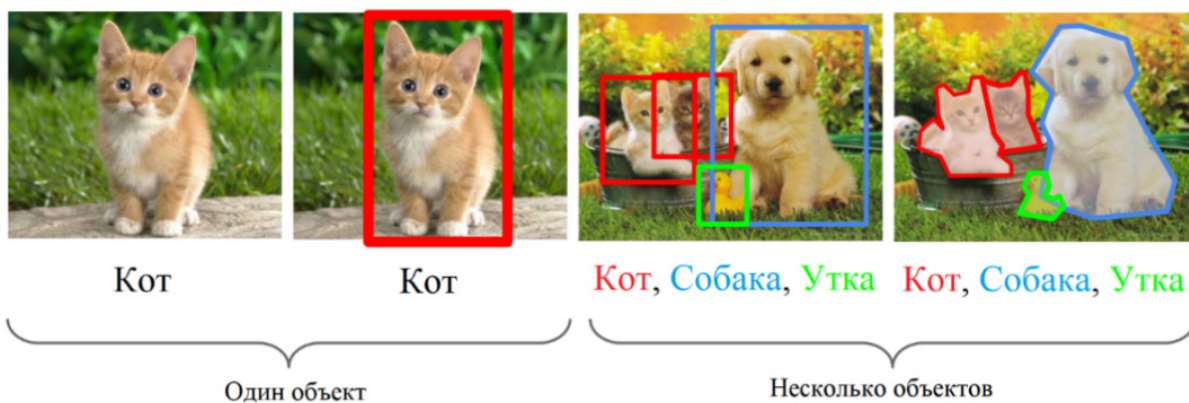


Рис. 3. Распознавание образов

### Обучение нейросети

#### Машинное обучение с учителем

При обучении ИНС для распознавания образов с учителем имеется выборка с истинными ответами на вопрос, что изображено на картинке. Нейросети подаются на вход эти изображения, после чего вычисляется ошибка, сравнивающая выходные значения с истинными. В зависимости от

степени и характера несоответствия ответов ИНС ее корректируют, ответы подстраиваются под истинные, пока ошибка не станет минимальной [3].

Пример обучения с учителем – классификация и дальнейшее ее использование для сегментации и распознавания объектов. Таким образом, обучение с учителем больше всего подходит для задач, когда имеется внушительный набор достоверных данных для обучения алгоритма. Но так бывает далеко не всегда.

### Обучение без учителя

В этом случае у обучающей выборки нет истинных ответов, и перед ИНС стоит задача их найти. Нейронная сеть самостоятельно находит закономерности в данных, выделяя признаки и анализируя их. Например, кластеризация – самая распространенная задача для обучения без учителя. ИНС подбирает похожие данные, находя общие признаки и группируя их вместе.

При обучении без учителя точность алгоритма вычислить довольно проблематично, так как в данных отсутствуют правильные ответы. В некоторых случаях, предоставляя алгоритму свободу действий для поиска зависимостей, можно получить определенный результат [4].



Рис. 4. Кластеризация данных на основе общих признаков

Существует несколько задач систематизации:

- *Кластеризация.* Алгоритм подбирает похожие данные, находя общие признаки, и группирует их вместе.
- *Обнаружение аномалий.* Используют для нахождения выбросов в данных.
- *Ассоциации.* Иногда определенные характеристики объекта коррелируют с другими признаками. Обращая внимание на некоторые ключевые признаки объекта, алгоритм может предсказать другие, с которыми существует та или иная связь.
- *Автоэнкодеры.* Принимают входные данные, кодируют их, после чего стараются воссоздать изначальные данные из полученного кода.

### Обучение с частичным привлечением учителя

Обучающая выборка содержит как размеченные, так и неразмеченные данные. Метод эффективен, когда разметить все объекты не предоставляется возможным. Тем не менее нейронная сеть сможет выбрать информацию из доли размеченных данных и тем самым улучшить точность.

### Обучение с подкреплением

Основано на принципе получения обратной связи – вознаграждения за определенные действия. Стимулы помогают понять, как лучше действовать в дальнейшем для получения наилучшего результата. Без обратной связи алгоритмы принимали бы случайные решения до тех пор, пока не достигли бы желаемого результата.

На данный момент нейронные сети применяются в множестве сфер и областей:

- Обработка данных. Распознавание изображений и текстов.
- Робототехника. Распознавание образов.
- Интернет. Поиск необходимых данных и изображений.
- Авиация. Автоматическое распознавание сигналов радаров, БПЛА.
- Производство. Контроль над производством и качеством изготавливаемой продукции, идентификация объектов нейронной сетью.
- Безопасность. Идентификация лиц, автомобильных номеров.
- Здравоохранение. Обработка медицинских изображений, мониторинг и прогнозирование состояния пациента.

### Перспективы использования нейросетей для распознавания образов

Современный уровень развития технологий и то, что на данный момент ИНС применяются в различных сферах, доказывают, что у нейросетей огромные перспективы развития в разных областях, включая:

- Робототехнику
- Транспорт
- Медицину
- Производственную промышленность
- Развлечения
- Безопасность и т. д.

Человеческий фактор может стать причиной возникновения проблем. Ошибка врача способна привести к фатальным последствиям для пациента. Даже профессионалы не застрахованы от ошибок – ведь специалист может быть уставшим, концентрируясь на проблеме хуже, чем обычно.

Решение этой проблемы было создано учеными из Стэнфорда во главе с Эндрю Энджи. Он разработал нейросеть, которая после обучения способна диагностировать аритмию сердца по кардиограмме, с высокой степенью точности. Нейросеть работает не только надежнее, но и быстрее, поэтому задачу анализа медицинских снимков и результатов ЭКГ можно переложить на компьютер после окончательной доработки системы. Врачу остается только проверять работу программно-аппаратной платформы и действовать в соответствии с окончательным диагнозом.

Проект показывает, как сильно нейросеть может изменить медицину, улучшив различные аспекты этой сферы. Нейросети уже помогают врачам диагностировать рак кожи, рак груди, заболевания глаз. Команда из Стэнфорда потратила много времени для обучения нейросети, для того чтобы система могла идентифицировать отклонения от нормы на данных ЭКГ.

Нейросеть пришлось обучать, причем на примере реальных показателей пациентов. Самостоятельно набрать несколько десятков тысяч результатов измерений ЭКГ специалистам из Стэнфорда не представлялось возможным, поэтому они пригласили к партнерству iRhythm – компанию, производящую портативные ЭКГ гаджеты. Компания предоставила 30 000 30-секундных записей результатов измерений работы сердечной мышцы пациентов, страдающих разными формами аритмии. Для увеличения точности работы алгоритма, а также сравнения результатов работы компьютера с результатами диагностики врачей использовались еще 300 записей. Их одновременно анализировали и машина, и врачи. После чего результаты оценивались специальным жюри, в которое вошли 3 кардиолога экстра-класса.

Обучение нейросети началось со «скармливания» огромного количества данных. После чего использовалась уже тонкая настройка для повышения точности диагностики. Нейросети способны

улучшить медицинское обслуживание пациентов, помогая врачам тратить меньше времени на рутину и больше на поиск эффективных методов лечения [5].

Также ИНС используется для улучшения четкости снимков космических объектов. Возможности современных телескопов ограничены размерами их апертуры, диаметром их линз или зеркала. Чем больше апертура телескопа, тем больше света может попасть в его объектив и тем более качественные снимки он может сделать. Однако ученые Швейцарского федерального технологического института в Цюрихе нашли способ, позволяющий преодолеть фундаментальные ограничения, и заключается этот способ в использовании двух конкурирующих искусственных нейронных сетей.

Нейронные сети были созданы группой, возглавляемой профессором Кевином Шавински (*Kevin Schawinski*), которая и производила их обучение на наборе высококачественных снимков космических объектов в сопровождении изображений с искусственно заниженным уровнем качества. После этого нейронным сетям задали обратную задачу, превращение нечеткого изображения в более качественное.

В этой системе используются две независимых нейронных сети, конкурирующие друг с другом. Такая технология требует сложного процесса предварительного обучения, который длится несколько часов даже при условии использования высокопроизводительного компьютера. Однако она позволяет получить более качественные результаты, чем технологии, в которых используется единственная нейронная сеть.

Обученные нейронные сети распознали и восстановили по некоторым признакам мелкие особенности космических объектов, которые не смог увидеть телескоп в силу ограничений его оптической системы. Полученное изображение имело более высокий уровень детализации, нежели чем даже высококачественное исходное изображение, а данная технология обеспечивает гораздо более высокое качество результата.

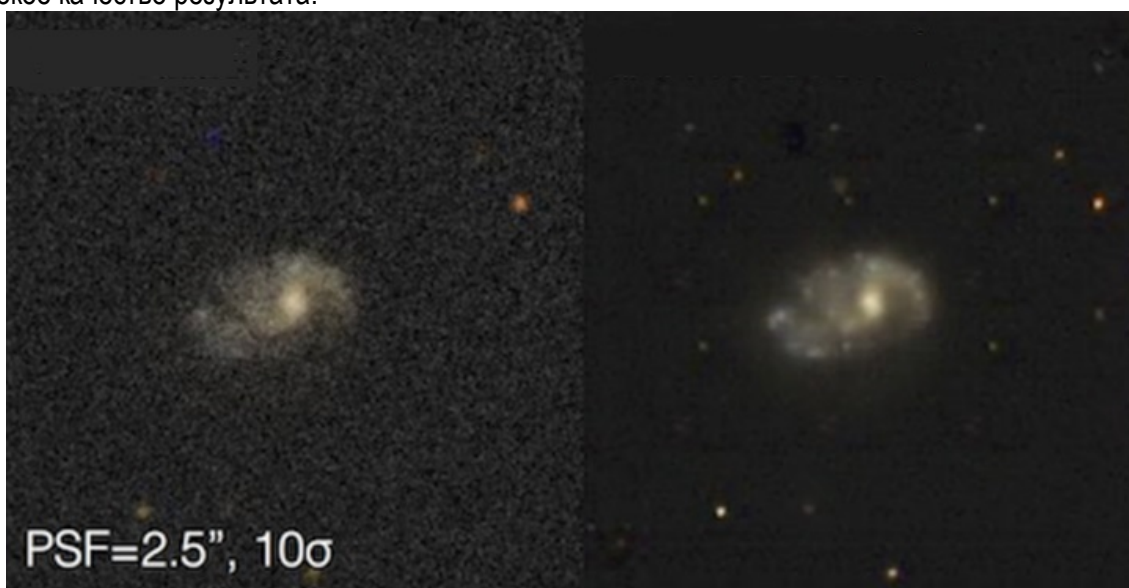


Рис. 5. Обработка изображения галактики при помощи ИНС

В скором времени швейцарские исследователи собираются поместить код созданных ими нейронных сетей в открытый доступ. Это откроет целый ряд новых возможностей для исследовательских групп со всех уголков земного шара [6].

### Заключение

Для нейронных сетей может найтись множество применений в разных сферах жизнедеятельности человека. Благодаря способности к обучению ИНС имеют огромный потенциал для оптимизации и увеличения функциональности.

На данный момент ИНС являются самым перспективным направлением в разработке систем искусственного интеллекта, поскольку применяются в различных областях и способны значительно оптимизировать и облегчить множество трудоемких процессов.



**Библиографический список**

1. Center2m. Распознавание образов нейронными сетями. URL: <https://center2m.ru/ai-recognition> (дата обращения: 08.04.2020).
2. Waksoft. susu. Нейронные сети: практическое применение. URL: <https://waksoft.susu.ru/2017/03/01/neyronnyie-seti-prakticheskoe-primeneniye/> (дата обращения: 10.04.2020).
3. Techburst. The Basics of Video Object Segmentation. URL: <https://techburst.io/video-object-segmentation-the-basics-758e77321914> (дата обращения: 09.04.2020).
4. Almamater13. Обучение с учителем. Метод коррекции ошибки. Метод обратного распространения ошибки – Машинное обучение. URL: <https://almamater13.ru/obucheniye/obucheniye-s-uchitelem-obucheniye-s-uchitelem-metod-korrekcii-oshibki-metod-obratnogo-rasprostraneniya-oshibki-mashinnoe-obucheniye.html> (дата обращения: 08.04.2020).
5. News.stanford. Stanford computer scientists develop an algorithm that diagnoses heart arrhythmias with cardiologist-level accuracy. URL: <https://news.stanford.edu/2017/07/06/algorithm-diagnoses-heart-arrhythmias-cardiologist-level-accuracy/> (дата обращения: 09.04.2020).
6. Dailymtechinfo. Использование искусственных нейронных сетей позволяет получать более четкие снимки далеких космических объектов. URL: <https://www.dailymtechinfo.org/infotech/9025-ispolzovanie-iskusstvennyh-neyronnyh-setey-pozvolyaet-poluchat-bolee-chetkie-snimki-dalekih-kosmicheskikh-obektov.html> (дата обращения: 10.04.2020).

УДК 007.52

**А. В. Лагутина\***

научный сотрудник

**А. Ю. Баранник** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник – научный руководитель\*

\*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий) (ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России)

### **СОЗДАНИЕ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ. АНАЛИЗ ОПЫТА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

По мнению авторов, одним из путей преодоления разрыва между фундаментальными и поисковыми исследованиями и внедрением их результатов является привлечение отраслевых научно-исследовательских учреждений к реализации подобных проектов. В докладе представлены анализ опыта такого сотрудничества при реализации проекта фонда перспективных исследований по созданию демонстрационного образца робототехнического комплекса на основе антропоморфных технологий для решения задач МЧС России, а также взгляды на реализацию результатов, полученных в ходе выполнения проекта.

Выполнение спасательных работ в условиях чрезвычайных ситуаций практически всегда связано с воздействием на людей опасных и вредных факторов. Необходимость применения в этих условиях робототехники обусловлена постоянно возрастающим количеством аварий природного и техногенного характера, а также потерями, связанными с ними. Использование робототехнических комплексов предполагается при выполнении спасательных работ без непосредственного участия человека, при взаимодействии этих средств с аварийной средой в условиях, представляющих опасность для жизни и здоровья людей.

Анализ поражающих факторов аварий, катастроф и стихийных бедствий показывает, что наиболее опасными для жизни спасателей являются ситуации, связанные с авариями и катастрофами на радиационно- и химически опасных объектах, пожаровзрывоопасных объектах, а также с проведением поисково-спасательных работ при ликвидации последствий стихийных бедствий природного характера (табл. 1).

Перечень спасательных работ при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, для выполнения которых требуется применение робототехники, с оценкой степени риска для человека приведен в табл. 1.

При этом наиболее целесообразными областями применения робототехнических средств являются:

- зоны радиационной опасности с мощностью радиоактивного излучения более 80 Р/ч;
- зоны химической опасности с уровнем концентрации аварийных химически опасных веществ, соответствующей началу поражения (для хлора – св. 1000 ПДК, для аммиака – более 300 ПДК);
- зоны опасности взрывов (с ожидаемым избыточным давлением во фронте ВУВ 0,3–1 кг/см<sup>2</sup> и выше);
- зоны термического воздействия с плотностью теплового потока свыше 12,5 кВт/м<sup>2</sup> и температурой газовой среды более 200 °С;
- зоны сильных и полных разрушений с опасностью обрушений и других вторичных факторов;
- зоны наводнений (затоплений) со скоростью водного потока свыше 2,5 м/с, глубиной более 1,5 м [1].

В настоящее время практически все наземные робототехнические системы, предназначенные для выполнения спасательных работ, по своей конструкции являются обычными колесными или гусеничными машинами с дистанционным управлением и некоторыми элементами автономности. Можно констатировать, что основной тенденцией развития спасательных средств является повышение их эксплуатационных характеристик, включая повышение уровня автономности.

**Виды и характер работ при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций,  
для выполнения которых требуется применение робототехники**

№ п/п	Опасные аварийные зоны и степени риска работы в них	Виды и характер работ, выполняемых робототехническими комплексами
1.	Радиационная + термическая. Степени риска: умеренная; опасная; чрезвычайно опасная	Мониторинг изменения параметров и характера загрязнения, размеров зоны; сбор и транспортирование опасных предметов; локализация источников загрязнения и пожара; дезактивация загрязненной местности, объектов; охрана зоны
2.	Химическая + термическая. Степень риска: чрезвычайно опасная	Мониторинг изменения параметров и характера химического загрязнения; сбор, транспортирование опасных предметов; локализация очагов пожара; локализация источников загрязнения; дегазация территории и объектов; охрана загрязненной территории
3.	Термическая + зона взрывов. Степени риска: опасная; чрезвычайно опасная	Мониторинг изменения параметров и площади пожара; локализация источников пожара и взрывов; транспортирование и локализация взрывоопасных устройств; вскрытие объектов и эвакуация материальных ценностей; охрана зоны
4.	Зона взрывов + химическая. Степени риска: умеренная; опасная; чрезвычайно опасная	Поиск взрывоопасных устройств; обезвреживание взрывоопасных устройств; транспортирование взрывоопасных устройств; локализация источников взрывов и химического загрязнения; мониторинг изменения параметров химического загрязнения; охрана зоны
5.	Зона разрушений + Термическая. Степень риска: чрезвычайно опасная	Сбор данных о характере и масштабе разрушения; локализация очагов пожара; обрушение неустойчивых элементов завалов; продельывание проходов в завалах, расчистка; вскрытие объектов, эвакуация материальных ценностей; охрана зоны
6.	Зона наводнений (затоплений) + разрушения. Степени риска: опасная; чрезвычайно опасная	Мониторинг изменения параметров затопления; возведение переправ; вскрытие заблокированных помещений; эвакуация материальных ценностей; локализация источников аварий на электро-газо-теплосетях, продуктопроводах и др.; специальные подводно-технические работы

В то же время опыт применения таких машин, а также практика выполнения спасательных работ позволяют сделать вывод о необходимости создания принципиально других систем, обладающих целым набором качеств, необходимых для проведения спасательных работ. Такие робототех-

нические комплексы должны соответствовать следующим требованиям: универсальность, что означает обеспечение выполнения всего комплекса спасательных работ; функциональные возможности должны быть сравнимы с человеческими – схожие с человеком силовые, динамические, массогабаритные характеристики позволяют выполнять любую работу, которую способен выполнить человек; вариативность систем управления с целью создания возможности выбора системы управления в зависимости от задачи и условий ее выполнения [2].

Фактически речь идет о создании робота, обладающего возможностями человека, а следовательно, имеющего общее с человеком строение. То есть уже сейчас можно сделать вывод о выявлении потребности в антропоморфном роботе для выполнения спасательных работ, который будет представлять собой сложную совокупность опорно-двигательного аппарата, механических конечностей, систем управления и распознавания пространства, способных обрабатывать и понимать окружающую обстановку и команды.

С этой целью в 2014–2016 годы ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России приняло участие в реализации проекта, выполненного научным производственным объединением «Андроидная техника» по заказу Фонда перспективных исследований. Его целью было создание демонстрационного образца робототехнического комплекса на основе антропоморфных технологий для решения задач МЧС России.

Одной из главных особенностей данного проекта явилось то, что он изначально был сориентирован на создание робота, который обладает свойствами, необходимыми для ведения спасательных работ. Причем к началу работ в России не было не только опыта создания таких систем, но и отсутствовало понимание, какими качествами они должны обладать в первую очередь и каким требованиям соответствовать.

Такое положение определялось тем, что ранее использовавшиеся робототехнические комплексы создавались с целью выполнения единичных/единственных операций. Например: роботы-разведчики для осмотра местности или объектов с помощью телекамер; роботы-саперы с минными тралами; роботы с двух-, трехпальными стрелами-манипуляторами для перемещения грузов. К тому же подобные комплексы являлись фактически машинами с дистанционным управлением, с низким уровнем автономности.

Создание же многофункциональной машины, сориентированной на повторение возможностей человека, требовало переосмысления функциональных и технических требований, предъявляемых к робототехническим комплексам. Данная задача также осложнялась и тем, что спасатели МЧС России имеют различную профессиональную специализацию: альпинисты, водолазы, пиротехники, парашютисты и т. п. В связи с этим также необходимо было учесть востребованность и достижимость отдельных качеств.

Результатом проведенных исследований стал перечень операций, возможность выполнения которых была использована в качестве основы для формирования технических требований к разрабатываемому роботу.

Он включает:

- работу с аварийно-спасательным инструментом: цепной пилой, дисковой пилой, дрелью, шуруповертом, углошлифовальной машиной, гидравлическими ножницами и кусачками, электро-сваркой;
- тушение очага пожара с помощью кошмы, огнетушителя, пожарного ствола с прокладкой магистральной рукавной линии из пожарной бочки или водоема с помощью пожарных ведер;
- перемещение: по лестнице, в тоннеле, через оконные проемы, ползком, в кабине автомобиля;
- выполнение операций: подача спасательного круга, постановка укола;
- выполнение спасательных работ в группе: комплекс спасательных работ по извлечению пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях из легкового автомобиля; по извлечению пострадавшего из-под подвижной плиты.

Формирование данного списка позволило также определить проблемы, выявить которые без привязки к конкретике функциональных требований было невозможно. Среди наиболее сложных из них можно выделить следующие:

- разнообразие работ, к выполнению которых в будущем будут привлекаться роботы: от загрузки-разгрузки транспортных средств до работы со взрывными устройствами и оказания первой помощи пострадавшим;
- несовершенство вычислительной техники и алгоритмов выбора оптимального решения (траектории движения рабочего органа и каждого звена руки манипулятора, скорость реагирования на появление непредвиденных препятствий и т. д.);
- необходимость увеличения числа степеней свободы (подвижности) руки робота-манипулятора и других конструктивных элементов.

Каждая из указанных проблем порождала новые. К тому же все они были взаимосвязаны друг с другом. Например, количество подвижностей руки механизма можно увеличить только при условии совершенствования алгоритма выбора траектории движения. Последнее напрямую связано с проблемами обратной связи: поступлением и обработкой данных от внешних датчиков (положения, визуальных, тактильных, звуковых и т. д.). Увеличение потока данных приводит к необходимости роста производительности вычислительного и приема-передающего устройств. Таким образом, решение всего одной задачи становится возможным только при решении множества подзадач.

Необходимо отметить, что при формировании проекта создания робота-спасателя в качестве основного режима работы рассматривался копирующий. Считалось, что необходимо создать специальный задающий экзоскелет, который будет надеваться на опытного спасателя и выполнять требуемые операции, находясь в комфортных условиях. Робот их скопирует, находясь на реальном объекте. При этом спасатель увидит обстановку через VR-шлем и почувствует нагрузку через систему силомоментной обратной связи.

Однако в ходе реализации проекта было выявлено, что существовавшие на начало работ технологии управления не обеспечивают возможность выполнения большинства подготовительных операций, включая придвижение робота к месту ведения спасательных работ. Стало понятно, что использование только копирующего режима делает практически невозможным применение антропоморфного робота для спасательных операций. Например, дистанция от транспортного автомобиля до места выполнения спасательных операций составляет десятки, а то и сотни метров. Следовательно, спасатель-оператор должен прежде, чем начать работать, пройти это расстояние в задающем экзоскелете, то есть необходимо подготовить помещение, в котором он смог бы выполнить это перемещение.

Исходя из этого, был сделан вывод о необходимости пересмотра решения о приоритетности копирующего решения в пользу комбинированного, объединяющего автоматическое управление и копирующее.

То есть выполнение достаточно простых или циклически повторяющихся операций должно быть основано на некоей библиотеке алгоритмов, которая должна быть загружена в систему управления. Однако, если выполняется сложная операция, связанная с очень тонкими манипуляциями, малоразмерными объектами, или работа в недетерминированной, сложной обстановке, то система управления переводится в копирующий режим, и робот начинает копировать движения, выполняемые спасателем.

Другой проблемой, невозможность решения которой выявила необходимость отказаться от использования копирующего режима в качестве основного, стала потребность в постоянной калибровке и подстройке системы копирующего управления.

Это, во-первых, связано с несовершенством угловых датчиков контроля движений. Во-вторых, с тем, что кости в суставах соединены не строго концами и, в отличие от шарниров манипулятора, поворачиваются не в идеальной плоскости. Кроме того, кости плеча и предплечья могут скручиваться. Все это вместе приводит к тому, что возникает и в дальнейшем нарастает ошибка в воспроизведении движений человека. А учитывая то, что копирующий режим должен применяться для выполнения наиболее сложных и ответственных операций, в том числе связанных с применением мелкой моторики, такие погрешности в управлении манипуляторами при выполнении спасательных работ являются недопустимыми. В связи с этим обязательными становятся постоянный контроль параметров ошибки, регулярная подстройка и калибровка системы управления.

В целом работа над проектом «Спасатель» показала принципиальную возможность создания антропоморфного робота для выполнения спасательных работ в условиях повышенного риска. Принципиальные решения, выработанные в ходе реализации проекта, стали основой для создания реально применяемых робототехнических комплексов. В частности, по заказу Госкорпорации «Росатом» были произведены мобильные роботизированные манипуляторы антропоморфного типа, которые применяются для сортировки радиоактивных отходов. Робот «Федор» (FEDOR – Final Experimental Demonstration Object Research), официальное название Skybot F-850, летом 2019 года побывал в космосе, в том числе на борту Международной космической станции МКС.

Данные проекты подтвердили правильность выбранных решений. Так, антропоморфные роботы торсового типа, применяемые «Росатомом», используют в качестве ходовой части базу гусеничной машины. Отказ от педипуляторной ходовой части привел к значительному снижению проходимости и мобильности. В настоящее время данные робототехнические комплексы применяются только на ровных поверхностях.

Кроме того, работа над проектом «Спасатель» выявила ряд областей, в которых дальнейший значимый прогресс невозможен без серьезных научно-технических прорывов. Среди них необходимо выделить прежде всего: энергообеспечение; развитие компонентной базы; совершенствование программного обеспечения; создание высокоэффективного технического зрения; реализацию принципов группового управления роботами [3].

Успех в этих направлениях позволит выйти на полномасштабную разработку робототехнического комплекса для проведения спасательных работ в интересах МЧС России на основе антропоморфных технологий.

По нашим оценкам, такой комплекс должен состоять из следующих основных элементов: роботов-андроидов, беспилотных летательных аппаратов, комплекса поддержки, стационарного пункта управления комплексом, подвижного пункта управления комплексом, средств транспортировки и связи.

Применение отдельных роботов-андроидов представляется малоэффективным. Предварительная оценка показывает, что в состав комплекса должны входить 2–4 аппарата.

Целью беспилотных летательных аппаратов является осуществление мониторинга обстановки в местах применения роботов-андроидов и ретрансляции управляющих сигналов.

Комплекс поддержки обеспечивает транспортировку оборудования, эвакуацию пострадавших, замену источников энергии. Учитывая то, что роботы-андроиды будут применяться в условиях повышенного риска, средства поддержки должны быть полностью роботизированы, при этом обладать очень высокой проходимостью, позволяющей в том числе перемещаться в условиях разрушенной городской инфраструктуры. Представляется предпочтительным использование в качестве такого средства поддержки четырехногого биоморфного робота, способного работать как в автономном режиме, так и в режиме ручного управления.

Стационарный пункт управления предназначен для общего руководства применением комплекса, управлением роботами-андроидами как в группе, так и отдельными аппаратами, в том числе и в копирующем режиме. Предполагается, что он должен быть оснащен системой трехмерной визуализации обстановки в зоне чрезвычайной ситуации и обеспечивать возможность обучения применению таких комплексов.

Подвижный пункт управления предназначен для непосредственного контроля за применением роботов-андроидов и систем их обеспечения. Предполагается, что он вместе с системами связи и транспортировки оборудования будет смонтирован на базе стандартного автомобильного шасси.

Подводя итог, можно отметить, что разработка комплексов ведения спасательных работ в условиях повышенного риска на основе биоморфных, в том числе антропоморфных, роботов является чрезвычайно перспективным направлением. В настоящее время представляется целесообразным проведение исследований по развитию технологий группового управления системы, состоящей из двух, четырех роботов-андроидов. Также необходимо продолжить работы по созданию библиотеки алгоритмов движений робота, включая алгоритмы применения аварийно-спасательного инструмента; развитие системы динамического равновесия; применение нейронных сетей как для управления аппаратами, так и в подсистемах технического зрения.

Большой интерес с точки зрения создания комплекса ведения спасательных работ представляет создание биоморфного роботизированного транспортного средства для доставки грузов и оборудования к месту ведения спасательных работ. Данный аппарат должен обладать проходимостью не хуже, чем у человека. Его система управления должна обеспечивать управление аппаратом в следующих режимах: ручном; полуавтоматическом (движение за оператором по его маршруту, движение с заданной скоростью, движение за маяком); автоматическом (по заранее введенному маршруту с коррекцией по данным навигационных систем).

#### Библиографический список

1. ГОСТ Р 54344-2011 «Техника пожарная. Мобильные робототехнические комплексы для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний».

2. *Мошков В. Б., Баранник А. Ю., Якутов А. В.* Развитие антропоморфных технологий для решения задач МЧС России // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Обеспечение безопасности при чрезвычайных ситуациях // Материалы VII Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 24 сентября 2015 года, 165–168 с.

3. РИА новости. URL: <https://ria.ru/20171013/1506771700.html> (дата обращения: 01.02.2020).

## УДК 621.313.1

**В. А. Лазерко**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**Д. В. Кукушкин**

аспирант\*

**Р. Ш. Еникеев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

\*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки института электрофизики и электроэнергетики РАН

**ОСНОВНЫЕ ВЕХИ РАЗВИТИЯ ПОЗДНИХ ГЕНЕРАТОРОВ ТЗВ****Введение**

Турбогенераторы серии ТЗВ предназначены для выработки электроэнергии при непосредственном соединении с паровыми турбинами на тепловых электростанциях.

Основная цель создания турбогенераторов с полным водяным охлаждением активных частей заключалась в отказе от водородного охлаждения из-за его опасности использования. В народе турбогенератор получил названия «три воды» за счет интенсивного водяного охлаждения трех основных элементов машины: обмоток ротора и статора, сердечника статора и других конструктивных элементов. Под руководством А. Б. Шапиро, И. А. Кади-Оглы и И. А. Глебова был спроектирован первый турбогенератор с полностью водяным охлаждением мощностью 63 МВт и частотой вращения 3000 об./мин, который позже был введен в эксплуатацию в 1969 году. Работы по новому классу машин ТЗВ-63 проходили с большими трудностями, связанными с непониманием многими специалистами перспективности нового направления. Однако благодаря активной позиции И. А. Глебова данное техническое направление нашло поддержку у руководства как Министерства электротехнической промышленности, так и Министерства энергетики и электрификации СССР [1]. За время проектирования серии были введены в эксплуатацию турбогенераторы ТЗВ мощностью 63, 110, 220, 320, 500, 800 и 1200 МВт. Последние четыре турбогенератора имеют одинаковое поперечное сечение, но различную длину, что обеспечивает наиболее высокий уровень унификации, а, следовательно, и упрощение производства. Генераторы этой серии получили обширное распространение по России (табл. 1).

Таблица 1

**Референц-лист поздних турбогенераторов серии ТЗВ**

№ п/п	Тип турбогенератора	Место установки	№ блока	Год изготовления	Год пуска
1.	ТЗВ-800-2У3	Рязанская ГРЭС	5	1980	1981
2.	ТЗВ-800-2У3	Рязанская ГРЭС	6	1981	1982
3.	ТЗВ-800-2У3	Пермская ГРЭС	1	1985	1986
4.	ТЗВ-800-2У3	Пермская ГРЭС	2	1987	1987
5.	ТЗВ-800-2У3	Пермская ГРЭС	3	1990	1990
6.	ТЗВ-800-2У3	Талимарджанская ГРЭС	1	1991	2002
7.	ТЗВ-890-2АУ3	Белоярская АЭС	4	2010	2010
8.	ТЗВ-1200-2АУ3	Нововоронежская АЭС-2	1	2011	2017
9.	ТЗВ-1200-2АУ3	Ленинградская АЭС-2	1	2011	2017
10.	ТЗВ-1200-2АУ3	Нововоронежская АЭС-2	2	2013	2019
11.	ТЗВ-1200-2АУ3	Ленинградская АЭС-2	2		

**Особенности решений при проектировании**

Генератор состоит из следующих основных конструктивных элементов: статора, ротора, концевых частей статора с обеих сторон генератора, щитов наружных с камерами слива дистиллята, напорных камер дистиллята для обмоток ротора, подшипников, щеточно-контактного аппарата (рис.



1). Генератор имеет полное водяное охлаждение с двумя автономными системами охлаждения и системой охлаждения и ротора (СОС и СОР). Система охлаждения элементов статора включает пять параллельных цепей: обмотку статора, охладители сердечника статора и ребра статора, охладители нажимных колец сердечника статора, а также охладители тиристорных преобразователей систем рабочего и резервного возбуждения генератора [2]. Система охлаждения обмоток ротора имеет две параллельные цепи: обмотку возбуждения и демпферную обмотку. Предусмотрен отбор дистиллята из этой системы для охлаждения лабиринтных уплотнений со стороны турбины и со стороны возбуждителя.

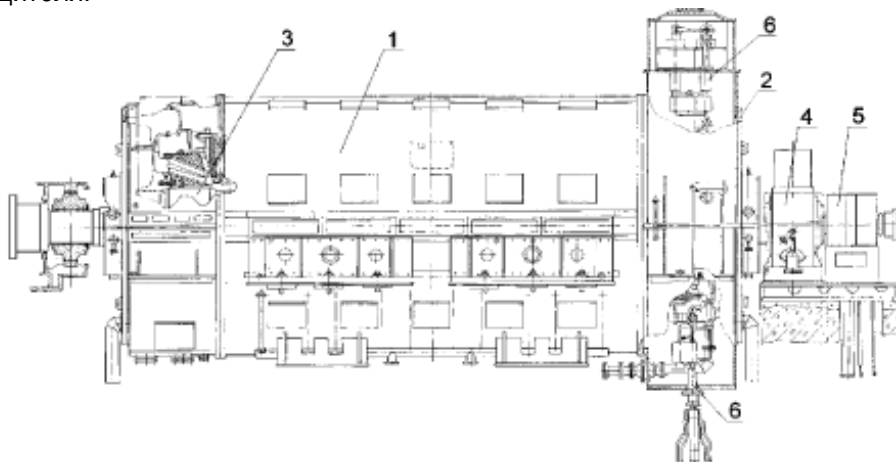


Рис. 1 Турбогенератора ТЗВ-800-2: 1 – статор; 2 – щит наружный с напорной и сливной камерами; 3 – ротор; 4 – подшипник; 5 – аппарат щеточно-контактный; 6 – вывод концевой

Отличительной и важной особенностью турбогенераторов серии ТЗВ является оригинальная система самонапорного водяного охлаждения. Также стоит отметить, что особенностью этого класса считается подача и слив воды в обход вала, что делает конструкцию менее сложной и более надежной, в отличие от своих предшественников и аналогов, в которых подача воды и ее отвод с обмотки ротора происходили через отверстия в валу. Вода из неподвижной трубы поступает в зону фасонного кольца на роторе и удерживается в нем центробежными силами. Далее она идет в нижние выводы катушек из прямоугольных проводов с отверстиями и под действием центробежных сил попадает в верхние выводы и сливное кольцо [3].

### Развитие ТЗВ-800

Успешный опыт работы ранних турбогенераторов, исследование отдельных узлов на макетах и моделях позволили выступить со смелым предложением создать турбогенератор мощностью 800 МВт с частотой вращения 3000 об./мин. Однако это предложение встретило активное сопротивление на разных уровнях. После многочисленных дискуссий было принято решение о создании такого турбогенератора.

Особые трудности возникли при создании турбогенератора мощностью 800 МВт. В связи с очень большими электродинамическими силами и условиями работы, близкими к резонансным, оказались неприемлемыми обычные способы крепления лобовых частей обмоток, поэтому встал вопрос об усовершенствовании способов крепления, решением этой проблемы стало монолитное крепление лобовых частей обмоток, достигнутое за счет новых крепящих материалов: мягкого материала, формирующегося при комнатной температуре, то есть в процессе изготовления машины, и твердеющего при повышенной температуре, а также само усаживающихся лавсановых шнуров. Первая машина была изготовлена в ЛЭО «Электросила», прошла испытания на стенде 2-го завода в пос. Металлострой под Ленинградом (ныне ОАО «Сила»). Турбогенератор ТЗВ проходил испытания в цехе под контролем И. А. Глебова, который регулярно посещал производственную площадку, вникал в детали испытаний ТЗВ. Он беседовал с группой испытателей; его интересовало их мнение о машине, поскольку они могли сравнивать ее с другими, тем самым помогая развитию серии ТЗВ. Первый объект был поставлен на Рязанскую ГРЭС в 1980 году. В ходе эксплуатации на станции вы-

яснилась необходимость сушки воздуха в корпусе машины с целью исключения увлажнения обмотки статора и, как следствие, возможных коротких замыканий. Во ВНИИ Электромаш такая система была разработана и поставлена на Рязанскую ГРЭС.

Однако в процессе эксплуатации основной проблемой генераторов 800 МВт стала межфазное КЗ, которое могло происходить из-за нарушения межвитковой изоляции в процессе установки или закорачивания обмотки на сердечник ротора или статора. Так, например, случилась авария из-за межфазного КЗ на Нововоронежской ГРЭС, где КЗ произошло между двумя наконечниками лобовых частей выводных стержней обмотки статора на стороне «В» в зоне 1 часа. В результате чего возникли следующие повреждения: расплавлен выводной верхний стержень в месте КЗ и частично сопредельный нижний выводной стержень, оплавлены штуцера водопровода 10 головок обмотки, разрушены 3 проходных изолятора линейных выводов, покрыты копотью лобовые части статора, бандажный узел и поверхность бочки ротора со стороны возбуждителя. Считается, что причиной КЗ стал усталостный излом проводников в месте их пайки к наконечнику верхнего выводного стержня из-за большой амплитуды циклических деформаций изгиба в следствие возникшего резонанса колебаний соединительной шины.

В дальнейшем были введены в эксплуатацию второй турбогенератор и три турбогенератора на Пермской ГРЭС и один на Талимаджарской ГРЭС. После этого было принято решение о накоплении эксплуатационного опыта перед принятием новых заказов.

### Развитие ТЗВ-1200

Апогеем серии на настоящее время являются турбогенераторы ТЗВ-1200-2, которые вобрали в себя весь опыт конструкторско-инженерных решений на ранних этапах серии. Турбогенераторы ТЗВ-1200 (табл. 2) являются высокоэффективными взрывопожаробезопасными турбогенераторами для атомных электростанций. Первые две модели были спроектированы и изготовлены «Силовыми машинами» и поставлены для НВАЭС-2 и ЛАЭС-2. Позднее новые машины были поставлены на вторые энергоблоки этих станций. Первый генератор был поставлен на Нововоронежскую АЭС-2 в 2011 году [4], целых 6 лет шло строительство, доработка, наладка машинного зала вместе с установкой ТЗВ-1200. 27 февраля 2017 года генератор был введен в эксплуатацию. Стоит отметить, что для установки ротора и статора генератора был спроектирован специальный кран, настолько большим и тяжелым является новый генератор.

Таблица 2

Параметры ТЗВ-1200

Тип генератора	ТЗВ-1200-2УЗ
Завод-изготовитель	«Электросила»
Полная мощность МВА	1333
Активная мощность, МВт	1200
Напряжение статора кВ	24
Ток статора, кА	16х2
Коэффициент мощности	0,9
Напряжение ротора (расчетное), В	620
Ток ротора (расчетный), А	6,5
Температура технической воды, не более, °С	32
Температура дистиллята, не более, °С	40
Частота вращения, об в мин	3000
Частота, Гц	50
Соединение фаз статора	УУ

Для пуска в эксплуатацию был проведен комплекс испытаний, таких как тепловые испытания турбогенератора, 18 испытаний на уровне полной мощности, комплексное опробования блока «генератора-трансформатор» на различных уровнях мощности. Однако при проведении испытаний на повышении мощности до номинальной мощности произошло аварийное отключение генератора от питающей сети. Причиной отключения стало межфазное КЗ обмоток статора генератора. Главный инженер НВАЭС по электрической части объяснил причину КЗ: «Режим работы генераторов с недо возбуждением вынужден принимать на себя реактивную энергию по причине превышения емкостной составляющей напряженности в электрической сети, в которую он выдает свою активную энергию. Этот режим генератора также снижает статическую и динамическую устойчивость работы при коротких замыканиях, качаниях в энергосистеме. Принимая реактивную энергию из системы на себя, генератор превращается в комбинированный генератор активной энергии и трансформатор реактивной энергии. В таких сложных процессах работы электромагнитных полей в генераторе образуются индукционные электродвижущие силы, воздействующие на торцевые петли обмоток статора генератора с повышенными частотами. Вот эти индукционные силы и разрушают части обмоток в зоне выхода их из пазов активной стали сердечника статора.

Причиной повреждения обмоток статора турбогенератора на НВАЭС можно считать то, что генератор при испытании работал в режиме недо возбуждения. После генератор был введен в эксплуатацию и больше не ремонтировался.

Турбогенератор на ЛАЭС-2. Как и в случае с НВАЭС-2, статор генератора является самым тяжеловесным оборудованием в машинном зале, поэтому пришлось дорабатывать кран до работоспособности на 440 тонн. Первый запуск турбины в блоке № 1 состоялся в феврале 2018 года, был достигнут минимальный контролируемый уровень мощности, порядка 1 %, после чего началась цепная реакция деления. Этому успеху предшествовал целый год отладочно-пусковых работ. В марте был выполнен первый пробный пуск генератора на холостом ходу, постепенно увеличивая скорость вращения до номинальной. Эта операция считается одной из самых важнейших в подготовке энергоблока к эксплуатации. В процессе операции все было выполнено успешно, и все тепломеханические показатели были в пределах допустимых. Позднее турбогенератор был введен в эксплуатацию и исправно функционирует по сей день. То же самое касается и 7-го энергоблока НВАЭС-2. Турбогенератор успешно функционирует.

В настоящее время идет строительство второго энергоблока ЛАЭС-2, в котором так же идет установка турбогенератора ТЗВ-1200.

### Заключение

Серия турбогенераторов ТЗВ является колоссально сложной в производстве, но никакие трудности не смогли прекратить развитие этой серии, благодаря своим преимуществам (таким как: полное исключение водорода и заполнение корпуса воздухом при атмосферном давлении, повышенная надежность ротора, меньший уровень нагрева активных частей, применение негорючих материалов, повышенная плотность вибраций корпусов). Для радикального снижения вибраций корпусов машин применялась эластичная связь между сердечником и корпусом. Это достигалось с помощью продольных прорезей в ребрах прямоугольного сечения, на которых собирается сердечник.

По мнению И. А. Глебова, «к преимуществам турбогенераторов с полным водяным охлаждением относятся следующие: исключение водорода и заполнение корпуса машины воздухом при атмосферном давлении и как результат этого взрывопожаробезопасность машин; отсутствие сложных масляных уплотнений вала ротора; отказ от применения вентиляторов и газоохладителей; применение самонапорной системы охлаждения ротора, что позволяет исключить множество металлических и изоляционных трубок, уплотнений и паяных соединений в случае подачи и отвода воды через вал; установка охладителей в кольцевых каналах сердечника статора вместо распорок, что приводит к повышению жесткости сердечника, снижению уровня его вибраций и корпуса, а также снижению шума» [5]. Таким образом, в нашей стране была успешно решена очень сложная научно-техническая проблема – освоено производство турбогенераторов мощностью 800/1200 МВт с полным водяным охлаждением, которая также уменьшает затраты на систему противопожарных мероприятий на ГРЭС и АЭС России.

**Библиографический список**

1. Электрические машины для электроэнергетики и общего назначения. URL: <https://helpiks.org/6-70253.html> (дата обращения: 20.02.2020).
2. Турбогенераторы серии ТЗВ. Групповые технические условия на капитальный ремонт. Нормы и требования. Издание официальное. М., 2010. 52 с.
3. *Саматова Ш. Ю.* Система охлаждения турбогенератора ТЗВ-800–2 Талимарджанской ТЭС // Молодой ученый. 2015. № 4. С. 252–255.
4. На энергоблоке № 2 Нововоронежской АЭС-2 установлен статор турбогенератора. URL: <http://www.rosatom.ru/journalist/news/na-energobloke-2-novovoronezhskoy-aes-2-ustanovlen-stator-turbogeneratora/> (дата обращения: 20.02.2020).
5. История электротехники. URL: <https://e-libra.su/read/375981-istoriya-elektrotehniki.html#189122252> (дата обращения: 20.02.2020).

УДК 681.5

**Д. В. Логунов**

студент кафедры электропривода, автоматики и управления в технических системах\*

**Е. М. Васильев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель\*

\*Воронежский государственный технический университет

### РАЗРАБОТКА БЫСТРОГО АЛГОРИТМА ЛОГИЧЕСКОГО СЛЕДСТВИЯ В ИСЧИСЛЕНИИ ВЫСКАЗЫВАНИЙ

В настоящее время человек занят созданием искусственного интеллекта – такой системы, которая будет мыслить и рассуждать как человек. Особую роль играет человеческая логика. Она является одним из главных компонентов интеллектуальной познавательной деятельности. Если удастся формализовать и разработать алгоритм человеческой логики, то будет решена одна из главных проблем искусственного интеллекта. Благодаря этому машины очень быстро догонят человечество по объему знаний и так же быстро опередят нас.

Одной из таких проблем является быстрое определение логического следствия. Чтобы опровергнуть, является ли заключение логическим следствием, нужно найти такую строку в таблице истинности, в которой все посылки будут истинными, а заключение – ложным. Существуют довольно простые алгоритмы определения логического следствия по полной таблице истинности, но в случае, если переменных много, это может занять достаточно много времени. Поэтому можно не заполнять всю таблицу истинности, а попробовать целенаправленно сформировать такую строку, в которой все посылки истинны, а заключение ложно.

Принцип работы данного алгоритма:

1. формализованное высказывание сворачивается до такого вида, пока оно не будет выглядеть как конъюнкция дизъюнктов или конъюнктов;
2. составляется таблица истинности для первой по порядку посылки. Из этой таблицы берется строка значений, удовлетворяющих условию истинности этой посылки;
3. для посылок, в которых присутствует одна из переменных, известная из предыдущих посылок берется сначала ложное значение неизвестной переменной и проверяется соответствие условию истинности посылки. Если не соответствует, – значение второй переменной меняется на противоположное;
4. для посылок, в которых не присутствует известных из предыдущих посылок значений переменных, составляется таблица истинности и берется первая удовлетворяющая условию истинности посылки строка значений;
5. это повторяется до тех пор, пока не удастся найти непротиворечащие значения переменных при условии истинности посылок и ложности заключения. В противном случае заключение будет являться логическим следствием;
6. если нашли комбинацию, при которых посылки истинны, а заключение ложно, программа переходит на следующий уровень (уровень ниже), то есть один раз разворачивает это высказывание. Повторяются пункты 2–5;
7. если все возможные комбинации были перебраны, но не нашлось таких значений переменных, при которых выполняются условия истинности или ложности переменных верхнего уровня, программа возвращается к первой посылке верхнего уровня и берет следующую, удовлетворяющую условию истинности посылки строку в таблице истинности. Повторяются пункты 2–5;
8. пункты 6 и 7 выполняются до тех пор, пока не найдется комбинация переменных верхнего и нижнего уровня, где переменные верхнего уровня удовлетворяют условию истинности посылок, которые они формируют, а переменные нижнего уровня удовлетворяют значениям переменных верхнего уровня.

Возьмем для примера высказывание:  $(b \vee c) \vee (b \wedge c), (a \vee c) \vee (b \wedge c), (b \vee c) \vee (a \wedge b) \models (a \wedge b) \wedge (b \vee c)$ . Упростим его (п.1):  $(A) \vee (B), (C) \vee (B), (A) \vee (D) \models (D) \wedge (A)$ . Для первой посылки  $(A) \vee (B)$  составляется таблица истинности и берется первая строка значений, при которых эта посылка истинна (п. 2). Такой строкой будет  $A = 0, B = 1$ . Переходим ко второй посылке  $(C) \vee (B)$ . У нас известно

$V = 1$  – значит, берем  $C = 0$  и проверяем посылку на истинность (п. 3). При  $V = 1$  и  $C = 0$  вторая посылка истинна. Переходим к третьей посылке  $(A) \vee (D)$ . Известно, что  $A = 0$  – значит, пробуем  $D = 0$ . Посылка ложна – значит, берем  $D = 1$ . При  $A = 0$  и  $D = 1$  посылка истинна. Переходим к заключению  $(D) \wedge (A)$ . Все значения известны  $A = 0$ ,  $D = 1$ . Заключение ложно при данных значениях – значит, переходим на нижний уровень.  $A = 0$ ,  $A = b \vee c$ , из таблицы истинности для этой посылки берем первую удовлетворяющую условию ложности этой логической связки строку –  $b = 0$ ,  $c = 0$ . Переходим к  $V = 1$ ,  $V = b \wedge c$ . Из  $A$  известно, что  $b = 0$  и  $c = 1$ , а эти значения не дают требуемое  $V = 1$ . Программа возвращается к первой посылке  $(A)$ , ищет другую удовлетворяющую условию  $A = 0$  строку значений. В нашем случае таких строк нет – значит, возвращаемся на верхний уровень и ищем другое сочетание значений  $A$ ,  $V$ ,  $C$ ,  $D$  удовлетворяющие истинности посылок и ложности заключения. Следующей такой комбинацией будет  $A = 1$ ,  $V = 0$ ,  $C = 1$ ,  $D = 0$ . Спускаемся на нижний уровень.  $A = 1$ ,  $A = b \vee c$ , первая подходящая строка –  $b = 0$ ,  $c = 1$ .  $V = 0$ ,  $V = b \wedge c$ ,  $b = 0$ ,  $c = 0$ . Получили требуемое  $V = 0$ , переходим к  $C = 1$ ,  $C = a \vee c$ . Известно, что  $c = 0$ , пробуем  $a = 0$  – не подходит, пробуем  $a = 1$  – подходит. Переходим к  $D = 0$ ,  $D = a \wedge b$ ,  $a = 1$ ,  $b = 0$ , эти значения дают нужное  $D = 0$ . Значит, все значения переменных двух уровней были заполнены без противоречий, заключения не является логическим следствием.

Итого программе потребовалось 3 шага, чтобы опровергнуть наличие логического следствия. Программа, основанная на проверке по полной таблице истинности, сделала бы тоже самое, но только за 11 шагов. Но эти цифры справедливы только для данного примера.

### Библиографический список

1. Герасимов А. С. Курс математической логики и теории вычислимости. СПб.: Лема, 2011. 284 с.
2. Игошин В. И. Математическая логика и теория алгоритмов. 2-е изд., стереотип. М.: Академия, 2008. 448 с.
3. Марков А. А. Элементы математической логики / Под ред. А. Г. Драгилина. М.: МГУ, 1984. 79 с.

УДК 621. 313.2

**Е. Ю. Малатынская**

студентка кафедры электроэнергетики и робототехники

**С. С. Тимофеев** – старший преподаватель – научный руководитель

### АНАЛИЗ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С АКСИАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ

На сегодняшний день все чаще рассматриваются источники возобновляемой энергии для обеспечения энергий потребителей. В качестве источника энергии используются источники различной мощности, которые могут справиться с поставленными задачами. Несмотря на большой ассортимент ветровых энергетических установок, продолжается проектирование новых установок, которые могли бы показывать более стабильную работу при различном диапазоне ветров, гарантированно вырабатывать электрическую энергию, быть простыми в эксплуатации [1].

Главным элементом ветряной энергетической установки является генератор, конструкция которого может быть реализована в различных вариациях.

Все более часто встречаются разработки генераторов с возбуждением от постоянных магнитов. Интерес обуславливается их лучшими энергетическими характеристиками, простой конструкцией генераторов, большим сроком службы, высокой надежностью, а также способностью работать на высокой частоте вращения.

Впервые постоянные магниты – NFeB стали использовать в Японии с 1982 года [2]. На данный момент именно они имеют широкое применение. Производителем магнитов выступает Китай [3].

Целью работы является обосновать разработку и эффективность генератора.

Рассмотрим синхронный генератор с аксиальной магнитной системой на постоянных магнитах. Он имеет ряд явных преимуществ по сравнению с аналогами радиального потока. Генераторы с осевым потоком могут быть спроектированы так, чтобы иметь более высокое отношение мощности к весу, что в результате приведет к меньшему количеству материала сердечника, плоские и плавно регулируемые воздушные зазоры, снижение уровня шума и вибрации. Существует множество вариантов базовой конструкции синхронного генератора с аксиальной магнитной системой на постоянных магнитах [4], включая односторонние [5], двухсторонние [6], тороидальные [7] и многодисковые конструкции.

Синхронный генератор, рассматриваемый в данной статье, представляет собой трехфазную систему с двумя роторами и одним статором, номинальной мощностью до 5 кВт и скоростью 750 об./мин. Ротор включает в себя постоянные магниты, сделанные на основе сплава NdFeB – неодим – железо – бор. В конструкции использовалось по 8 магнитов в каждом роторе, диаметр одного магнита составлял 8×40мм. Магниты имеют цилиндрическую форму с аксиальной намагниченностью. Крепеж магнитов осуществляется в специальной накладной из стеклотекстолита, закрепленной болтами и эпоксидной смолой. В этом же корпусе располагается магнитопровод в виде ленты, которая выполнена из аморфной стали – АМАГ 225, ширина ее составила 20 мм, толщина 20 микрон [8]. Выбор данного сплава обусловлен его преимуществами по сравнению с традиционными сплавами: большая магнитная проницаемость, малые потери на гистерезис, малые потери на вихревые токи [9]. Ротор представлен на рис. 1.

Статор располагается среди двух роторов. Крепление катушек обмотки статора осуществляется в шести круглых вырезах стеклотекстолитового диска, толщина которого совпадает с геометрическим размером катушки в аксиальном направлении. Статор состоит из двух таких дисков, с общим количеством катушек равным 12, смещенных относительно друг друга на 30 градусов. Между дисками находится лавсановая изоляция толщиной 0,5 мм [10]. Конструкция представлена на рис. 2.

На рис. 3 представлена модель синхронного генератора с постоянными магнитами и аксиальной магнитной системы.

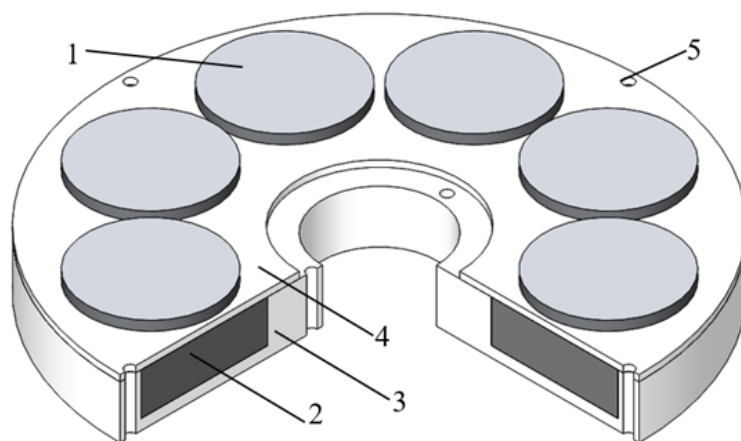


Рис. 1. Конструкция ротора с разрезом: 1 – постоянный магнит; 2 – магнитопровод; 3 – стеклотекстолитовый диск с пазом; 4 – фиксирующая накладка; 5 – крепежные отверстия

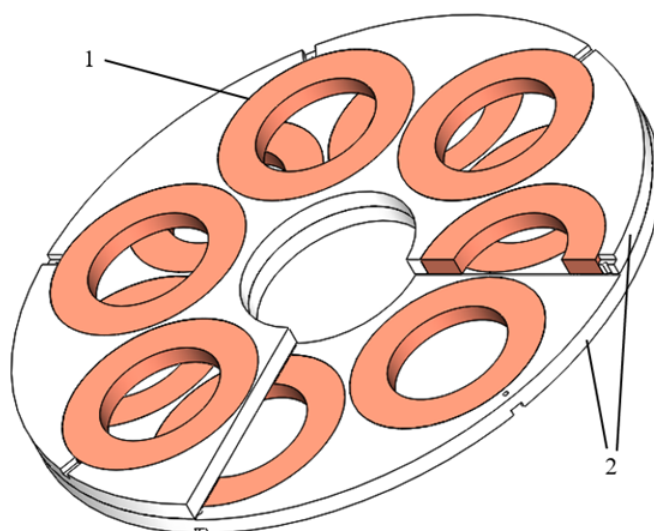


Рис. 2. Конструкция статора с разрезом: 1 – катушка обмотки; 2 – стеклотекстолитовые диски

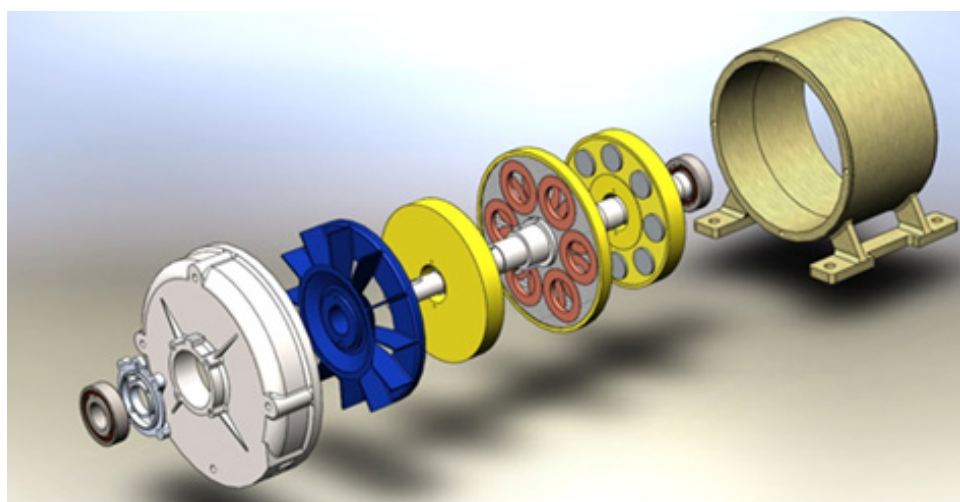


Рис. 3. Модель ветрогенератора

После сборки машины был проведен эксперимент, в результате которого получены данные синхронного генератора, представленные в табл. 1.



## Характеристики машин

Параметры	Единицы измерения	Значение	Сравнение с ДПТ
Мощность	кВт	До5	Увеличена мощность по сравнению с аналогом на 20 %
Скорость	Об/мин	750	КПД увеличен на 10 % за счет применения аморфных сталей и постоянных магнитов
Напряжение	В	127	Снижены массогабаритные характеристики
Ток	А	16	Использована новая конструкция с внутренним статором с постоянными магнитами

Приведено сравнение с двигателем постоянного тока, так как использовалась его конструкция, а конкретнее – вал и корпус.

После проведенного эксперимента по полученным данным удалось построить кривую намагничивания корпуса (рис. 4). График получен с помощью программы Mathcad.

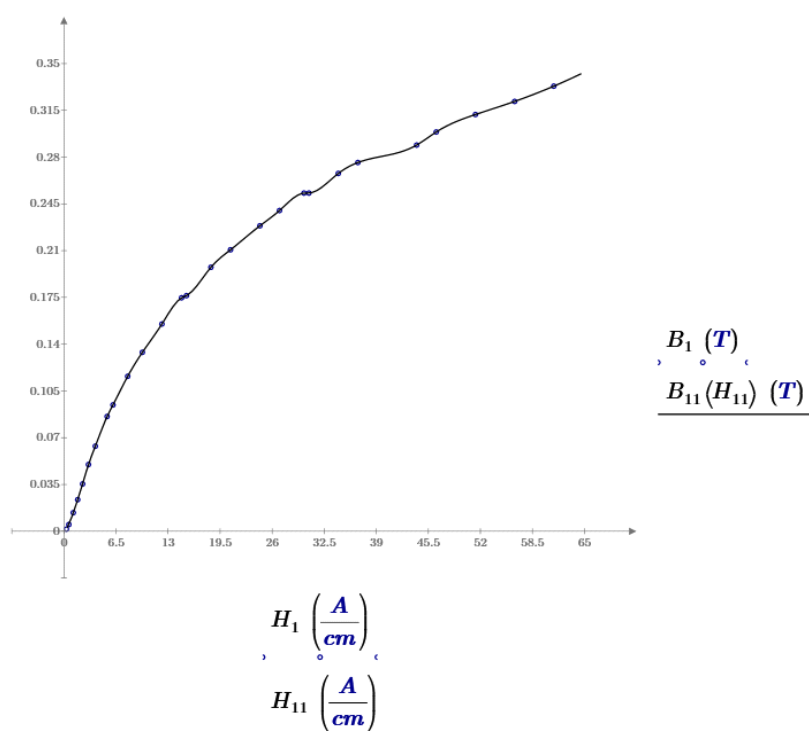


Рис. 4. График кривой намагничивания корпуса

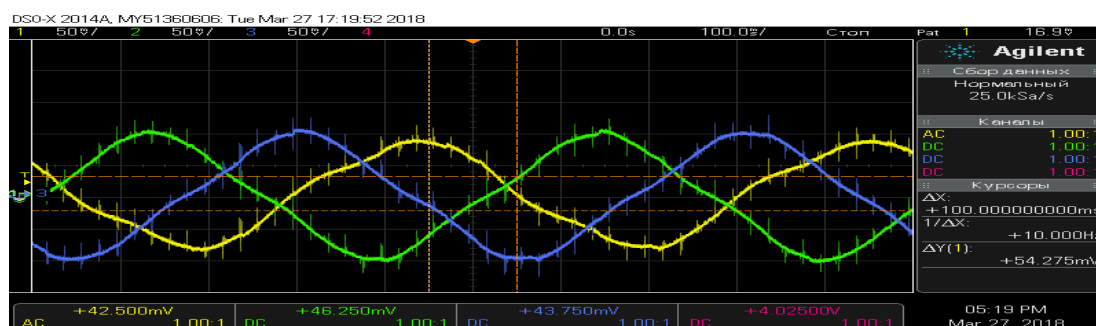


Рис. 5. Осциллограмма напряжений в катушках

Одним из экспериментов являлась проверка правильности сборки катушек, их соединение друг с другом. Для этого была снята осциллограмма напряжений. Получились три синусоиды, которые отстают друг от друга на 120 град. Так как исследование проведено на низких скоростях (рис. 5)

и не совсем отображает действительность полученного результата, на высоких скоростях картина выглядит гораздо лучше.

### Библиографический список

1. Грибков С. В., Ракитов С. А., Юдаев И. В. Многомодульные ветроэнергетические установки в системах гарантированного электроснабжения // Техника в сельском хозяйстве. 2012. № 2. С. 26–29.
2. Неодимовые магниты. Характеристики. URL: <http://tdm96.ru/?p=558> (дата обращения: 05.02.2020).
3. Патент 201403035Y CN, МПК H02H16/02, H02H15/02, H02K3/28, H02H1/22. Ветрогенератор, автор Жарков А. В., опубл. 10.02.2010.
4. Parviainen A. Design of axial-flux permanent magnet low-speed machines and performance comparison between radial-flux and axial-flux machines, Ph.D. Thesis, Lappeenranta Univ. of Technology, Finland, 2005.
5. Bumby J. Axial-flux permanent-magnet air-cored generator for small-scale wind turbines, Proc. IEE – Electr. Power Applic. 2005. Vol. 152. No. 5. P. 1065–1075.
6. Pop A., Gillon F., Radulescu M. Modelling and permanent-magnet shape optimization of an axial-flux machine, Proc. Int. Conf. Electr. Mach. CEM 2012. P. 357–363.
7. Mahmoudi A., Ping H., Rahim N. A comparison between the TORUS and AFIR axial-flux PM0 machine using finite element analysis, Proc. IEEE Int. Electr. Mach. Drives Conf. IEMDC 2011. P. 242–247.
8. Малатынская Е. Ю. Дипломная работа // Исследование синхронного генератора для возобновляемой энергетики. СПб., 2019.
9. Кекало И. Б. Атомная структура аморфных сплавов и ее. М.: Учеба, 2006. 338с.
10. Маркелов А. И. Дипломная работа // Расчет прототипа ветрогенератора с аксиальной магнитной системой. СПб, 2019.

УДК 620.90-19

**А. А. Медведев**

студент кафедры программно-целевого управления в приборостроении

**В. А. Сердитов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией является первоочередной задачей энергетического сектора. Перебои с поставкой электроэнергии могут нанести ощутимый экономический ущерб и стать причиной возникновения техногенных катастроф. Исходя из этого, от энергетиков требуют обеспечения высокой надежности электроснабжения.

Надежность – это свойство объекта, сохраняясь во времени, выполнять все необходимые функции и задачи в определенных рамках функционирования. По определению, следует различать надежность электроэнергетической системы и надежность отдельного элемента системы. Главные факторы надежности электроэнергетических систем (ЭЭС) представлены на рис. 1.

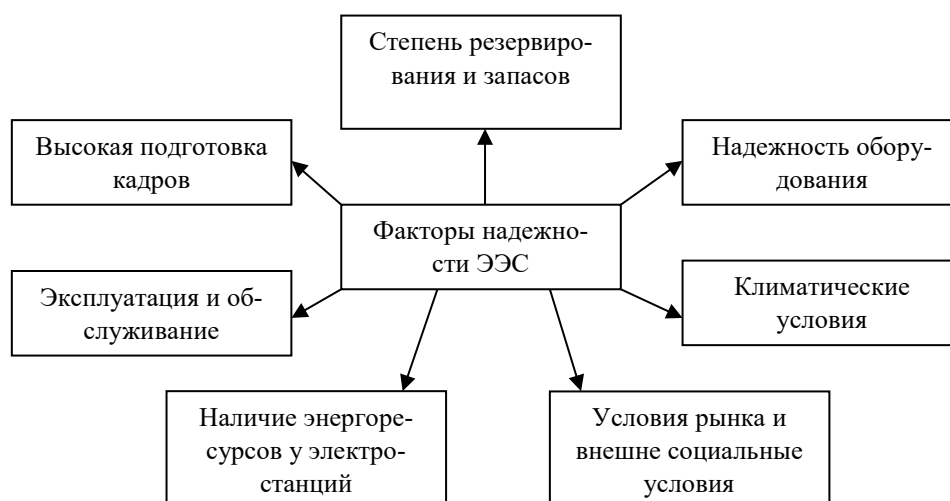


Рис. 1. Факторы надежности ЭЭС

Опираясь на рис. 1, можно сделать вывод, что к факторам, влияющим на надежность электроснабжения и надежность ЭЭС, относятся: степень резервирования и запасов, надежность оборудования, климатические условия, условия рынка и внешне социальные условия, эксплуатация и обслуживание, наличие энергоресурсов у электростанций и высокая подготовка кадров.

К показателям надежности относятся [1]:

1. Нарботка на отказ – усредненное время между двумя соседними отказами.
2. Безотказность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние в течение заданного времени.
3. Ремонтпригодность – способность предотвращать и выявлять причины отказов.
4. Живучесть – это свойство системы противостоять крупным возмущениям, не допуская отключения.
5. Работоспособность – способность системы выполнять все свои заданные функции с заданными характеристиками.
6. Долговечность – способность системы сохранять работоспособность до предельного состояния при регулярном ТО и ремонте.

Современная российская электроэнергетика поделена на различное множество генерирующих компаний, сбытовых, электроснабжающих компаний. Рыночные отношения также усложняют процесс контроля и обеспечения надежности, в частности, такие аспекты как появление субъектов управления электроэнергетической системы и стремление частных компаний увеличить прибыль, путем снижения издержек и уменьшения резервов мощности.

Главными негативными тенденциями в обеспечении надежности в России, по данным Росстат за 2015–2018 годы, становятся такие факторы, как [1]:

1. *Устаревание электроэнергетического оборудования.* К данной проблеме можно отнести так же и моральное устаревание некоторого оборудования, а также очень серьезно стоит проблема износа основных фондов. В связи с переходом на коммерческие отношения некоторых структур в электроэнергетике и высокой стоимостью нового оборудования предприятиям стало не выгодно осуществлять замену старого оборудования на новое, что в свою очередь приводит к уменьшению надежности и эффективности этого производства.

2. *Плохое состояние по техническому обеспечению оборудования.* В настоящее время существует проблема недопонимания важности технического обслуживания со стороны управленческих структур. Реформирование структуры ремонтных организаций как самостоятельных структур без обеспечения единых норм и правил по их контролю влечет за собой снижение качества предоставляемых услуг по ремонту, которые требуют постоянного надзора и понимания эксплуатационных характеристик объекта. Для выполнения всех вышеперечисленных мероприятий необходим высококвалифицированный персонал с полным комплектом оборудования и запасных частей, и хорошим финансированием.

3. *Отсутствие единой базы для мониторинга состояния и отраслевых критериев для оценки технического состояния оборудования.* Мониторинг состояния важен как для прогнозирования аварийных ситуаций оборудования, так и для составления плана ремонтов и контроля качества этих ремонтов. Отсутствие критериев оценки технического состояния ведет к непониманию в необходимости ремонта, замены или модернизации, а в конечном итоге является причиной невозможности единого подхода к оценке ремонтпригодности оборудования.

4. *Недостаточное финансирование инноваций в области электроэнергетики, а также на внедрение нового и модернизацию старого оборудования.* Следует отметить, что при нынешних тарифах на энергию формируется вполне достаточный инвестиционный фонд, но безграмотное управление данными средствами со стороны финансистов не позволяет воспользоваться ими по назначению.

5. *Застой в области машиностроения и энергостроительной отрасли.* При смене курса страны в 90-е годы были закрыты многие энергомашиностроительные заводы. Политика страны после «открытия границ» и вышедших тогда зарубежных энергоносителей и компонентов, привела к тому, что собственное производство находилось в стагнации, заводы не модернизировались и не финансировались в полном объеме. Почти вся техника и оборудование закупалось у других стран.

6. *Неверная кадровая политика в сфере электроэнергетики.* Упор в сторону управленческого звена и недооценка технологического персонала в совокупности с общей низкой квалификацией и подготовкой этого персонала негативно влияет на всю структуру безопасности и надежности энергообъектов. В электроэнергетике, как и во многих других отраслях России, возникла так называемая кадровая яма, в связи с чем большие потери понесла отраслевая наука.

7. *Ликвидация ответственности за обеспечение надежности.* В настоящее время все энергокомпании гонятся за прибылью, что отражено в их уставах, в связи с этим многие владельцы компаний пренебрегают нормативными требованиями по безопасности и надежности, в случае перебоев в электроснабжении у потребителя ответственности не несут. Также к этой проблеме можно отнести и все самостоятельные сбытовые, генерирующие и сетевые компании, которые сделали невозможным элемент территориальной надежности, исключив персональную ответственность и постоянный надзор со стороны государства.

Для обеспечения решения вышеизложенных проблем, необходимо выделить основные цели и задачи. Так как решить все проблемы и сразу невозможно, нужно мероприятия по обеспечению надежности разбить на стратегические, среднесрочные, экстренные (рис. 2) [2].

Из рис. 2 следует, что экстренные задачи ЭЭС включают в себя четкое разграничение ответственности между субъектами электроэнергетики, учет и аудит всех систем и установок. Среднесрочные задачи заключаются в определении и разработке отраслевых регламентов и стандартов по обеспечению надежности, разработке стратегии развития энергетического сектора страны, а стратегические задачи представлены во внедрении систем интеллектуальных энергосистем управления,

которые позволят прогнозировать будущие сценарии аварий или поломок, рассчитывать их тяжесть и предпринимать соответствующие меры по их предотвращению.

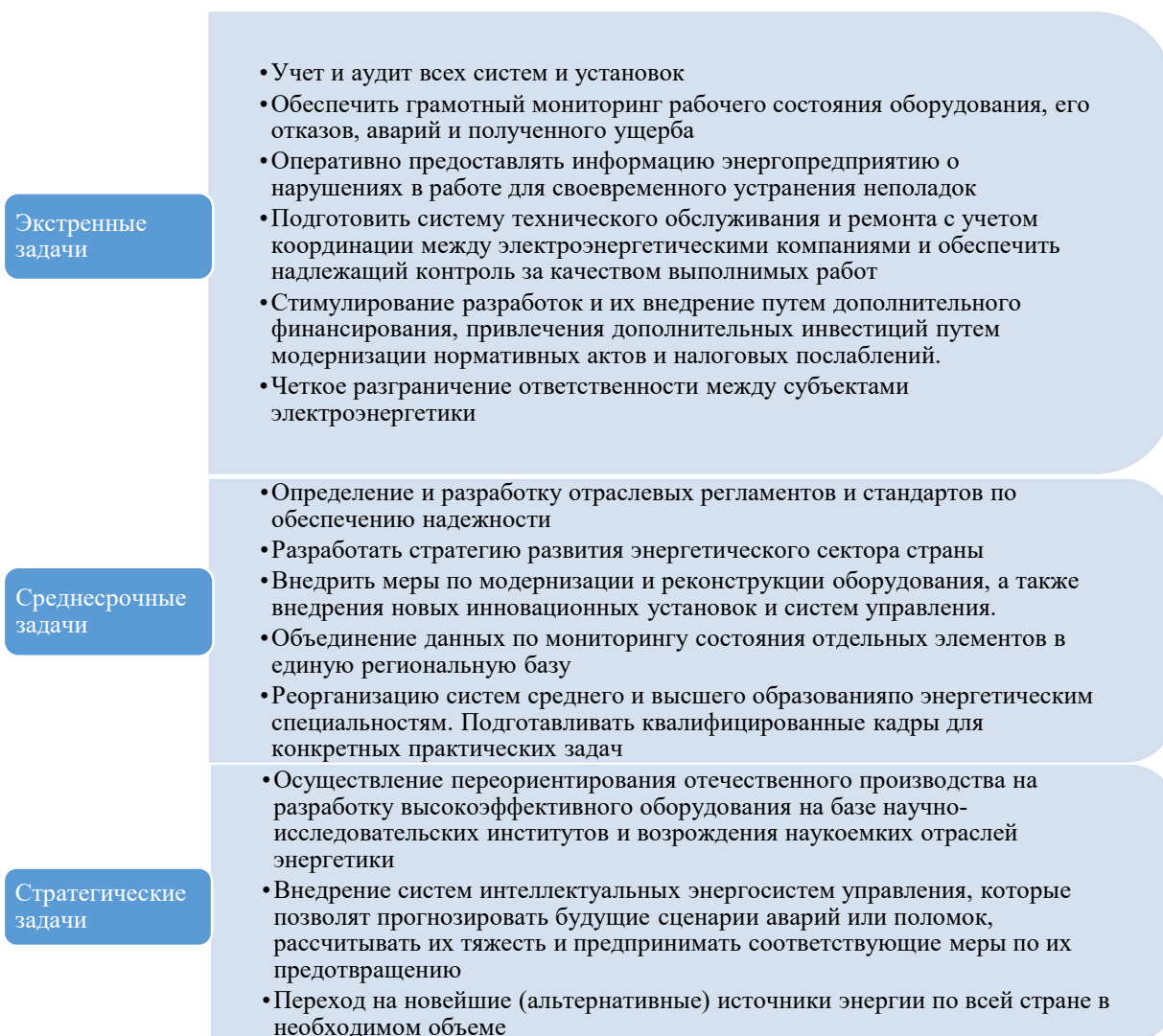


Рис. 2. Классификация задач ЭЭС

Однако технологии не стоят на месте и вместе с ними приходят новые подходы к организации надежности и безопасности в сфере электроэнергетики. Одной из такой концепций, положительно зарекомендовавшей себя на западе, является внедрение интеллектуальной системы. Данная система является продолжением эволюции энергетической техники с более глубоким внедрением в нее информационных технологий, позволяющая в режиме онлайн и меняющихся внешних и внутренних условиях контролировать работоспособность системы и при необходимости оповещать о нарушениях диспетчера [3].

Пересмотр традиционных технологий производства и внедрение на их место современных и перспективных преобразований во все сферы электроэнергетики и смежных с ними, полная диагностика оборудования, обеспечение новых подходов к проектированию и изготовлению нового оборудования с учетом установки умных датчиков и других систем сбора, обработки и передачи информации, превращение шаг за шагом отдельных управляемых объектов в единую интегрированную систему, управляемую искусственным интеллектом – все это является неотъемлемыми положениями надежности при внедрении интеллектуальной системы

Однако при реализации данной стратегии, необходимо учитывать требования безопасности, а именно информационной безопасности, чтобы сохранить систему под своим контролем и исключить к ней доступ извне. В рыночных условиях для реализации программы инновационного развития необходима национальная программа, которая будет ориентирована на разработку и внедрения

новых технологий в производство. Выполнение данной программы подтолкнет к решению и других проблем, в частности, позволит решить проблему энергоэффективности, развития человеческого капитала и стимулировать разработку инноваций в производстве [4].

Данные предложения неизбежно требуются в достаточном финансировании, а где происходит финансирование каких-либо структурных изменений или инноваций, там неизбежно возникают риски. Рисками необходимо грамотно управлять, чтобы минимизировать потери. Управление рисками строится из следующих пунктов:

1. оценка рисков;
2. страхование рисков (заключается в страховании более вероятных рисков);
3. избежание риска (когда при реализации какого-либо проекта последний достаточно велик, а выгода является минимальной, – от такого проекта необходимо отказаться).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что обеспечение надежности в рыночных условиях становится возможной только при грамотной регулирующей функции государства и общества в рамках законодательства. Для Российской Федерации создание данного пространства является важнейшей задачей.

### Библиографический список

1. Фокин Ю. А. Надежность и эффективность сетей электрических систем. М.: Высшая школа, 1994. 149 с.
2. Баринов В. А., Маневич А. С., Широкоступова М. С. Вопросы обеспечения надежности ЕЭС России в условиях реформируемой энергетики // Электрические станции. 2010. № 9. С.19.
3. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Энергетическая безопасность. (Проблемы функционирования и развития электроэнергетики) / Бушуев В. В., Волков Э. П., Воропай Н. И. и др. М.: МГФ «Знание», 2001.
4. Биллингтон Р., Аллан Р. Оценка надежности электроэнергетических систем / Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1999.
5. Виджей К. Суд. HVDC and FACTS Controllers: применение статических преобразователей в энергетических системах / Пер. с англ.: НП «НИИА», 2009.

УДК 621.37/39:658.011.56

**М. В. Медведев**

студент кафедры управления в технических системах

**Д. В. Шишлаков** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ SCADA СИСТЕМЫ

SCADA (*Supervisory and Data Acquisition*) система предназначена для осуществления мониторинга и управления технологическими процессами. Любая SCADA система состоит из трех компонентов:

- 1) удаленный терминал. Подключается к объекту управления и осуществляет сбор данных, также может выполнять управление объектом в реальном времени. В качестве удаленного терминала может выступать либо датчик, либо вычислительный комплекс;
- 2) диспетчерский пункт управления. Предназначен для обработки полученных данных, управления высокого уровня и взаимодействия человека-оператора с системой;
- 3) коммуникативная система. Предназначена для передачи информации от удаленного терминала до диспетчерского пункта управления [1].

В качестве примера будет рассмотрена система, осуществляющая тестирования стойки управления LCC. Эта стойка управляет распределенными объектами управления и имеет в своем интерфейсе модули цифровых входов и выходов. Эти модули принимают и выводят цифровой сигнал высокого уровня +24В. После изготовления самой стойки, при монтаже внутренних элементов и каналов передачи данных, возникает производственная необходимость по проверке правильности прокладки и подключения внутренних линий.

Система тестирования будет подключаться к выходным разъемам, предназначенным для подключения объектов управления, и к промышленной сети. В стойке управления находится промышленный логический контроллер, к нему подключены цифровые модули ввода и вывода. Аппаратная часть системы тестирования будет собрана аналогично системе той, которая установлена в стойке управления.

Для проверки правильности подключения внутренних линий к модулю цифровых входов DI (*Digital input*) к выходным разъемам будет подключена система, которая синтезирует сигнал высокого уровня в 24В. При правильном подключении внутренних линий на главный процессор стойки управления должен прийти сигнал в тот вход, в который система тестирования и подавала выходной сигнал. Далее по промышленной сети процессор стойки управления передает информацию о состоянии входов, система тестирования сравнивает ее и выводит вердикт о состоянии внутренней линии. Для проверки проложенных кабелей от модуля цифровых выходов DO (*Digital output*) к выходным разъемам будет использоваться тот же принцип, только в обратном порядке.

В качестве программной среды для реализации системы тестирования выступает программа TIA Portal. Это интегрированная среда разработки программного обеспечения системы автоматизации технологических процессов от уровня проводов и контроллера до уровня человеко-машинного интерфейса [2]. Для реализации системы была создана конфигурация физической объектов тестирования (рис. 1).

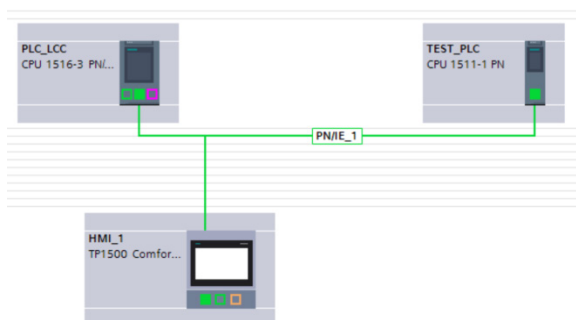


Рис. 1. Конфигурация объектов тестирования

На рис. 1 «PLC\_LCC» – контроллер CPU 1516-3, установленный в стойку управления; «TEST\_PLC» – контроллер CPU 1511-1 системы тестирования и панель оператора TP1500. Зеленой линией отображается канал передачи данных между объектами – «Profinet». Также стоит отметить, что каждый контроллер конфигурируется отдельно. На рис. 2 проиллюстрирована конфигурация контроллера, установленного в стойку управления, а на рис. 3 приведена конфигурация контроллера системы тестирования. На этих рисунках PS (*Power Supply*) – блок питания; PLC (*Programmable Controller*) – центральный процессор; DI модуль цифровых входов и DO модуль цифровых выходов [3].



Рис. 2. Конфигурация контроллера стойки управления

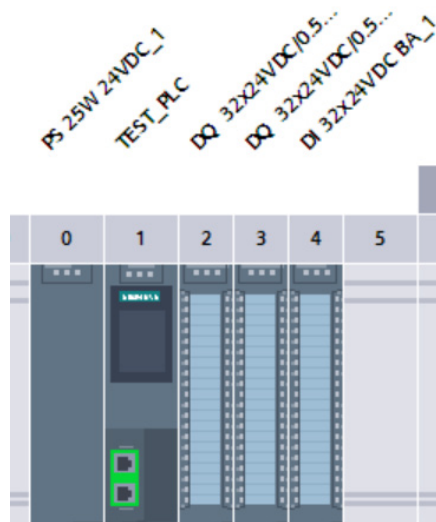


Рис. 3. Конфигурация контроллера системы тестирования

Как видно из рис. 2, контроллер стойки управления состоит из двух модулей цифровых входов и одного модуля цифровых выходов. Для тестирования кабельных линий контроллер системы тестирования подает с модуля DO выходной сигнал. Для этого был написан программный код на языке LAD, который представлен на рис. 4. За подачу сигнала отвечает блок данных DB1, когда в нужном бите появляется логическая единица, сигнал передается на выход Q0.0 и на физическом выходе появляется выходное напряжение. Так как система тестирования подключена к выходным клеммам стойки управления, в случае если внутренние кабельные линии проложены правильно, на входе контроллера CPU\_LCC появляется напряжение. Для обработки этого сигнала отвечает часть программы, которая показана на рис. 5.

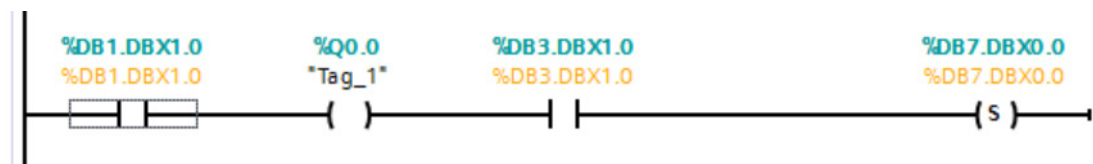


Рис. 4. Программный код для цифровых выходов

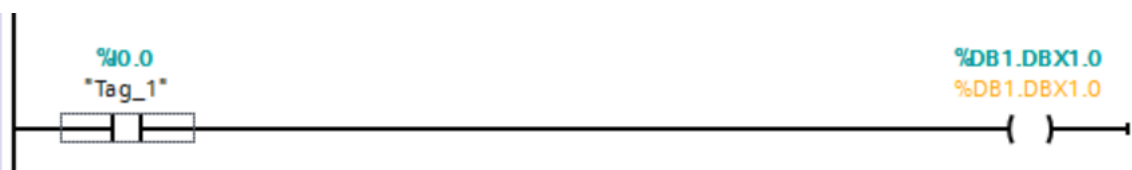


Рис. 5. Программа для обработки входного сигнала



Из рис. 5 видно, что I0.0 – это обозначение входа, и когда на входе появляется сигнал, программа записывает его в блок данных DB1. Встроенная функция «Get» передает их по локальной сети и переписывает данные в блок DB3 (рис. 4), когда в определенном бите появляется сигнал, программный код записывает в блок данных DB7. Это блок отвечает за состояния оттестированных кабельных линий, он состоит из байта, в котором каждый бит каждого байта, является идентификатором успешности или неудачного прохождения тестирования канала. Так как один модуль имеет 32 входа, а в данной системе таких модулей два, программный код, изображенный на рис. 4 и 5, был написан к каждому из 64 входов стойки управления.

Для проверки цифровых выходов DO стойки управления LCC для контролера системы тестирования был написан программный код, представленный на рис. 6. Блок данных DB1 отвечает за создания сигнала, когда в определенном бите появляется логическая единица, сигнал передается в блок данных DB5, которые отправляются в сеть «Profinet» с помощью встроенной функции «Put», далее все данные из DB5 переписываются в блок DB3. Программный код, записанный в контроллер стойки управления и представленный на рис. 7, отвечает за включения цифровых выходов DO, а цифровые выходы DO стойки управления напрямую связаны с цифровыми входами DI системы тестирования, поскольку система тестирования подключена к выходным клеммам стойки управления. В случае правильного подключения внутренних линий сигнал появляется на входе I1.0 (рис. 6). Далее сигнал записывается в блок данных DB7.

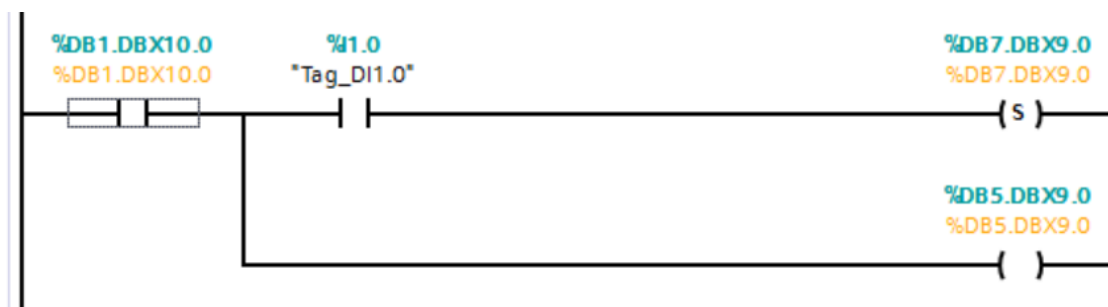


Рис. 6. Программный код для обработки выходного сигнала

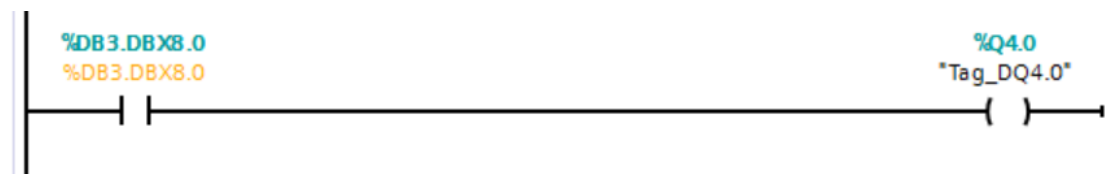


Рис. 7. Программный код для активации цифровых выходов стойки управления

Основной принцип тестирования входных и выходных сигналов можно описать так, что система формирует переменную длиной в байт. Каждый бит этой переменной тестирует свой выход от 0 до 7. Переменная, сформированная так, что в младшем разряде при тестировании записывается логическая 1, все остальные 0. И система тестирования подает этот бит на выход, если по кабельной сети приходит логическая единица, то система записывает логическую единицу в переменную, которая представляет собой байт оттестированных сигналов, где логическая единица говорит об успешном прохождении теста. Далее с помощью битового сдвига влево система переходит к тестированию следующего канала передачи и так при подаче одного бита в младший разряд система тестирует сразу восемь каналов. Это очень удобно, потому что в модулях Siemens как раз и используется битовая адресация, которая делит все выходы и входы по 8 бит. Битовый сдвиг влево реализован с программного кода, приведенного на рис. 8. Эта программа помещена в специальный организационный блок OB30, который вызывается с помощью прерывания каждые 10 сек., тем самым, сдвиг на один разряд происходит каждые 10 сек.

На рис. 9 представлена функция «Get», рассмотренная выше, которая отвечает за получение данных из сети «Profinet». В настройках функции нужно указать параметры соединения, а именно интерфейс связи и IP-адреса.

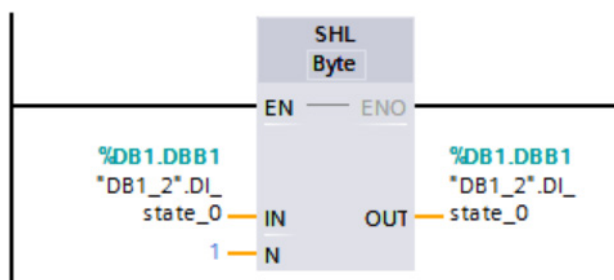


Рис. 8. Программный код для реализации битового сдвига влево

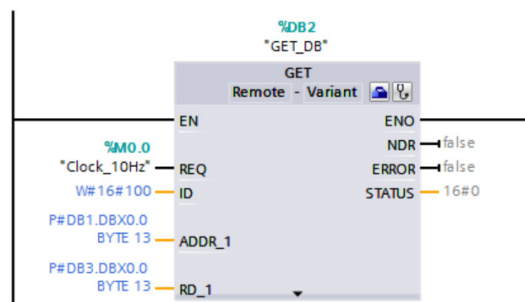


Рис. 9. Функция «Get» для получения данных

А на рис. 10 представлена функция для отправки данных в сеть «Profinet». Для настройки функции также необходимо указать параметры передающего интерфейса и IP-адреса связующего оборудования.

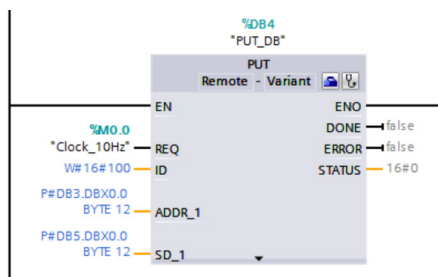


Рис. 10. Функция «Put» для отправки данных

Для реализации человеко-машинного интерфейса будет использоваться HMI панель оператора, которая позволяет выводить информацию и с помощью сенсорного экрана управлять системой тестирования. Для комфортного производства работ по тестированию сигналов и каналов передачи необходимо пользовательский интерфейс, который бы давал возможность использовать систему тестирования любому человеку. С помощью внутреннего программного пакета WinCC, интегрированного в TIA Portal, и был реализован пользовательский интерфейс [4]. Пользовательский интерфейс состоит из четырех окон, проиллюстрированных на рис. 11–14.

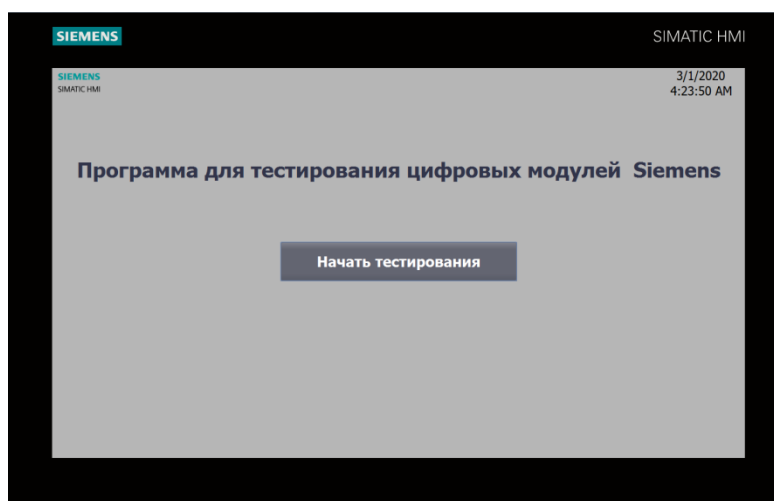


Рис. 11. Начальный экран тестирования

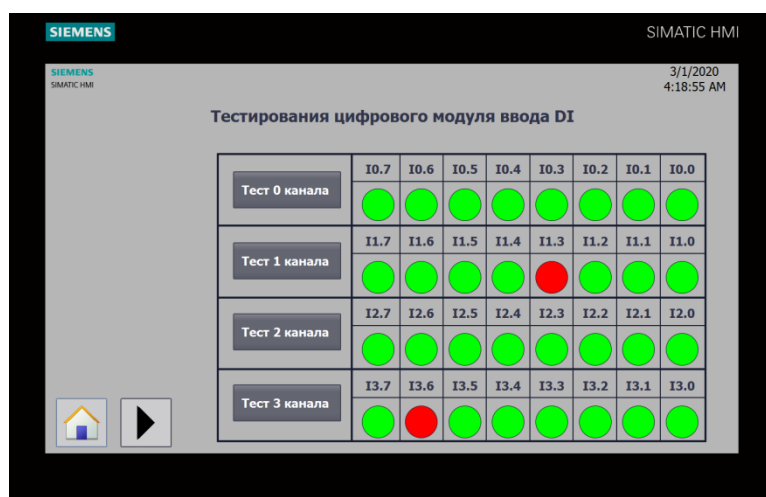


Рис. 12. Экран тестирования первого модуля цифровых входов DI



Рис. 13. Экран тестирования второго модуля цифровых входов DI\_2



Рис. 14. Экран тестирования модуля цифровых выходов DO

Первый экран предлагает пользователю начать тестирования (рис. 11) после нажатия на кнопку программа переходит на второй экран. На втором экране (рис. 12) расположены четыре кнопки для активации тестирования каждого канала отдельно, при нажатии на одну из них происходит запуск тестирования и в этот момент в младший разряд, переменной отвечающей за тестирование,

передается логическая единица. Индикатор отображает состояние протестированного канала. Зеленым цветом в случае успешного прохождения теста и красным в противоположном случае. Нужно отметить, что все скриншоты экранов пользовательского приложения, представлены после выполнения теста. Также над каждым индикатором находится обозначение физического адреса. На рис. 13 приведен экран для тестирования второго модуля цифровых входов DI\_2. И на рис. 14 представлен экран по тестированию модуля цифровых выходов DO. В нижней части экранов реализованы кнопки навигации по экранам. По нажатию на кнопку «Тест канала» один бит устанавливается в «1», появляется необходимость по сбросу этого бита в положении «0». Для этого в контроллере системы тестирования реализован программный код, отвечающий за сброс этого бита (рис. 15). Блок данных DB6 отражает состояние нажатия кнопки. После нажатия кнопки на панели оператора, сигнал попадает сразу в блок данных DB1, отвечающий за запуск тестирования, и далее в работу включается битовый сдвиг, как только во втором младшем разряде появляется «1», разрывается цепь и с помощью отрицания «not» и блока сброса бита «R» в регистр, состояния нажатия кнопки, сбрасывается.



Рис. 15. Программный код для сброса бита состояния кнопки

Реализованная система, тестирует два модуля цифровых входов Di и один модуль цифровых выходов DO. У каждого модуля в интерфейсе по 32 сигнала либо входных, либо выходных. В сумме получается, что реализованная система может протестировать 96 сигналов, а точнее подключенных к ним внутренних линий передачи данных, за время не более двух минут. Конечно, нужно учитывать и время, затраченное на подключения системы тестирования к выходным разъемам стойки управления LCC. Для тестирования порядка ста сигналов в ручном режиме ушло бы намного больше времени и не стоит забывать о человеческом факторе, который тоже может сыграть свою роль при таком объеме тестируемых сигналов. Автоматизированная система тестирования лишена таких недостатков, но достаточно недешевая с точки зрения аппаратной части и необходимо значительное время для создания программной части. Если в производственной задаче стоит потоковое тестирование стоек управления, затраты оправдывают эффективность использования и качественность тестирования. Также стоит отметить, что SCADA системы открывает широкие возможности по области применения и обширности задач использования. В свою очередь использования одного программного пакета «TIA Portal» делает процесс по разработки программного обеспечения наиболее быстрым и эффективным.

### Библиографический список

1. Назначение и задачи SCADA-систем. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:SCADA\\_назначение\\_систем](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:SCADA_назначение_систем) (дата обращения: 20.02.2020).
2. Новый контроллер Simatic Siplus S7-1500 для использования в экстремальных условиях окружающей среды. URL: <http://pa-ss.ru/novosti-siemens-ot-kompanii-progressavtomatika/kontroller-simatic-siplus-s7-1500-dlya-neblagopriyatnyx-uslovij.html> (дата обращения: 14.02.2020).
3. Siemens Simatic S7-1500: function Manual / Simens AG, Dec. 2017. P. 158–166.
4. S7-1500 software controller. Combination drive control, database, visualization: user manual / Siemens AG, Jul.2017. P 8–9.

УДК 621.311.21-827:532.593.3:504.052

**Т. С. Медведь**

студентка кафедры электромеханики и робототехники

**А. А. Мартынов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ МОРСКИХ ВОЛН ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В настоящее время все чаще затрагивается проблема загрязнения окружающей среды, чтобы не снизит планку качества жизни человечества, необходимо находить новые источники энергии. Волновая энергия может стать одним из наиболее перспективных источников возобновляемой энергии благодаря большому потоку энергии, предсказуемости и возможности широкого распространения.

Вопросам преобразования энергии морских волн уделяется большое внимание во многих странах мира [1]–[3], но чаще заинтересованы в этом страны с большой протяженностью побережья и высокими волнами, такие как Великобритания и Португалия. По некоторым оценкам потенциал энергии океанов составляет 8–80 тыс. ТВт в год. Даже с небольшой океанической волны можно получать мощность 50–70 кВт, а ресурс энергии сильных морских течений составляет 0,8–5 ТВт в год.

На данный момент существует два способа генерации энергии:

- 1) энергия движения волн;
- 2) энергия поверхностного качения.

Рассмотрим несколько видов получения электроэнергии из энергии движения волны.

Принцип работы «осциллирующего водяного столба», или «пульсирующего водяного столба Масуды», заключается в следующем. При поступлении волны колеблющийся столб воды в камере вызывает изменения давления в газе над жидкостью. Камера связана с атмосферой через турбину. Самое главное отличие такого способа – поток воды с помощью регуляции может проходить через турбину напрямую или в обратном направлении.

В 1976 году в Японском море испытывали первую в мире крупномасштабную офшорную плавающую установку Kaimei [4], [5]. Она включала в себя 9 генераторов на борту, которые были установлены выше волноприемных камер. Волнение вызывало периодическое сжатие и разрежение воздуха, который прогоняли через воздушные турбины с приводом на генераторы.

Такая система также может быть адаптирована для стационарных установок, таких как причалы, или прикреплена к другим плавающим конструкциям, так как создается непрерывный и однонаправленный воздушный поток, что оптимизирует выработку энергии. Примером реализации может служить португальский проект на береговой волновой энергетической установке на острове Pico мощностью в 0,5 МВт. Размеры бетонной компрессионной камеры составляют 12x12 м, а воздухопровод для воздушной турбины Уэльса имеет диаметр 2,3 м [6]. На данный момент такой принцип является наиболее мощным из всех известных.

Существует другой способ по принципу «плота Коккереля», где энергия вырабатывается за счет движения рабочего элемента от движения воды. На электростанциях устанавливаются полупогружные генераторы, на которых отдельный буй поднимается и опускается. Система цилиндров и поршней создает давление масла, которое и вращает лопасти турбин. Турбины же соединены с генератором.

Один из вариантов выполнения данного принципа – электростанция в 5 км от берега Португалии, начавшая функционировать еще в 2008 году, мощностью в 2,25 МВт [6]. Станция обеспечивает электричеством местных жителей провинции Агусодора. Волновая электростанция наполовину находится под водой и имеет вид змеи. Состоит она из 3 волновых генераторов Pelamis, диаметр и длина которых соответственно имеют значения 3,5 и 140 м.

Второе место по генерируемой электроэнергии занимает энергия приливов. Приливная энергия, в отличие от других разновидностей морской энергии, довольно успешно используется в коммерческих целях в течение продолжительного времени. На таком принципе была построена французская электростанция «La Rance», которая начала свою работу в 1966 году и 45 лет сохраняла лидерство как крупнейшая в мире приливная электростанция. Во время прилива водная масса

направляется на лопасти турбинного генератора, а при отливе устремляется обратно в океан. Электростанция Рансе, расположенная к югу от Сен-Мало, является единственной в мире приливной электростанцией, обеспечивающей электроэнергию для коммерческого использования. Она может генерировать 240 МВт электроэнергии с минимальным воздействием на окружающую среду и обеспечивать электричеством 223 тыс. жителей. Прилив заполняет и опустошает устье Ранса два раза в день, а амплитуда может достигать рекордной высоты 13,5 м.

Также стоит рассмотреть такой принцип выработки энергии, который воплощен в поплавковых электростанциях.

В настоящее время наиболее распространенными из-за достаточно небольших материальных вложений волновыми установками являются поплавковые электростанции. Поплавок является главной рабочей частью установки. Он находится на поверхности волны и совершает вертикальные колебания в соответствии с изменениями уровня воды.

К поплавковой электростанции можно отнести прототип от российской компании «Прикладные технологии». Электростанция состоит из поплавков, сделанных в основном из стали. Длина до 18 м, диаметр до 5 м, мощность одного поплавка может достигать до 50 кВт/ч. Поплавковые электростанции могут быть использованы в качестве источника питания для радиомаяков, так и для индивидуального жизнеобеспечения. Если собрать несколько поплавков в модули, то электростанции смогут снабжать электроэнергией целые островные поселки.

Чтобы объяснить действие гидроаккумулирующей волновой электростанции, можно обратиться к установке WaveRoller, разработанной в Финляндии. WaveRoller – это устройство, которое преобразует энергию океанской волны в электричество. Машина работает примерно в 0,3–2 км от берега на глубине от 8 до 20 м. Одна панель WaveRoller рассчитана на мощность от 350 кВт до 1000 кВт с КПД 25–50 % в зависимости от волны. Устройство работы WaveRoller заключается в том, что панель перемещается и поглощает энергию океанских волн. Гидравлические поршневые насосы, прикрепленные к панели, нагнетают гидравлическую жидкость внутри замкнутого гидравлического контура. Все элементы контура заключены в герметичную конструкцию внутри устройства и не подвергаются воздействию морской среды. Жидкость под высоким давлением поступает в систему накопления энергии и сглаживания, которая подключается к гидравлическому двигателю. Последний в свою очередь приводит в действие генератор электроэнергии. Выходная электрическая мощность от этой электростанции подключается к электрической сети через подводный кабель [5].

К общим недостаткам всех волновых электростанций можно отнести большие размеры станций в сравнении с низкой концентрацией энергии; большое количество элементов генератора, требующие больших затрат; снижение КПД или полное отсутствие работоспособности при изменении параметров волны.

Генерация электроэнергии на волновых электростанциях, как и на других станциях, работающих на возобновляемых источниках энергии, является выгодной со всех точек зрения: как с энергетической, так и экологической. Развитие волновой энергетики на данный момент является перспективным, хоть и медленно развивающимся направлением альтернативной электроэнергетики.

### Библиографический список

1. Гаджиев Я. М., Гаджиев М. А. Преобразователь энергии морских волн // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 4. С. 39–41.
2. Коробков В.А. Преобразование энергии океана. Л.: Судостроение, 1986. 142 с.
3. Ivanova I., Agren O., Bernhoff H. Simulation of wave energy converter with octagonal linear generator // IEEE Journal of Oceanic Engineering. 2005. N 3. P. 619–629.
4. Шишкин И. Л. Некоторые направления развития и перспективы использования морской ветровой и волновой энергетики в современных странах // Вологдинские чтения. 2012. С. 135–137.
5. Галюжин С. Д., Галюжин А. С., Лобикова А. М. Пути решения энергетической проблемы // Вестник Белорусско-Российского университета. 2008 № 2. С. 146.
6. Bruschi D., Fernandes J., Falcão A. Analysis of the degradation in the Wells turbine blades of the Pico oscillating-water-column wave energy plant // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. N 9. P. 37–40.

УДК 629.5.018.1

**Т. С. Медведь**

студентка кафедры электромеханики и робототехники

**А. А. Мартынов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ПОПЛАВКОВЫЙ ВОЛНОВОЙ ГЕНЕРАТОР В РЕЗОНАНСНОМ РЕЖИМЕ**

Волны океана – это огромный, почти неиспользованный энергетический ресурс с большим потенциалом для получения энергии. Несмотря на то, что волновые генераторы обсуждались в патентах с конца XVIII века [1], современные исследования в области использования энергии волн были стимулированы только нефтяным кризисом 1970-х годов. Также стоит учитывать, что в настоящее время всеобщее внимание уделяется изменению климата и повышению уровня CO<sub>2</sub>, акцент на производство электроэнергии из возобновляемых источников вновь является важной областью исследований. Результаты работ многих специалистов по созданию волновых генераторов представлены патентами, научными статьями по ключевым вопросам волновой электроэнергетики. Многие волновые генераторы малой мощности преобразуют механическую энергию морских волн в электрическую энергию с помощью синхронного генератора, индуктор которого механически связан с поплавком, совершающим возвратно-поступательные движения с частотой следования волны [2]–[4].

Рассмотрим в качестве примера устройство трехфазного волнового генератора [5].

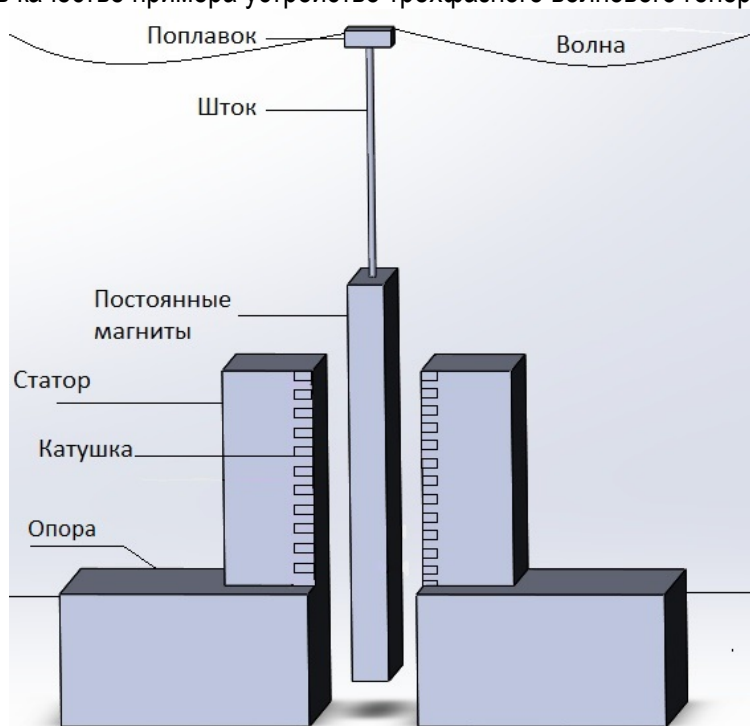


Рис. 1. Схема линейного электрогенератора на основе преобразователя с постоянными магнитами

Волновой генератор, схематично показанный на рис. 1, содержит жестко закрепленный на опоре один корпус с двумя крышками, внутри которого размещен статор с ферромагнитным магнитопроводом и трехфазной электрической обмоткой и индуктор с многополюсной магнитной системой, полюсное деление которой равно  $T$ . Внутри корпуса находится также пружина, прикрепленная к нижней крышке корпуса. Индуктор с помощью штока соединен с поплавком. Корпус генератора в сечении имеет прямоугольную форму и выполнен из немагнитного материала. Трехфазная обмотка статора выполнена по известной технологии обмоток электрических машин переменного тока [6] и размещена в пазах магнитопровода статора с шагом равным полюсному делению  $T$ . На расстоянии, равном одному полюсному делению магнитной системы индуктора  $T$ , размещены три паза магнитопровода статора с проводниками обмоток трех фаз. Общая длина ферромагнитного магнитопровода

с размещенной в нем трехфазной электрической обмоткой составляет длину активной зоны генератора  $l_a$ . В безредукторных волновых генераторах увеличение частоты генерируемой в обмотке статора ЭДС достигается при выполнении магнитной системы генератора с электрической редукцией. Основным параметром электрической редукции является коэффициент редукции  $k_p$ . Отношение длины активной зоны генератора  $l_a$  к длине полюсного деления  $T$  определяет коэффициент электрической редукции генератора  $k_p$ , то есть:

$$k_p = l_a / 2T.$$

Частота ЭДС, генерируемая в обмотке статора при возвратно-поступательном движении индуктора  $f_3$ , больше частоты колебания волны  $f_B$  в коэффициент электрической редукции раз, то есть:  $f_3 = k_p \cdot f_B$ .

Волновые генераторы подобной конструкции могут быть выполнены на мощность от нескольких сотен Ватт до нескольких десятков кВт. Одним из недостатков трехфазных волновых генераторов (трехфазные обмотки статора размещены в едином магнитопроводе) является увеличение линейных размеров генератора при реализации электрической редукции. Причем чем выше коэффициент редукции, тем длиннее корпус генератора. Следует отметить, что при увеличении длины корпуса генератора возрастает отрицательное влияние воздействия поперечной силы волны на корпус генератора, что ведет к увеличению механических напряжений в корпусе и понижению надежности работы генератора. Возможны механические необратимые повреждения корпуса при высокой волне, штормах и бурях. К недостаткам этого волнового генератора следует отнести и то, что линейные размеры трехфазного генератора, включая и длину активной зоны генератора  $l_a$ , выбраны без учета влияния скорости перемещения волны на отдельных участках периода волны на величину амплитуды и частоты ЭДС, наводимой в обмотке статора, что показано на рис. 2.

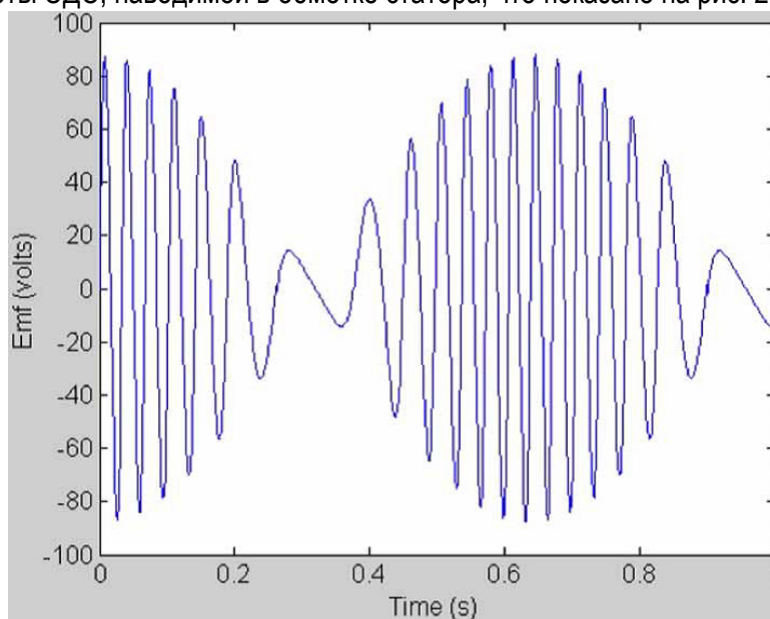


Рис. 2. Период волны на величину амплитуды и частоты ЭДС, наводимой в обмотке статора

Недостатком устройства является не решенный конструктивный вопрос. Конструкция не стала более устойчивой к воздействиям жесткой среды, при этом увеличилась в размерах. Соответственно, все это делает ее экономически не рентабельной.

Использование энергии волн океанов представляет собой важный шаг на пути к достижению целевых показателей в области возобновляемых источников энергии. Будущие исследования должны основываться на системно-инженерном подходе, поскольку все отдельные подсистемы преобразователей энергии волн тесно взаимосвязаны и ни одна из них не может быть оптимизирована без учета других подсистем. Кроме того, отдельные волновые преобразователи часто работают как часть волновой фермы, поэтому будущий системный анализ должен включать взаимодействие между устройствами.



**Библиографический список**

1. Ross D. Power from the waves. 1995 (Oxford University Press, Oxford, UK).
2. Патент РФ №2447317. Устройство получения электроэнергии за счет колебаний водной поверхности, авторы: Куканков С. Н., Вивдич О. М., Федорищев О. Н., Усцелемов В. Н., кл. F03B13/16–10.04.2012.
3. Патент РФ №93043446 Поплавковая волновая электростанция, авторы Темеев А. А. Кл. F03B13/16–20.09.1996.
4. Патент РФ №2513070. Поплавковая волновая электростанция, авторы: Сеньков А. П., Калмыков А. Н., Сеньков А. А., Кл. F03B 13/18–20.04.2014. БИ № 11.
5. Drew B., Plummer A., Sahinkaya M. A review of wave energy converter technology // Power and Energy. 2009. Vol. 223 Part. A. P. 896–897.
6. Вольдек А. И. Электрические машины: учебник для студентов высших технических учебных заведений. Л.: Энергия, 1974. 840 с.

УДК 332

**Д. А. Мезенцева**

студентка кафедры программно-целевого управления в приборостроении

**Г. С. Армашова-Тельник** – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

### ОПИСАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ВЫЗОВОВ, СТОЯЩИХ ПЕРЕД ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СЕКТОРОМ РОССИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ

В статье исследованы ключевые вызовы, стоящие перед энергетическим сектором России на современном этапе развития. Рассмотрены и предложены инновационные решения, позволяющие повысить эффективность использования генерирующих и сетевых мощностей, сократить потери энергии, минимизировав рост цен на электроэнергию.

В настоящий момент в сфере электроэнергетики происходят глобальные изменения по всему миру. Главной их причиной служат технологические нововведения – переход энергетического сектора на новый этап развития.

Электроэнергетика – основная отрасль российской экономики – обеспечивает электрической и тепловой энергией потребности как внутри страны, так и осуществляет экспорт электроэнергии в другие страны. Базовыми факторами успешного развития экономики страны являются надежное функционирование и устойчивое развитие энергетической отрасли.

Цель энергетической политики России – максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций [1].

На сегодняшний день появилась необходимость глобальных модернизаций в энергетической отрасли – развития промышленности в России. Стратегические вопросы по цифровизации энергетического сектора поставлены и Президентом РФ в рамках программы «Цифровая экономика». Для выполнения данной программы необходимо решить ряд проблем в сфере электроэнергетики.

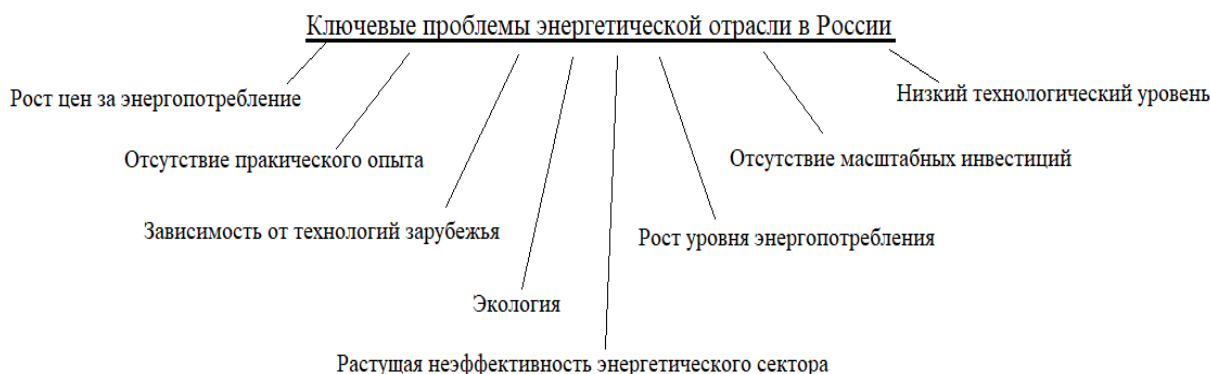


Рис. 1. Ключевые проблемы энергетической отрасли в России

Одним из факторов низкой эффективности российской электроэнергетики является низкий технологический уровень тепловых электростанций, которые составляют 68 % генерирующих мощностей Российской Федерации (средний КПД ТЭС России не превышает 40 %, в то время как КПД ТЭС, работающих в парогазовом цикле, составляет от 50 до 60 %), а также постепенная деградация тепловой энергетики, что приводит к снижению эффективности использования тепловых мощностей (28 % когенерационной выработки в настоящее время против 34 % в 1991 году), низкой топливной эффективности (53 % в России против 80 % в Скандинавии), большим потерям тепла (60 % в России против 20 % в Финляндии). Нарастающее старение основных средств и динамика спроса на электроэнергию определяет в 2022–2025 годы начало нового инвестиционного цикла в российской электроэнергетике. По оценке Минэнерго России, для модернизации объектов электроэнергетики и

строительства новых мощностей до 2035 года потребуются инвестиции в размере 200–250 млрд долл. США [2].

В последние годы наблюдается тенденция к снижению состояния российского энергетического машиностроения и электротехнической промышленности. Усиливается технологическое отставание от зарубежных конкурентов – сокращается место на иностранных рынках.

В настоящее время мировой рынок современного энергетического оборудования и систем оценивается в 1,3 трлн долл. США. Доля России на этом рынке составляет менее 1 % [3].

Другой ключевой проблемой в сфере электроэнергетики является рост уровня энергопотребления. По данным Центра стратегических разработок (ЦСР) – «Мировое потребление электроэнергии к 2035 году может вырасти на 40–50 % в сравнении с теми показателями, которые есть сейчас» [4].

Повышение цен и тарифов на электроэнергию для коммерческих и промышленных потребителей также является ключевым вызовом для энергетической отрасли. Постоянные затраты на функционирование энергосистемы приводят к повышению стоимости электроэнергии. Итоговая стоимость включает в себя плату за содержание сетей и плату за генерирующую мощность. Усугубляет проблему и субсидирование населения промышленными потребителями (часть затрат на мощность перекладывается с граждан на компании). В результате цена за электроэнергию для промышленности является одной из самых высоких в мире.

Также происходит ужесточение экологических стандартов в связи с необходимостью снижения антропогенной нагрузки на природу (соблюдение всех требований и стандартов, предъявляемых к процессу добычи энергии).

Отсутствие собственных инновационных разработок в сфере энергетики приводит к необходимости закупать оборудование в других странах.

Другим ключевым вызовом в энергетическом секторе является нехватка квалифицированных кадров и практического опыта во внедрении новых технологий, которые влекут за собой выбор неверных управленческих и технологических решений и низкую производительность труда.

Все вышперечисленное говорит о необходимости развития высокотехнологичной электроэнергетики в Российской Федерации. В связи с этим политике государства в сфере электроэнергетики следует ориентироваться на реализацию инновационного сценария, который позволит сдерживать рост цен для потребителей и формировать научно-технологическую и промышленную готовность для устойчивого существования и захвата ниш на мировом рынке (оборудования, систем и сервисов для новой отрасли).

Таким образом, российской государственной политике в энергетическом секторе необходимо обратить внимание на следующие приоритетные направления:

- переход к возобновляемым источникам энергии;
- разработка интеллектуальных систем управления;
- перераспределение производства энергии;
- внедрение технологий умных сетей (*smart grids*);
- цифровизация инфраструктуры предприятий;
- развитие и внедрение технологий интернета вещей (цифровые датчики, сенсоры и средства коммуникации);
- формирование цифровых клиентских сервисов;
- переход на систему – интернет энергии (*Internet of Things*);
- формирование единой цифровой энергетической платформы.

Главным препятствием для реализации вышперечисленных подходов к решению ключевых вызовов энергетического сектора является то, что основные субъекты рынка и инфраструктурные организации в большинстве случаев не заинтересованы в переходе к новой архитектуре в отрасли, а также технологическим изменениям.

Таким образом, переход организаций хотя бы по одному из направлений позволит России повысить эффективность использования генерирующих и сетевых мощностей, сократить потребности в новых мощностях, сократить потери энергии и снизить стоимость владения базовой инфраструктурой – сдерживание роста цен на электроэнергию.

**Библиографический список**

1. Министерство энергетики РФ. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 12.01.2020).
2. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2017 года. № 1209-р).
3. Аналитический центр при правительстве РФ. URL: <https://ac.gov.ru/archive/files/publication/a/789> (дата обращения: 14.01.2020).
4. Информационное агентство «Татар-информ». URL: <https://www.tatar-inform.ru/news/business/13-09-2017/mirovye-potreblenie-energii-mozhet-vyrasti-na-40-50-protentov-k-2035-godu-4820513> (дата обращения: 10.01.2020).

УДК 004.056.53

**А. П. Морозов**

студент кафедры управления в технических системах

**Г. Ю. Пешкова** – доктор экономических наук, профессор – научный руководитель

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОГО СУВЕРЕНИТЕТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В современном мире количество информации растет крайне высокими темпами. Вместе с тем, сама информация стала важным ресурсом, за обладание которым во всем мире как виртуальном, так и реальном, ведется упорная борьба. Цифровой суверенитет России, как и любой другой страны, находится под угрозой. Конечно, в некоторых аспектах кибербезопасности страна еще отстает от мировых лидеров, но в целом у России есть немалый потенциал для довольно успешного развития технологий защиты данных.

Для усиления отечественной экономики в целом и улучшения качества защиты данных, в частности, был разработан Национальный проект «Цифровая экономика», одним из направлений которого является информационная безопасность [1]. Суть проекта состоит в том, чтобы улучшить состояние цифровой защиты данных не столько через внедрение новых технологий, сколько через повышение квалификации персонала. «Цифровая экономика – это не отдельная отрасль, по сути, это уклад жизни, новая основа для развития системы государственного управления, экономики, бизнеса, социальной сферы, всего общества. Формирование цифровой экономики – это вопрос национальной безопасности и независимости России, конкуренции отечественных компаний» – заявляет президент Российской Федерации Владимир Путин [2]. Глава государства уже не раз отмечал необходимость развития информационной безопасности в стране, и начиная с недавнего времени работы в этом направлении получили некоторую поддержку, а самой кибербезопасности уделяют особенное внимание. Вложенные в проект средства позволяют не только реализовать такие технологии, как блокчейн, робототехника или искусственный интеллект, но и вывести их на принципиально новый уровень. Все это в дальнейшем позволит быстрее детектировать и отражать кибератаки, что в свою очередь положительно скажется на развитии отечественной экономики и позволит России соперничать с такими лидерами в области развития цифровых технологий, как Япония или Южная Корея.

Вместе с тем в вопросе цифровой безопасности Российской Федерации (РФ) заинтересованы и органы законодательной власти. Так, одним из способов укрепления цифрового суверенитета и информационной безопасности РФ стал принятый в 2018 году Федеральный закон № 187 (ФЗ 187) «О безопасности критической информационной инфраструктуры (КИИ) Российской Федерации» [3]. И как бы горячо ни спорили о необходимости данного законопроекта, как долго ни обсуждали бы в профессиональном сообществе его практическое применение, вполне очевидно: компании чрезвычайно уязвимы для хакерских атак, и с этим необходимо бороться. Масштабы атак огромны – в 2018 году было совершено свыше 4 млрд информационных воздействий на КИИ РФ. Целями атак чаще всего становятся объекты финансовой сферы, органов государственной власти и оборонной отрасли [4]. Закон же позволит ужесточить контроль государства над самыми разными категориями объектов КИИ, в том числе и экономическими. Введенная благодаря ФЗ 187 государственная система обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий компьютерных атак станет серьезным аргументом против воздействий киберпреступников и даст возможность государству эффективнее защищать данные самых разнообразных КИИ.

К сожалению, нельзя не согласиться, что ужесточение контроля властей над КИИ вместе с теми полномочиями, которые государство получает в цифровой сфере, может дать эффект, противоположный изначальной идее защиты данных и устранения злоумышленников. Существует грань между обеспечением безопасности и тотальной слежкой, будь то предложения передачи данных отдельных пользователей органам Федеральной службы безопасности (ФСБ) [5] или изоляция российского сегмента интернета (Рунет) от Всемирной сети, то есть его локализация [6]. Локализация Рунета может казаться логичным шагом для обеспечения цифрового суверенитета, но и у этого ме-

роприятия имеются свои противники. Так, руководитель Аналитического центра (АЦ) при правительстве РФ Владислав Онищенко считает, что локализация Интернета снизит конкурентоспособность отечественных продуктов защиты данных. По его мнению, защита ключевых критических точек уязвимостей внутри Рунета никак не связана с вопросом локализации. Руководитель АЦ уверен, что только открытость и доступность российского виртуального пространства будут способствовать защите отечественного Интернета «по определению» [7].

Между тем с каждым годом становится все труднее защищать постоянно увеличивающееся количество данных, тем более что новые технологии появляются гораздо быстрее, чем раньше, и средства защиты просто не успевают за ними, что в некоторых случаях порождает новые проблемы. И если раньше появление нового метода защиты было связано с появлением новой технологии (антивирусные программы в ответ на угрозу вирусов для персональных компьютеров), то в настоящее время, по некоторым данным, около 60 % устройств не защищены [8]. Важно понимать, что новые цифровые технологии, в том числе связанные с финансовым сектором, с каждым днем становятся все сложнее. Это требует постоянного повышения уровня качества защиты данных и обновления самих технологий защиты. Следует отметить, что развитие информационной безопасности финансового рынка Российской Федерации связано в первую очередь со следующими трендами:

- ускорение развития сферы цифровых финансовых услуг для повышения удобства и качества их предоставления в целях обеспечения конкурентоспособности;
- активные действия руководства страны по созданию цифровой системы, стимулирующей рост финансовых технологий;
- повышение доверия к финансовой системе Российской Федерации благодаря более развитой системе защиты прав потребителей финансовых услуг от финансовых потерь;
- внедрение показателей риска информационной безопасности (киберриска) как основных рисков финансовых организаций;
- увеличение масштабов компьютерной преступности, прежде всего, в кредитно-финансовой сфере [1].

Тем не менее нельзя быть полностью защищенным от утечек данных, независимо от внедренных в стране технологий защиты информации. Например, в октябре 2019 специалисты британской компании *Comparitech* обнаружили, что персональные данные 20 млн российских налогоплательщиков около года находились в открытом доступе. По данным компании, база содержала ФИО, адреса, телефоны, паспортные данные, ИНН и суммы уплаченных налогов. Данные были разделены на две базы: в одной находились персональные и налоговые данные 14 млн человек с 2010 по 2016 год, а в другой – данные 6 млн человек с 2009 по 2015 год. «Пострадавшие из-за утечки рискуют столкнуться с кражей личных данных и должны внимательно следить за своими счетами. Они также могут быть подвержены налоговому мошенничеству, однако наша команда недостаточно хорошо разбирается в вопросах российской налоговой системы, чтобы дать конкретные советы», – отмечает *Comparitech*. Возможно, утечку допустили государственные органы, Федеральная налоговая служба (ФНС) или Пенсионный фонд России. Вполне вероятно, что основой была база портала «Госуслуги» [9]. Невзирая на то, что ФНС наряду с Минкомсвязи отрицали информацию об утечке данных, а представители «Ростелекома» заявляли о наличии надежного и постоянно тестируемого комплекса защитных мер портала «Госуслуги», этот пример наглядно демонстрирует уязвимость не только рядового пользователя, но и любой организации в вопросах хранения и защиты персональных данных [10].

И все-таки в России предпринимаются попытки улучшения существующих методов защиты, и финансовый сектор не является исключением. Так, например, в мае 2019 года по инициативе Центрального банка Российской Федерации (ЦБ РФ) для всех банков РФ начал действовать стандартный уровень защиты информации. В то же время ЦБ РФ ужесточил требования по защите средств банков и их клиентов:

- крупные банки, имея усиленный уровень защиты, должны автоматически блокировать учетные записи уволенных сотрудников и тех, кто более 90 дней не находится на рабочем месте;
- со стандартным уровнем защиты достаточно однофакторной аутентификации пользователя при подключении к системам банка, с усиленным уровнем нужна уже многофакторная;

- помещения с устройствами, дающими доступ к системам банка, должны быть оборудованы средствами контроля доступа, видеонаблюдением и сигнализацией при усиленном уровне защиты;
- с усиленным уровнем защиты требуется автоматическая фиксация неавторизованного подключения к банковскому Wi-Fi;
- обновление ПО систем защиты при усиленном уровне должно быть автоматическим, при стандартном же достаточно ручного (организационного) способа.

Другие ключевые требования – внедрение усиленной электронной подписи клиента, выполнение всех требований ФСБ при работе со средствами криптозащиты, уведомление ЦБ обо всех инцидентах информбезопасности, а также регистрация действий клиента и работников банка при обработке платежной информации. Стоит отметить, что в настоящее время 74 % российских банков не готовы к атакам киберпреступников [11]. К сожалению, не всегда руководство банка ответственно относится к вопросам информационной безопасности, ставя, таким образом, под удар не только себя, но и вклады своих клиентов.

К примеру, компания *Digital Security*, проверив в 2019 году надежность 200 российских банков, выявила в большинстве из них серьезные уязвимости, которые открывают злоумышленникам доступ к персональным данным. По результатам исследования оказалось, что 34 % банков имеют проблемы с настройкой цифровой подписи сайта, необходимой для работы протокола защищенной передачи данных в сети, то есть нарушено обеспечение шифрованного соединения между пользователем и сайтом, сайты 79 % участников опроса уязвимы для программы *Beast*, позволяющей хакеру незаметно перехватывать, расшифровывать и декодировать данные с сервера. Но несмотря на колоссальные траты некоторых крупных банков на обеспечение кибербезопасности (бюджет может составлять 80–150 млн рублей), по словам исследователей, кредитные организации не всегда обращают внимание даже на базовые настройки защиты. В свою очередь большинство организаций ограничиваются вложением гораздо более скромной суммой в 40 млн, а в некоторых случаях всего в 20 млн рублей. Стоит отметить, что за четыре прошедшие с первого исследования года ситуация кардинально не изменилась, хотя у банков было достаточно времени на диагностику и ликвидацию известных проблем [12]. Зачастую банки уничтожают только те обнаруженные уязвимости, что несут реальную угрозу, а исправление других откладывают. Здесь важно отметить, что чем дольше откладывать устранение уязвимостей, тем дороже выйдет их исправление, а ведь даже сейчас при создании веб-приложений безопасность не всегда является главным приоритетом на стадии их проектирования. Помимо прочего, такое отношение становится причиной утечки или искажения персональных данных.

Отдельно стоит упомянуть, что так же часто как банки и отдельные представители бизнеса от атак хакеров страдают промышленные предприятия и компании топливно-энергетического комплекса. Так, во втором квартале 2019 года доля целенаправленных атак составила 59 % согласно данным «Positive Technologies», что на 12 % больше, чем в первом квартале того же года. И речь идет не об одном хакере, как правило, киберпреступники объединяются в АРТ-группировки (*Advanced persistent threats* – развитая устойчивая угроза), а кибератаки в свою очередь состоят из множества этапов и тщательно планируются. Чаще всего злоумышленники распространяют вредоносное ПО при помощи фишинга. Около 85 % группировок пользуются этим методом, однако 31 % из них загружают на компьютер жертвы вредоносное ПО при просмотре пользователем зараженного сайта.

Результаты опроса «Positive Technologies» показали, что в каждой третьей компании не проводится посвященное вопросам кибербезопасности обучение, 44 % опрошенных указали на формальность такого обучения, а 46 % рецензентов сообщили о недостаточно высоком уровне квалификации специалистов по информационной безопасности. Низкий уровень понимания необходимости защиты данных в современном цифровом мире можно связать с недостатком опыта работы в цифровой сфере и отсутствия доверия к цифровой среде у граждан [13]. А ведь нехватка обученных кадров и внедряемых в информационную безопасность технологий является одной из главных причин успеха хакерских атак, приводящих к огромным убыткам. К примеру, потери мировой экономики от кибератак в 2019 году оцениваются в 2,5 трлн долл. (ВВП всех стран Африки – 2,6 трлн долл.) [7],

хотя еще в 2017 году ущерб составлял порядка триллиона долларов. В то же время Всемирный экономический форум прогнозирует потери от хакерских атак до 8 трлн долл. к 2022 году [3].

Вполне очевидно, что ни многофакторная аутентификация, ни новейшие ПО не гарантируют 100 %-й защиты, ведь едва ли можно предусмотреть все возможные причины утечки информации, в частности, сам человеческий фактор. Как заявляет президент ГК «InfoWatch» Наталья Касперская: «Внедряя новые технологии, люди рассчитывают на новый функционал, зачастую пренебрегая возможными негативными последствиями». Тем не менее не все осознают важность обнаружения тех рисков, которые приносит цифровой мир [8]. Например, только 30 % лидеров российского бизнеса не сомневаются в необходимости принятия предусмотрительных мер по управлению рисками в ходе цифровой трансформации (в то же время такую позицию поддерживают 53 % мировых капитанов бизнеса). Согласно результатам опроса специального исследования «PricewaterhouseCoopers», лишь 14 % опрошенных российских руководителей планируют инвестировать в синхронизацию целей бизнеса со стратегией информационной безопасности [7]. Вероятно, главным приоритетом в развитии информационной безопасности страны должна являться не столько разработка новых методов или технологий защиты, сколько ликвидация цифровой безграмотности среди граждан.

Подытоживая все вышесказанное, можно заявить, что развитие технологий в сфере информационной безопасности не только укрепит независимость государства, но и обеспечит рост экономики страны. Для обеспечения цифрового суверенитета Российской Федерации необходимо как можно эффективнее применять уже имеющиеся средства информационной защиты, такие как антивирусы, фаерволы, блокчейн и др., и государственного контроля (как законы и проекты). Кроме того, важно выстроить отлаженный механизм подготовки высококвалифицированных в цифровой сфере сотрудников и обеспечения кибербезопасности не только отдельных точек критической информационной инфраструктуры, но и всего государства в целом.

#### Библиографический список

1. Основные направления развития информационной безопасности кредитно-финансовой сферы на период 2019–2021 годов. Москва, Банк России, 2019. 26 с. URL: [https://www.cbr.ru/Content/Document/File/83253/onrib\\_2021.pdf](https://www.cbr.ru/Content/Document/File/83253/onrib_2021.pdf) (дата обращения: 27.02.2020).
2. ТАСС: «Путин: формирование цифровой экономики – вопрос национальной безопасности РФ». URL: <https://tass.ru/ekonomika/4389411> (дата обращения: 27.02.2020).
3. Деловой Петербург, 18 сентября 2019. № 135. С. 3.
4. Интерфакс: за год на Россию было совершено более 4 млрд кибератак. URL: <https://www.interfax.ru/russia/641760> (дата обращения: 27.02.2020).
5. Ведомости: министр Шадаев предлагает открыть персональные данные граждан силовикам. URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2020/01/29/821694-ministr-shadaev> (дата обращения: 27.02.2020).
6. Новая газета: в России вступил в силу закон об изоляции Рунета. URL: <https://novayagazeta.ru/news/2019/11/01/156569-v-rossii-vstupil-v-silu-zakon-ob-izolyatsii-runeta> (дата обращения: 27.02.2020).
7. Экономика и жизнь, 28 июня 2019. № 25 (9791). С. 1–2.
8. Деловой Петербург, 29 августа 2019. № 121. С. 10.
9. Forbes: данные 20 млн россиян год лежали в открытом доступе. URL: <https://www.forbes.ru/newsroom/tehnologii/384625-dannye-20-mln-rossiyan-god-lezhali-v-otkrytom-dostupe> (дата обращения: 27.02.2020).
10. Коммерсантъ: ФНС считает провокацией публикацию об утечке персональных данных 20 млн россиян. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4110818> (дата обращения: 27.02.2020).
11. РБК: ЦБ ужесточил требования к банкам по защите от киберугроз. URL: <https://www.rbc.ru/finances/21/05/2019/5ce406a69a7947ac4d22daa7> (дата обращения: 27.02.2020).
12. Деловой Петербург, 13 ноября 2019. № 173. С. 3.
13. Российская газета, 18 ноября 2019 года. № 259 (8017). С. 5.



УДК 004.932.2

**Ф. А. Назаренко, А. В. Статкевич**

студенты кафедры электромеханики и робототехники

**В. В. Булатов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТИПОВ КАМЕР, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Техническое зрение – теория и технология создания машин, работа которых связана с технологией получения изображений объектов, их обработки и в дальнейшем использования, полученных данных для решений разного рода прикладных задач без участия человека на производстве.

Система технического зрения (далее – СТЗ) – это специальное сенсорное устройство, с помощью которого можно получить качественное изображение, его последующую обработку и преобразование.

Современные СТЗ включают в себя три основных компонента [1]:

- 1) устройство получения изображения (камера);
- 2) интерфейс для передачи данных от камеры до устройства обработки информации;
- 3) устройство обработки информации (ПК) со специализированным программным обеспечением (например, Matlab Image Processing Toolbox, Image Pro Plus, NI Vision Builder и др.), на основе которого пишется алгоритм обработки изображения.

В СТЗ главную роль играют видеокamеры [2].

Рассмотрим основные виды камер:

1. *Аналоговые камеры* – это камеры, в которых световой поток, проходя сквозь линзы объектива, попадает на ПЗС-матрицу, где он преобразуется в видеосигнал и далее с помощью коаксиального кабеля попадает на вход видеорегистратора с отображением картинки на мониторе [3]. Эти камеры подходят для создания сетей видеонаблюдения. Например, для отслеживания активности спортсменов, для задач безопасности.

2. *Цифровые камеры* – это камеры, в которых сигнал на регистратор попадает сразу в оцифрованном виде.

Системы с цифровыми камерами легко масштабируются, модернизируются и оптимизируются, могут использоваться для любых задач компьютерного зрения.

Сравнение аналоговых и цифровых камер представлено в табл. 1.

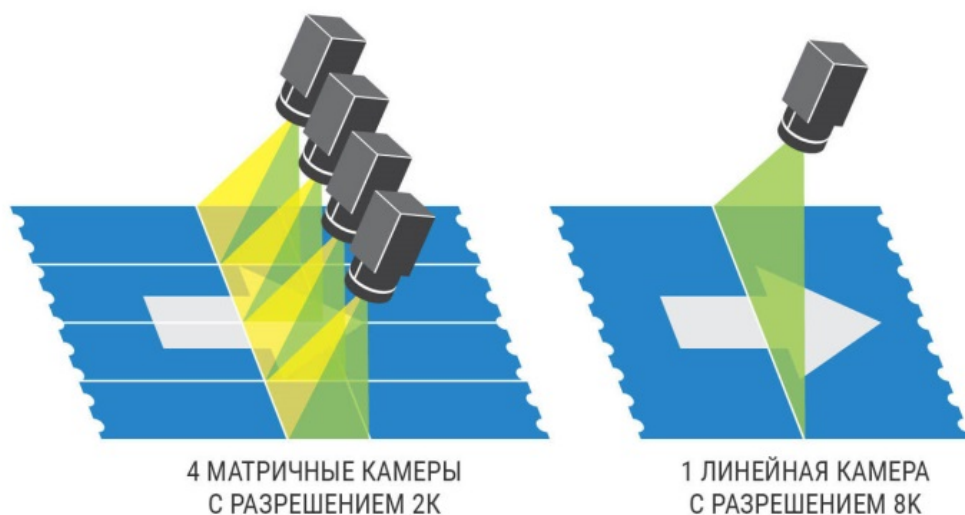
Таблица 1

<i>Специализированные камеры</i>	<i>Цифровые камеры</i>
Нет сжатия изображения	Присутствует сжатие изображения
Высокая скорость передачи данных	Скорость передачи данных ограничена скоростью Ethernet соединения.
Непрерывная передача данных	Съемка изображения в низком качестве
Рассчитаны на широкую полосу пропускания информации	Ориентированы на «узкую» полосу пропускания информации

Между IP-камерами и камерами, предназначенными для технического зрения, конечно, стоит выбрать второе, поскольку они передают несжатое видео и иногда позволяет в несколько потоков обрабатывать данные с большей точностью. Но камеры для СТЗ бывают разные, так как для разных целей разный подход. Рассмотрим классификацию камер:

3. *1D-камеры – линейные камеры*

Если представить множество оптопар поставленных в ряд, то получится 1D-камера. Каждый такой «оптодатчик» является пикселем. Отсюда получаем линию пикселей, которые постепенно фиксируют изображение.



*Рис. 1. Принцип работы линейной камеры*

При такой съемке получается неразрывное «бесконечное» изображение, где камера не снимает, а сканирует объект, так же как это делает сканер документов. Такие камеры эффективны при съемке объектов, которые движутся непрерывно.

Удобно использовать на конвейерах, так как позволяют снимать быстродвижущиеся объекты без размытия.

#### 4. 2D-камеры

Это обычные камеры создающие изображения в двухмерном пространстве. Соответственно, мы можем получить ширину и высоту. Эти камеры преобладают в использовании [4].

#### 5. 3D-камеры

Позволяют производить анализ объема объектов, форму или положение в пространстве. Реализуется это либо с помощью нескольких камер, либо с помощью одной камеры, которая вращается вокруг объекта [5].

#### 6. Специальные камеры машинного зрения

Эти камеры снимают изображения и сразу отправляют их на компьютер в не сжатом виде, снимают с еще большей скоростью чем обычные камеры. Поэтому такие камеры часто ставятся автоматизации производства или в медицинской сфере. Камеры машинного зрения могут иметь разрешение до 86 Мп и снимать до 200 кадров в секунду.

Выбор видеокамер зависит от сферы применения. Например, для быстродвижущихся конвейеров – 1D-камеры, для сетей видеонаблюдения – аналоговые камеры. Важно заметить, что технология машинного зрения прекрасно дополняет систему промышленной автоматизации там, где не справляются любые другие датчики и системы [2]. На данный момент в связи с масштабностью функционала наиболее востребованными являются цифровые камеры.

Камеры машинного зрения могут применяться для различных целей [6]. Используются для контроля технологических параметров на производстве: исследование шероховатости поверхности (для этого камера должна быть установлена на микроскопе), распознавание образов в робототехнических системах, контроль положения элементов на печатных платах. Для каждого производства используются камеры, соответствующие потребностям фирмы.

### Библиографический список

1. Кульчицкий А. А., Булатов В. В., Бойков А. В. Применение системы технического зрения для контроля технологических параметров и оборудования на производстве // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. М., 2017.
2. Дятлов Е. И. Машинное зрение. Аналитический обзор // Математические машины и системы. Киев, 2013.

3. Камеры для компьютерного зрения: характеристики. URL: <https://vc.ru/ml/87418-kamery-dlya-kompyuternogo-zreniya-harakteristiki> (дата обращения: 18.02.2020).
4. Машинное зрение от SICK/ IVP. URL: [https://www.kit-e.ru/articles/sensor/2007\\_1\\_66.php](https://www.kit-e.ru/articles/sensor/2007_1_66.php) (дата обращения: 18.02.2020).
5. Машинное зрение. URL: <https://www.testing-control.ru/ru-RU/about/sections/mashinnoe-zrenie.aspx> (дата обращения: 19.02.2020).
6. Как правильно выбрать камеру машинного зрения. URL: <http://guide.directindustry.com/ru/kak-pravilno-vybrat-kameru-mashinnogo-zreniya/> (дата обращения: 19.02.2020).

УДК 621.3.051

**В. В. Назаров**

магистрант кафедры электромеханики и робототехники

**О. Я. Соленая** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАВЫСОКИХ КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Создание сетей ультравысоких классов напряжения сопряжено с возникновением определенных проблем при разработке ключевого оборудования для из функционирования. Так, создатели проекта сети ультравысокого напряжения постоянного тока Чанцзи – Гуцюань с напряжением  $\pm 1100$  кВ, основываясь на разработках сетей  $\pm 800$  кВ и новых исследований, решающих основные проблемы, разработали преобразовательный трансформатор, преобразовательные клапаны и сглаживающие реакторы.

При разработке преобразовательных трансформаторов  $\pm 1100$  кВ было необходимо решить некоторые технические проблемы. Эти проблемы были связаны с локальным повышением температуры в ограниченных пространствах, совместным воздействием напряжений постоянного и переменного тока, сильными искажениями электрического поля, частичным разрядом, магнитной вибрацией, уменьшением шума и транспортировкой. Основываясь на разработках преобразовательных трансформаторов  $\pm 800$  кВ, было проведено исследование преобразовательных трансформаторов  $\pm 1100$  кВ. Исследование показало, что оптимизированная последовательность расположения преобразовательных трансформаторов сверхвысокого напряжения может упростить реализацию вертикальной выходной линии на конце стороны сети. Оптимизированная последовательность расположения изнутри наружу – это сердечник, регулирующие обмотки, обмотки со стороны сетки и обмотки со стороны клапанов. Уровень изоляции проходного изолятора на стороне клапана больше, чем у обмоток в преобразователях  $\pm 1100$  кВ. Кратность грозовых и коммутационных импульсов составляет 1,05, тогда как коэффициент выдерживания постоянного тока, выдерживаемой частоты и напряжения обратной полярности равен 1,15. Конструкция обмоток на стороне клапана может быть получена по результатам моделирования. Принятие специальной конструкции, параллельных блоков и установка на месте могут эффективно уменьшить размер преобразовательных трансформаторов [1–5].

Основываясь на предыдущих исследованиях, однофазные, двухобмоточные и масляные трансформаторы применяются в проекте сети ультравысокого напряжения постоянного тока Чанцзи – Гуцюань. Преобразовательные трансформаторы Чанцзи – это трансформаторы с переключающим устройством регулирования под нагрузкой и нейтральной точкой на стороне сети, заземленной напрямую. У них принудительные системы охлаждения с циркуляцией масла. Напряжение на стороне сети преобразовательной станции Чанцзи составляет 750 кВ. Проект  $\pm 1100$  кВ на преобразовательной станции Гуцюань иерархически подключен к сетям переменного тока на 1000 и 500 кВ. Структура преобразовательных трансформаторов, соединенных с сетями переменного тока 1000 и 750 кВ, состоит из сердечника, регулирующих обмоток, обмоток на стороне сети и обмоток на стороне клапана изнутри наружу. Структура преобразовательных трансформаторов, связанных с сетью переменного тока 500 кВ, состоит из сердечника, обмоток на стороне клапана, обмоток на стороне сетки и регулирующих обмоток изнутри наружу. На рис. 1 показана схема преобразовательного трансформатора ультравысокого напряжения  $\pm 1100$  кВ. Мощность преобразовательных трансформаторов Чанцзи и Гуцюань составляет 607,5 и 587,1 МВА соответственно.

Преобразовательные клапаны являются ключевым оборудованием в системах передачи постоянного тока высокого напряжения, реализующим преобразование энергии переменного и постоянного тока. При разработке преобразовательных клапанов  $\pm 1100$  кВ нужно преодолеть определенные технические трудности, которые включают в себя равномерное распределение широкополосного напряжения на многоуровневых последовательных тиристорных модулях, конструкцию экранирующей изоляции вблизи импульсного насыщения напряжения, а также разработку некоторых ключевых компонентов, таких как тиристоры и реакторы насыщения.

Благодаря оптимизации размера и конструкции системы экранирования башен клапанов улучшается распределение конденсаторов между клапанами преобразователя и заземлением, а также повышается взаимная емкость между тиристорами клапанов. Таким образом, напряжение внутри клапанов при крутом импульсном напряжении 1200 кВ/мкс может быть равномерно распределено. В то же время предлагается экранирующая конструкция с С-образным верхом. Следовательно, напряженность электрического поля на поверхности уменьшается, а воздушный зазор, необходимый для наружной изоляции башни клапана, уменьшается. Надлежащая координация изоляции клапанов преобразователя  $\pm 1100$  кВ достигается. Что касается разработки и производства ключевых компонентов, то был разработан и изготовлен 6-дюймовый 8,5 кВ/5500 А тиристор, оптимизировавший конструкцию клеммы микросхемы и затворного катода, и согласовал характеристику включения и выключения. Оптимизируя электрические параметры насыщенных реакторов и применяя новую технологию в производстве железных сердечников с очень тонкими листами из кремнистой стали, потери в железе могут быть уменьшены на 20 %, а рабочая температура горячей точки может быть ниже 70 °С с насыщенными реакторами, сохраняющими первоначальный размер структуры без изменений.

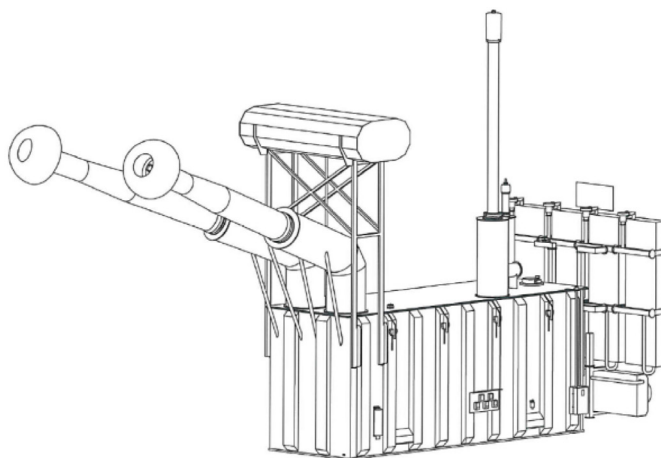


Рис. 1. Схема преобразовательного трансформатора ультравысокого напряжения  $\pm 1100$  кВ

Радиатор с низким тепловым сопротивлением, с фронтальным редуктором и задним более плотным шахматным ребром предназначен для эффективного охлаждения мощных тириستоров. Изображение клапана показано на рис. 2.



Рис. 2. Изображение преобразовательного клапана ультравысокого напряжения  $\pm 1100$  кВ

Блок преобразовательных клапанов сети ультравысокого напряжения постоянного тока  $\pm 1100$  кВ/5500 А был успешно разработан и изготовлен. Он принял двухклапанную конструкцию с подвеской и воздушной изоляцией в качестве режима изоляции. Каждый преобразовательный клапан содержит десять клапанных модулей последовательно.

Основной функцией сглаживающего реактора сети ультравысокого напряжения постоянного тока является ограничение компонента переменного тока на стороне постоянного тока клапанов преобразователя. В сочетании с фильтром постоянного тока сглаживающий реактор также может фильтровать компонент переменного тока на стороне постоянного тока и ограничивать токи повреждения. Следовательно, это ключевой элемент оборудования в проекте сети ультравысокого напряжения постоянного тока. Чтобы снизить стоимость производства и транспортировки, сглаживающие реакторы сети ультравысокого напряжения постоянного тока всегда сухого типа. Основные конструктивные соображения включают координацию изоляции, контроль повышения температуры, контроль шума, сейсмическое проектирование, антикороны и меры молниезащиты, которые вызваны повышением уровня напряжения. Индуктивность 150 мГн должна быть последовательно подключена к шине полюсов в проекте сети ультравысокого напряжения постоянного тока Чанцзи-Гуцянь  $\pm 1100$  кВ. Из-за ограничений уровня производства и условий транспортировки индуктивность 150 мГн состоит из 2 сглаживающих реакторов сухого типа  $\pm 1100$  кВ в серии; каждый из них составляет 75 мГн.

Согласно результатам импульсных испытаний молнии на имитационных катушках и характеристике изоляции эпоксидного герметизирующего материала, когда поверхностное электрическое поле сглаживающих реакторов сухого типа  $\pm 1100$  кВ составляет 3,6 кВ/см, на обмоточной поверхности не будет вспышек. Следовательно, в то время как импульсное напряжение молнии составляет 1380 кВ расстояние между дугой сушки поверхности намотки не должно быть  $< 3,84$  м. При нормальных условиях эксплуатации сглаживающих реакторов сухого типа  $\pm 1100$  кВ среднее геометрическое значение гармонических напряжений между клеммами составляет 41 кВ. Согласно результатам испытаний в туманных камерах расстояние между дугой сушки поверхности обмоток при длительном постоянном напряжении не должно быть  $< 3,20$  м. В целом, с учетом вышеупомянутых факторов и транспортных ограничений рекомендуемое расстояние дуги сушки сглаживающих реакторов сухого типа  $\pm 1100$  кВ составляет 3,87 м [6].

#### Библиографический список

1. Zhang T., Nie D., Ma W. Design of  $\pm 1100$  kV UHVDC converter transformers, High Volt. Eng. 2012. 38 (12). P. 3240–3243.
2. Jiang T., Cavallini A., Montanari G. The role of HVDC voltage waveforms on partial discharge activity in paper / Oil insulation. 2012 Annual Report Conf. On Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Piscataway, NJ, USA, 2012. P. 424–427.
3. Zhao W., Qi G., Li W. Research on the main insulation structure of converter transformer applied to  $\pm 1100$  kV DC transmission project. Electr. Manuf., 2014. 5. P. 42–44.
4. Zhang X., Tan J., Niu W. Bushing design of converter transformer's valve side. High Volt. Eng., 2012. 38 (2). P. 393–399.
5. Sun Y., Yuan M. Solving problems in transporting  $\pm 1100$  kV converter transformers by design method. Electr. Manuf., 2012. 7. P. 52–56.
6. Sun B. Disposition principle of smoothing reactors in UHV DC system. Electr. Eng., 2009. 11. P. 6–7, 40.

УДК 534.111:664.9.022

**В. А. Наумов, Ю. А. Фатыхов**

доктора технических наук, профессора\*

**О. В. Агеев**

кандидат технических наук, доцент\*

\*Калининградский государственный технический университет

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РЫБЫ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВИБРОПЛОСКОСТИ ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА

В статье рассмотрена вторая задача динамики относительного движения рыбы на виброплоскости. Коэффициент трения при движении рыбы хвостом вперед может быть более чем в два раза больше коэффициента при движении головой вперед. Кроме того, коэффициент трения зависит от скорости относительного движения из-за слоя жидкости. Приведен пример решения задачи.

Процесс загрузки рыбы оказывает существенное влияние на работу всего комплекса машин, обрабатывающих рыбу. Наиболее эффективная загрузка рыбообработочной машины достигается в том случае, если рыба предварительно отделяется поштучно от наваленных тушек, а затем ориентируется головой в одном направлении. Для *ориентирования рыбы* применяются следующие основные способы [1]: на горизонтальной колеблющейся плоскости; на наклонной плоскости; на планках, движущихся в противофазе; за счет разделения потока тушек при помощи определения положения головы каждого экземпляра. Низкая надежность загрузочных устройств сдерживает автоматизацию процессов обработки рыбы.

Каждый из названных способов имеет свои достоинства, недостатки и пути совершенствования. Так, в [1, 2] разработано мехатронное устройство, которое решает задачи повышения производительности устройства для загрузки рыбы в рыбообработывающие машины с одновременным отбором из поступающего сырья полноценных неповрежденных тушек рыбы. Это достигается за счет использования более точного и быстродействующего улавливающего приспособления для переноса тушек рыбы, а также использования в качестве измерительного прибора для получения видеоизображения рыбы. В улавливающем приспособлении для регулировки улавливающего элемента использован механизм параллельной структуры, основными достоинствами которого являются: лучшая грузоподъемность, высокая точность позиционирования рабочего органа, более высокая жесткость системы, высокие скорости и ускорения рабочего органа, высокая степень унификации мехатронных узлов. В [3] предложены методики для определения морфометрических характеристик рыб, которые используются при машинной загрузке сырья.

Другое направление совершенствования загрузочных устройств связано с повышением их надежности на базе упрощения конструкции устройства вибрационного перемещения [4, 5]. Технический результат, на достижение которого направлена установка [5], состоит в повышении эффективности процесса перемещения сырья в обрабатывающие устройства за счет изменения угла наклона вибрационного стола и возможности изменения частоты и амплитуды вибрации в одной или двух плоскостях, что способствует разделению слипшихся влажных частей сырья разного размера. Для решения указанной задачи служит вибрационный стол, состоящий из верхней и нижней стальных пластин, которые соединены упругими элементами. На нижней пластине установлен вибратор, состоящий из электродвигателя и вала, на который с помощью шлицевого соединения насажены кулачки, с возможностью осевого перемещения.

Теоретический анализ движения рыбы на виброплоскости с 60-годов прошлого века применялся для обоснования параметров, обеспечивающих наиболее эффективную работу загрузочных устройств [6]. В монографии [7] был выполнен критический анализ и обобщение ранее выполненных исследований. В том числе были приведены большой массив данных о превышении коэффициентов трения различных рыб при движении хвостом вперед по сравнению с противоположным движением. Эти данные в дальнейшем были неоднократно подтверждены и дополнены (см., например, [3]).

Опыты, выполненные рядом исследователей, в том числе В. В. Чечиним в КГТУ, показали зависимость коэффициента трения рыбы  $f$  от скорости движения по поверхности  $W$ . Общий вид ре-

зультатов (см., например, [8, с. 179]) представлен на рис. 1. Обозначим опорные точки для примерного воспроизводства зависимости  $f(W)$ :  $f_0=f(0)$  – коэффициент трения в покое,  $f_1=f(W_1)$  – минимальное значение при скорости  $W_1$ ,  $f_2=f(W_2)$  – значение при скорости  $W_2=2W_1$ .

Заметим, что при движении рыбы хвостом вперед значения  $f_{01}$  могут быть больше  $f_{02}$  в два и более раза. Из-за нелинейной зависимости коэффициента трения от скорости вторая задача динамики относительного движения рыбы не может быть решена аналитически.

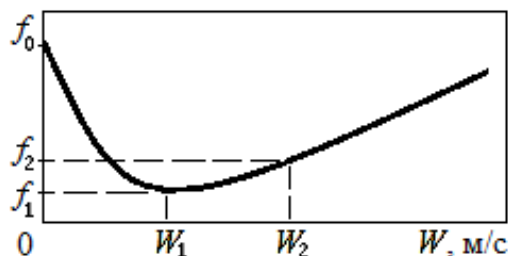


Рис. 1. Общий вид зависимости коэффициента трения рыбы от скорости движения

Вторая задача динамики тела на виброплоскости многократно решалась численными методами (см., например, [9] и библиография), но эти решения не учитывают вышеназванные особенности коэффициента трения рыбы.

На виброплоскости грузочного устройства рыба разворачивается и перемещается прямолинейно. Далее рассмотрим динамику рыбы, завершившей разворот. Плоскость совершает гармонические горизонтальные колебания:

$$\xi = A \cdot \sin(\omega t), \quad (1)$$

где  $A$  – амплитуда колебаний плоскости;  $\omega$  – круговая частота колебаний.

Дифференциальное уравнение прямолинейного движения рыбы относительно плоскости (ее угол наклона  $\alpha=0$ ):

$$m \cdot \ddot{x} = F + A \cdot \omega^2 \cdot m \cdot \sin(\omega t), \quad |F| = fmg, \quad (2)$$

где  $m$  – масса рыбы;  $F$  – сила трения.

Сложность постановки задачи заключается в задании зависимости коэффициента трения от скорости и направления движения. В среде Mathcad была разработана специальная подпрограмма-функция, реализующая эту зависимость.

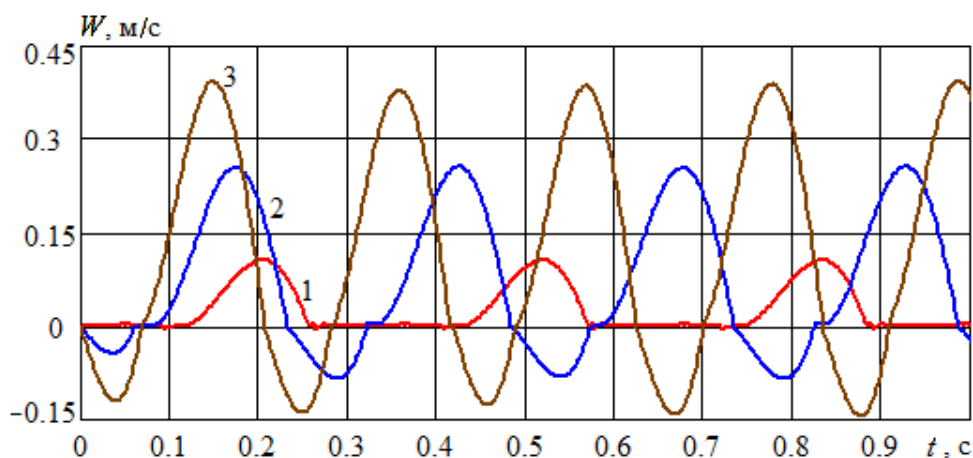


Рис. 2. Изменение относительной скорости рыбы при  $A=10$  мм и различных значениях круговой частоты: 1 –  $\omega=20$  с<sup>-1</sup>; 2 –  $\omega=25$  с<sup>-1</sup>; 3 –  $\omega=30$  с<sup>-1</sup>



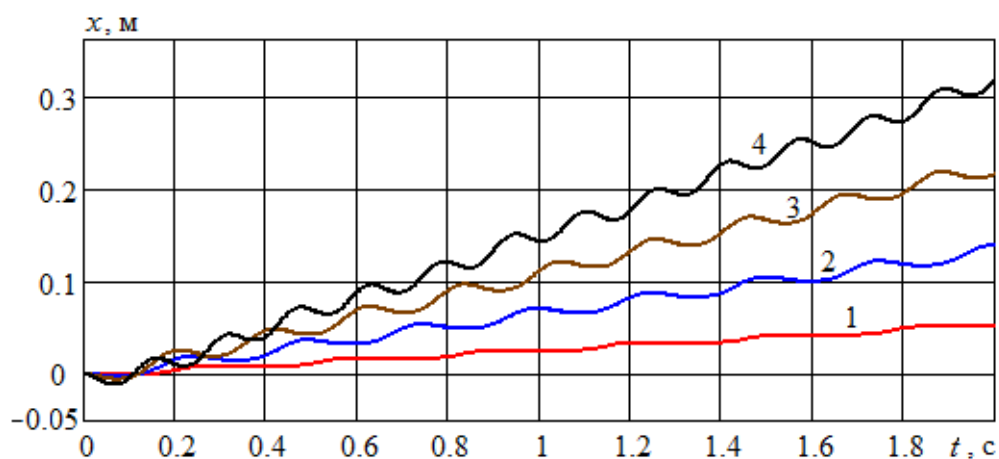


Рис. 3. Изменение координаты рыбы при  $A=10$  мм и различных значениях круговой частоты:  
 1 –  $\omega=20$  с $^{-1}$ ; 2 –  $\omega=25$  с $^{-1}$ ; 3 –  $\omega=30$  с $^{-1}$ ; 4 –  $\omega=40$  с $^{-1}$

На рис. 2–3 представлены результаты решения задачи численным методом. Опорные значения коэффициентов трения приняты для крупных видов рыб (скумбрия атлантическая, ставрида) по нержавеющей стали:

$$f_{01}=0,25; f_{11}=0,18; f_{21}=0,48; f_{02}=0,43; f_{12}=0,23; f_{22}=0,58; W_1=0,5 \text{ м/с.}$$

Разработанная программа позволяет подбирать параметры устройства по критериям наибольшей производительности и максимальной энергетической эффективности.

#### Библиографический список

1. Агеев О. В., Ерыванов А. Е., Фатыхов Ю. А. Подход к разработке мехатронного устройства для поштучной загрузки рыбы // Научные труды КубГТУ. 2017. № 5. С. 10–22.
2. Агеев О. В., Бабарькин К. В., Фатыхов Ю. А. Устройство для загрузки рыбы в рыбообрабатывающие машины. Патент RU 2645979 С2, опубл. 28.02.2018. Бюл. № 7. 16 с.
3. Yu C., Fan X., Hu Z. Segmentation and measurement scheme for fish morphological features based on Mask R-CNN // Information Processing in Agriculture. 2020. Vol. 1. P. 1–12.
4. Мельников К. Ю., Угрюмова С. Д. Экспериментальное исследование процесса вибросортирования рыбы // Научные труды Дальрыбвтуза. 2009. № 21. С. 399–405.
5. Дерябин А. А., Проскура Д. Ю., Мельников К. Ю. Устройство вибрационного перемещения гидробионтов. Патент на полезную модель РФ № 2009138906, опубл. 10.03.2010. 14 с.
6. Поспелов Ю. В. Вибрационное перемещение рыб по плоскости, совершающей горизонтальные гармонические колебания // Известия ТИНРО. 1971. Т. 75. С. 172–193.
7. Бриль С. И. Загрузочные устройства рыбообрабатывающих машин. М.: Пищевая промышленность, 1980. 184 с.
8. Фонарев А. Л. Гидравлика и гидравлические машины в промышленном рыболовстве. М.: Колос, 1993. 208 с.
9. Федоренко И. Я., Федоренко А. С. Численное моделирование процесса безотрывного виброперемещения частицы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 7. С. 131–135.

УДК 33.338.1

**Н. М. Никитина**

студент кафедры программно-целевого управления в приборостроении

**Г. С. Армашова-Тельник** – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

### КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ КОНКУРЕНТНО-РЫНОЧНОЙ СРЕДЫ В РЕГИОНЕ

Актуальность данной статьи обусловлена ростом значимости вопроса формирования конкурентно-рыночной среды в регионе. Развитие конкурентных отношений в регионе позволяет обеспечить максимально эффективное воздействие рыночных механизмов на экономический рост региона, а также помогает решить многие социально-экономические проблемы:

- общехозяйственные и отраслевые кризисы;
- массовая безработица и нехватка квалифицированных специалистов;
- потребность в инвестировании;
- отсутствие нормативно-правовой базы;
- усиливающаяся конкуренция на мировых рынках и т. д.

На сегодняшний день меры государства по развитию малого и среднего предпринимательства в регионах являются недостаточными для формирования эффективной конкурентно-рыночной среды экономики в регионах. Также имеет значение высокая степень сосредоточения монопольной власти на большинстве рынках регионов. Ряд мер, реализуемых государственными органами, не приносит ожидаемого эффекта и не отвечает современным вызовам общества. По этой причине вопросы по формированию конкурентно-рыночной среды в регионе являются актуальными на сегодняшнем этапе развития экономики России.

Рыночная модель конкуренции, сложившаяся в стране (в т. ч. и регионе), формирует состояние и определяет дальнейшее развитие конкурентного пространства в экономике как региона, так и страны в целом. Ситуация конкурентной среды региона зависит от ряда факторов (рис. 1).

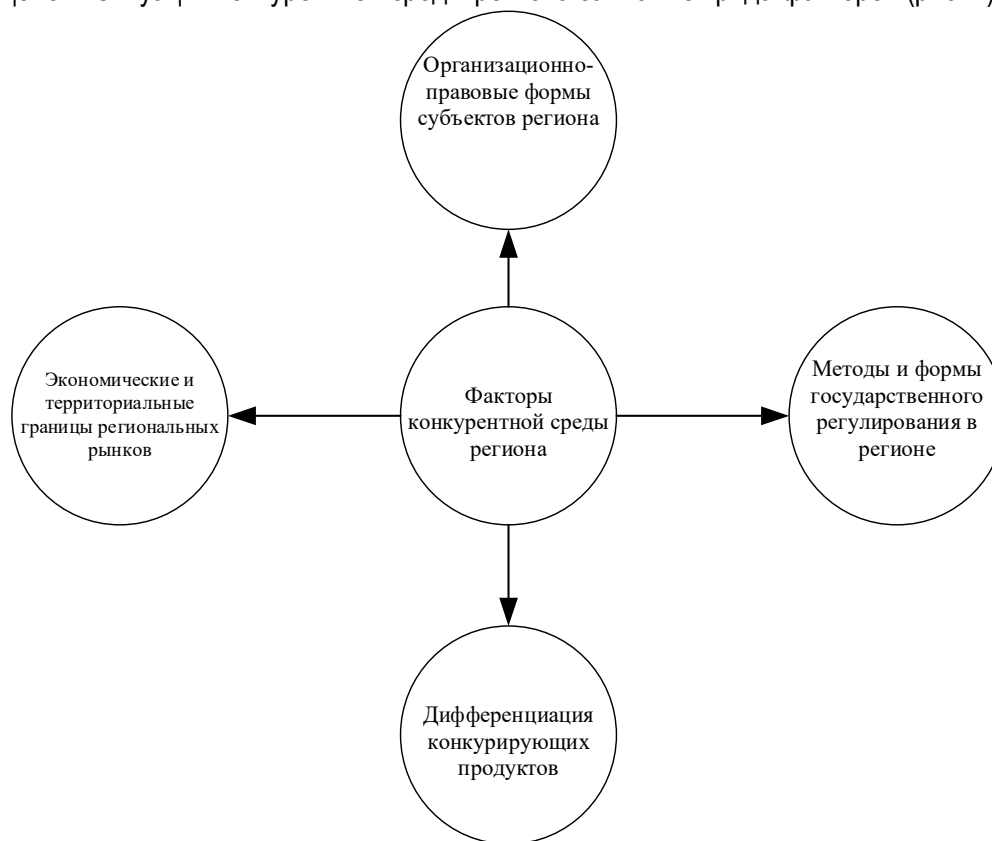


Рис. 1. Факторы конкурентной среды региона

Западными учеными-экономистами Питером Ниджкампом, Карлом Айгингером, Бернардом Марисом и др. конкурентная среда региона представлена комплексом ряда факторов, которые обуславливают характер и структуру показателей, демонстрирующих уровень конкурентоспособности рынка. Подчеркнем, что представители структурного подхода считают, что на микроуровне конкурентоспособность компании во многом определяется структурой рынка. Современный опыт развития формирования конкурентной среды в ряде быстроразвивающихся экономик стран Азии показывает важность таких факторов, как меры инновационной политики правительства и доступ к источникам финансирования деятельности.

Можно отметить другие подходы к выделению условий формирования конкурентной среды, а также к определению их важности. Вальтер Ойкен (немецкий экономист), связывающий создание конкурентного порядка с комплексной реализацией конституирующих принципов конкурентного порядка, в частности: с децентрализованным регулированием и управлением, частной собственностью, полной имущественной и хозяйственной самостоятельностью, свободными договорными отношениями на рынке, ответственностью, стабильностью денежного обращения, открытостью рынка [2]. Одновременно с этим Эдвард Чемберлин (американский экономист, основоположник теории монополистической конкуренции) выделяют такие основные условия развития конкуренции, как значительное количество продавцов на рынке и отсутствие контроля над ценами [3, 4]. Ученые акцентируют значимость институциональных факторов влияния в процессе конструирования конкурентной среды.

Майкл Портер рассматривает конкурентное пространство как совокупность количественных и качественных показателей, характеризующих состояние развития конкуренции [1]. Данный концептуальный подход к исследованию процессов формирования конкурентной среды имеет высокую практическую значимость при исследовании конкурентной среды региона, но характеризуется рядом недостатков. Так, вместе с развитием рыночного хозяйства появляются и обостряются проблемы социального и экономического характера. Общехозяйственные и отраслевые кризисы, нарушения в денежном обращении, массовая безработица, потребность в инвестировании, усиливающаяся конкуренция на мировых рынках – все это является доказательством необходимости в реализации мер по государственному регулированию экономики.

Так, Пол Самуэльсон (американский экономист, лауреат Нобелевской премии по экономике) и Джон Гэлбрейт (американский экономист, представитель институционального и кейнсианского течений) предлагают направлять деятельность государства на совершенствование рынка, а не на отмену или обход его [6]. Данный подход, сочетающий в себе элементы государственного регулирования и развития рыночных механизмов в экономике, является достаточно перспективным на современном этапе развития российской экономики. При данном подходе в основе процесса формирования конкурентной среды лежат рыночные механизмы. При этом государственное регулирование направлено на сглаживание негативных эффектов рыночной экономики, к которым можно отнести монополизацию отраслей, а также рост уровня безработицы.

Новоселов А. С. (отечественный исследователь в области экономики) интерпретировал конкурентную среду региональных рынков как совокупность рыночных сил, факторов, определяющих функционирование хозяйствующих субъектов региональной экономики [7]. Факторы, формирующие конкурентную среду, исследователем разделяются на экономические, правовые, организационные и социальные. При данном подходе все элементы конкурентной среды региона находятся во взаимной связи и зависимости при их постоянном взаимодействии.

Рассмотрев в данной статье различные позиции исследователей в области теории конкуренции, отметим, что в качестве факторов формирования среды в экономике выступают: уровень развития инфраструктуры, институциональная структура, свобода конкуренции, развитие методов государственного регулирования конкурентной среды.

Таким образом, обобщая концептуальные подходы, можно выделить основные факторы формирования конкурентной среды региона:

- число экономических субъектов;
- уровень дифференциации конкурирующих продуктов;
- степень монополизации;

- инфраструктура рынка;
- условия конкуренции.

При формировании рыночной конкурентной среды в регионе необходимо учитывать не только микроэкономические, но и макроэкономические условия.

Таблица 1

**Подходы ученых-экономистов по развитию конкурентно-рыночного пространства в регионе**

Ученые-экономисты	Направление подхода	Суть подхода	Область реализации
Питер Ниджкамп, Карл Айгингер, Бернар Марис	структурный	конкурентоспособность компании определяется структурой рынка	применяется в организациях для обеспечения основных элементов деятельности и взаимосвязей между ними; предполагает использование разделения труда, охвата контролем, децентрализации и департаментализации
Вальтер Ойкен, Джозеф Кэмпбелл, Эдвард Чемберлин	институциональный	значительное количество продавцов на рынке и отсутствие контроля над ценами	рынок рассматривается как определенная институциональная структура, охватывающая законы, правила игры и определенный тип поведения, отношений и связей
Майкл Портер	практический	отрасль должна быть рентабельна, приближение к совершенной конкуренции	при такой организации рынка предприятие сможет продать по данной рыночной цене столько продукции, сколько оно пожелает, а на уровень рыночной цены не сможет повлиять ни продавец, ни покупатель
Пол Самуэльсон, Джон Гэлбрейт	рыночный	сочетание государственного регулирования и развития рыночных механизмов	данный подход становится все более непригодным в качестве регулятора экономической жизни
Новоселов А. С.	взаимосвязанный (взаимозависимый)	постоянное взаимодействие элементов конкурентной среды региона	применение и эффективность данного подхода во многом зависят от конкурентной среды на региональных рынках, определяющей эффективное функционирование хозяйствующих субъектов и их отношения в ходе конкуренции

Так, можно отметить следующие макроэкономические условия формирования конкурентной среды:

- процентные ставки по кредитам, определяющие степень доступности финансовых ресурсов для малых и средних предприятий, а также индивидуальных предпринимателей;
- инновационная политика правительства, заключающаяся в поддержке инновационных компаний в экономике, предоставлении субсидий и налоговых преференций подобным компаниям;
- внешнеэкономическая политика государства и валютный курс национальной валюты, оказывающие воздействие на конкурентоспособность национальных компаний на мировом рынке. Повышение спроса на продукцию национальных производителей со стороны зарубежных субъектов привлекает новые компании в отрасль;

- система налогообложения, определяющая рентабельность ведения предпринимательской деятельности.

По нашему мнению, последующее развитие конкурентно-рыночного пространства в регионе будет находиться под влиянием как положительных, так и отрицательных факторов. Задача государства в этом случае состоит в том, чтобы обеспечить конкурентный потенциал региона, то есть его готовность к нормальной конкуренции и устойчивому функционированию конкретной конкурентно-рыночной среды. Формирование такой среды сможет улучшить межрегиональные и международные связи региона, что положительно скажется на социально-экономическом развитии государства в целом.

#### Библиографический список

1. *Портер М.* Международная конкуренция. Конкурентные преимущества стран / Пер. с англ. М.: Международные отношения, 1993. 896 с.
2. *Ойкен В.* Основные принципы экономической политики (фрагменты работы). М., 2001. 218 с.
3. *Кэмпбел Д., Стаунхаус Д., Хьюстон Б.* Стратегический менеджмент. М., 2003. 294 с.
4. *Чемберлин Э.* Теория монополистической конкуренции / Пер. с англ. Ю. Я.Ольсевича. М.: Экономика, 1996. 351 с.
5. *Самуэльсон П.* Экономикс. В 2 т. М., 1997. 735 с.
6. *Гэлбрейт Д.* Экономические теории и цели общества. М., 1979. 321 с.
7. *Новоселов А. С.* Теория региональных рынков. Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. 448 с.

УДК 519.71; 621.391; 004.89

**Д. Ю. Оборина**

студентка кафедры технологий защиты информации

**С. Г. Фомичева** – кандидат технических наук, профессор – научный руководитель

## О ПРОБЛЕМАХ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В BIG DATA

Современная эпоха характеризуется колоссальным ростом объемов цифровой информации. Как отмечает исследовательская компания IDC Digital Universe [1], к 2020 году в мире объемы данных вырастут до 40 зеттабайтов, а к 2025 году этот объем увеличится в 10 раз и составит 400 зеттабайт. Следовательно, сфера обработки данных остается важной, а также принципиально по-новому необходимо формировать принципы управления структурированными и неструктурированными данными. Особо отметим, что традиционных механизмов безопасности и средств защиты информации, таких как брандмауэры и антивирусное программное обеспечение, системы обнаружения вторжений, недостаточно для эффективной защиты больших данных. В данной работе рассмотрим не только существующие проблемы обработки больших данных, как таковых, но акцентируем внимание на проблемах информационной безопасности в сфере Big Data.

Большие данные (Big Data, биг дата) – это структурированные и неструктурированные данные огромных объемов и разнообразия, а также методы их обработки, которые позволяют распределенно анализировать информацию [2]. Говоря о Big Data, выделяют их существенные свойства (5V), такие как величина физического объема (Volume), скорость (Velocity), многообразие (Variety), а также достоверность данных (Veracity) и ценность данных (Value), которая неразрывна связана со стоимостью владения и ценностью для бизнеса. Big Data отличаются от традиционных данных прежде всего своим большим объемом. В настоящее время принято считать, что «большие данные» начинаются от нескольких терабайт, причем важно, что эти данные генерируются множеством гетерогенных источников с очень большой скоростью. Как указано в [3], за одну секунду работы Большого адронного коллайдера в ходе эксперимента производится от 600 Mb до 25 Gb данных.

Кроме больших объемов и высокой скорости генерации и/или накопления, большого количества гетерогенных источников, эти данные обычно не имеют строгой внутренней структуры, в следствии чего их интеграция становится является нетривиальной задачей. К гетерогенным (т. е. различной природы) источникам больших данных относят: Интернет (социальные сети, блоги, форумы, сайты), интернет вещей (IoT), корпоративные данные (транзакционная деловая информация, архивы, базы данных, показания устройств, датчиков, приборов), данные сотовых операторов и т. д. Стоит отметить, что в России среди основных поставщиков больших данных выделяются поисковые системы, которые имеют доступ к массивам данных, а кроме того, обладают достаточной технологической базой для создания новых сервисов [2].

Суть методов обработки больших данных в том, что они объединяют самые различные типы данных и извлекают из них новую, ранее недоступную информацию. Отметим, что для корректного функционирования система больших данных должна быть основана на принципах горизонтальной масштабируемости (т. е. система обработки больших данных должна быть легко расширяемой), отказоустойчивости (выход из строя какого-либо узла системы не должен приводить к сбоям всей системы) и локальность данных (как правило, предобработка данных должна выполняться на тех же серверах, где они хранятся).

При работе с Big Data следует пересмотреть три основных направления: хранение и обработка поступающих данных в гигабайты, терабайты и зеттабайты; структурирование различных видов информации: текстов, аудио, видео, фотографий; анализ Big Data и применение методов обработки неструктурированной информации [4]. В протоколы безопасности также требуется вносить серьезные изменения. Во множестве публикаций и открытых отчетов сообщается, что в настоящее время в корпоративных базах данных имеются серьезные уязвимости [5, 6]. Основная проблема состоит в том, что все механизмы обработки данных создавались для защиты небольших объемов статической информации – файлов, сохраненных на жестких дисках, а не большого информационного потока, получаемого из огромного множества источников. Меры безопасности должны быть достаточно

гибкими и оперативными, что позволит обеспечить бесперебойность получения данных и безопасность многочисленных «точек входа» [7].

Таблица 1

### Проблемы информационной безопасности при работе с Big Data

№	Проблема	Причины	Подходы к решению
1	Безопасность вычислений в распределенных системах	Вычисления выполняются в несколько этапов на разных уровнях распределенных систем	Требуется предусмотреть несколько уровней эшелонированной защиты как для самих программ, так и для защиты данных от этих программ
2	Безопасность нереляционных (NoSQL) баз данных	Отсутствуют интегрированные механизмы защиты неструктурированных данных	Необходимо развивать механизмы нереляционной обработки параллельно с соответствующими мерами безопасности
3	Безопасное хранение распределенных данных	Автоматическое перемещение данных по уровням требует дополнительных механизмов безопасности	Требуется создание многоуровневых методов защиты данных
4	Проверка достоверности	В случае получения миллионов вводных данных необходимо гарантировать достоверность каждого бита информации	Требуется разработка алгоритмов распараллеливания при вычислении контрольных сумм и хешировании
5	Мониторинг безопасности в режиме реального времени	Низкий уровень выявления реальных угроз системами real-time security	Требуется совершенствование алгоритмов актуализации и рейтингования правил корреляции
6	Формирование массивов данных частного характера без уведомления или согласия потребителей	Data mining и аналитика Big data дают возможность интенсивного сбора информации частного характера без уведомления или согласия потребителей	Требуется разработка принципов и механизмов автоматического уведомления санкционированных собственников информации
7	Криптографически защищенное управление доступом и обеспечение безопасности соединений	Для полной безопасности данные должны быть подвергаться сквозному шифрованию и при этом оставаться эффективными и доступными санкционированных потребителей	Требуется разработка эффективных криптографических методов обработки данных в распределенных системах
8	Фрагментарный контроль доступа	Не все данные одинаково конфиденциальны, и компании должны иметь возможность сегментировать их по уровню секретности	требуется разработка эффективных криптографических методов обработки данных в распределенных системах
9	Подробные аудиты	в силу огромного объема больших данных система формирования отчетности должна соответствовать масштабу того или иного инцидента	Требуется разработка масштабируемых генераторов отчетов
10	Происхождение данных	Отсутствие механизмов мониторинга источников происхождения данных	Требуется разработка эффективных алгоритмов автоматической аутентификации (многофакторной)

Промышленный интернет вещей (*Industrial Internet of Things, IIoT*), также сталкивается с нарушениями информационной безопасности, обусловленными следующими факторами [8]:

- многообразие видов подключений между компонентами IIoT-системы (мобильные сотовые сети, Bluetooth, Wi-Fi, LoRa, UNB, PLC, BTLе малого радиуса действия, Weightless, LTE-M, ZigBee, Ethernet, RFID, ModBus и т. д.);
- необходимость использования технически устаревших протоколов при интеграции SCADA-систем с современными IIoT-инструментами из-за особенностей производственных АСУТП;
- недостаточная консистентность или отсутствие единой архитектуры информационной безопасности всех систем предприятия: от офисных устройств и приложений до IIoT-приборов, установленном на технологическом оборудовании.

Проанализировав публикации по обработке Big Data, выделим основные проблемы информационной безопасности и представим их в табл.1.

Указом Президента РФ от 9 мая 2017 года № 203 утверждена государственная программа «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 гг.», в рамках которой планируется развивать технологии Big Data. Однако нерешенные проблемы безопасности Big Data, указанные в табл. 1, объясняют отсутствие на текущий момент стандартов по защите Big Data и отсутствие механизмов правового регулирования Big Data.

### Библиографический список

1. *Reinsel D., Gantz J., Rydning J.* The Data Age 2025 The Digitization of the World from Edge to Core. URL: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-data-age-whitepaper.pdf> (дата обращения: 12.01.2020).
2. *Семенов А.* Технологии Big Data: как использовать большие данные в маркетинге URL: <https://www.uplab.ru/blog/big-data-technologies/> (дата обращения: 14.01.2020).
3. Processing: What to record? URL: <http://home.cern/about/computing/processing-what-record> (дата обращения: 20.01.2020).
4. *Гайдаш Е. Н., Казьмина К. А.* Технологии Big Data в развитии цифровой экономики России // Научное сообщество студентов: междисциплинарные исследования: сб. ст. по мат. XXXV междунар. студ. науч.-практ. конф. № 24 (35). URL: [https://sibac.info/archive/meghdis/24\(35\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/24(35).pdf) (дата обращения: 15.01.2020).
5. *Tao C., Gao J., Xie C.* Big Data Validation and Quality Assurance – Issues, Challenges, and Needs. Conference Paper – March 2016. URL: [https://www.researchgate.net/publication/299474654\\_Big\\_Data\\_Validation\\_and\\_Quality\\_Assurance\\_Issues\\_Challenges\\_and\\_Needs/link/59e3761daca2724cbfe3a905/download](https://www.researchgate.net/publication/299474654_Big_Data_Validation_and_Quality_Assurance_Issues_Challenges_and_Needs/link/59e3761daca2724cbfe3a905/download) (дата обращения: 10.02.2020).
6. *Hu V., Kuhn R., Ferraiolo D.* An Access Control Scheme for Big Data Processing. January 2014. URL: [https://www.researchgate.net/publication/297663582\\_An\\_Access\\_Control\\_Scheme\\_for\\_Big\\_Data\\_Processing](https://www.researchgate.net/publication/297663582_An_Access_Control_Scheme_for_Big_Data_Processing) (дата обращения: 10.02.2020).
7. Mr. Pixel. Big data безопасность: почему это проблема, и что с этим делать? URL: <http://rtbinsight.ru/articles/big-data-security.html> (дата обращения: 05.02.2020).
8. *Вичугова А.* DDos-атака от видеояни: информационная безопасность IoT и Big Data. URL: <https://www.bigdataschool.ru/bigdata/iot-big-data-security-incidents.html> (дата обращения: 01.02.2020).



УДК 621.3.066.3; 621.3.064.1; 621.3.064.42; 621.3.064.25

**Э. В. Петров, В. О. Юрченко**

студенты кафедры электромеханики и робототехники

**Р. Ш. Еникеев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## **РАЗРАБОТКА МАКЕТА РАЗМЫКАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПРИВОДОМ НА ОСНОВЕ ВЗРЫВАЮЩЕГОСЯ ПРОВОДНИКА**

### **Введение**

В определенных сферах жизнедеятельности постоянный ток уверенно сохраняет свои лидирующие позиции. Это относится к применению постоянного тока для передачи электроэнергии по высоковольтным ЛЭП. ЛЭП постоянного тока могут быть более экономичными по сравнению с ЛЭП переменного тока. Кроме того, использование постоянного тока в подводных ЛЭП означает отсутствие реактивной мощности, а в следствие и ее потерь. Но в данный момент в ЛЭП постоянного тока возникают трудности в трансформации электроэнергии.

Также отметим, что еще одним преимуществом является использование электрических машин постоянного тока. Двигатели постоянного тока дают возможность формировать большое разнообразие электротехнических характеристик, которые недоступны при применении переменного тока. Но следует отметить, что конструктивно машины постоянного тока более сложны, а, следовательно, и менее надежны.

В судостроении также применяются электроэнергетические системы постоянного тока. Одним из главных преимуществ таких систем является низкое потребление топлива судовыми дизель генераторами. Такая электроэнергетическая система дает возможность каждому дизель генератору работать на различных скоростях, что способствует качественному расходу топлива при различных режимах нагрузки на сеть. Это объясняется тем, что отсутствует ограничения по синхронной работе генераторов [1].

Важно отметить, что в цепях постоянного тока необходимо учитывать направление тока. По этой причине присутствует необходимость подключения нагрузки со строгим соблюдением полярности. Возможные ошибки неизбежно приводят к тяжелым авариям.

Использование постоянного тока требует соответствующего обновления оборудования, а также изменения технических норм и условий использования энергии. Поэтому необходимо правильно подбирать и разрабатывать новую коммутационную аппаратуру для цепей постоянного тока [2].

### **Электрическая дуга постоянного тока**

Электрическая дуга – это электрический разряд в газовой среде, по форме существования вещества считается плазмой. Электрическая дуга возникает в начале размыкания контактов. В газе дугового промежутка присутствуют свободные электроны газа и электроны, излучаемые с поверхности катода. Под действием электрических сил свободные электроны газа перемещаются от катода к аноду с огромной скоростью [3].

Использование аппаратов постоянного тока сопровождается существенной проблемой, электрической дугой. Такие параметры среды, как температура, давление и т. п., непосредственно оказывают влияние на параметры дуги. Также влияют характеристики цепи и величина тока. Чтобы электрическая дуга горела длительное время, при размыкании контактов необходимо выполнение ряда условий. В установившемся режиме горения дуги ионизационные и деионизационные процессы в ней находятся в равновесии. Только изменив параметры процесса горения, а также убрав условия точки устойчивого горения, можно произвести гашение дуги.

Необходимо отметить и влияние ударного тока в силовых цепях на электрооборудование. Ударный ток в случае короткого замыкания в силовых цепях электрических станций может достигать величин в сотни килоампер и способен привести к масштабным повреждениям генераторной цепи. Для повышения безопасности и эффективности работы электростанций используются генераторные выключатели. Они располагаются между генератором и повышающим трансформа-

тором и служат для предотвращения аварийных ситуаций, возникающих в том числе в случае короткого замыкания в цепи силового трансформатора.

С развитием электроники, увеличением выходной мощности генераторов происходит модернизация электрических систем, что требует развития защитной аппаратуры, в том числе и генераторных выключателей.

### Типы размыкателей

Существует несколько различных видов размыкателей постоянного тока с различным принципом работы. К ним относятся:

1. Воздушные магнитные размыкатели
2. Масляные размыкатели
3. Вакуумные размыкатели
4. Выключатели постоянного тока на основе полупроводниковых элементов
5. Элегазовые размыкатели

### Устройство и принцип работы Pirobreaker

Pirobreaker представляет из себя размыкатель с двумя функциональными единицами:

1. Коммутационная секция
2. Разделителя

Разделитель и коммутационная секция соединены последовательно. Обе эти части размыкателя срабатывают вне зависимости друг от друга. Для их срабатывания необходима энергия, которая выделяется при детонации небольшого взрывчатого заряда [4].

Коммутационная часть состоит из тонкостенного медного цилиндра с кольцевыми проточками, которые в свою очередь являются концентраторами напряжения при взрыве. Внутренний объем так называемой рабочей области заполнен водой, а также там расположен взрывчатый заряд. Вода в данном случае является не только охлаждающей средой, но и проводником ударной волны после взрыва заряда. После детонации заряда медный цилиндр разрывается по концентраторам напряжения и гасит электрическую дугу. Вода является охлаждающей средой, которая гасит дугу и выходит из рабочей области через разрывы после детонации.

Электрическая прочность коммутирующей части уменьшается с течением времени, поэтому в размыкателе установлен отделитель, срабатывающий без тока. Газы, образующиеся при инициации заряда отделителя, давят на длинный изолирующий цилиндр, который своим нижним концом разрывает токоведущий элемент – мембрану и, внедряясь внутрь, обеспечивает постоянную электрическую прочность размыкателя. Заряд отделителя инициируется одновременно с зарядом коммутирующей части, но из-за особенностей конструкции отделитель начинает размыкаться лишь спустя несколько миллисекунд. Все это время коммутирующая часть, работающая значительно быстрее, должна обеспечивать электрическую прочность цепи размыкателя.

Система охлаждения аппарата содержит четыре независимых канала: 1-й служит для охлаждения коммутирующей части; 2-й предназначен для охлаждения центрального токовода, соединяющего коммутирующую часть с отделителем; 3-й и 4-й проходят внутри токоподводов верхнего и нижнего. Внутренняя часть мембраны отделителя охлаждается водой, протекающей по каналу 2, а внешняя часть – по каналу 3.

Основная часть тепла выделяется в токоведущем цилиндре коммутационной секции, охлаждение которой осуществляется в режиме приповерхностного кипения и существенно зависит от давления воды внутри цилиндра [5].

Процесс разрушения занимает 50–60 мкс, в течение этого времени ударная волна перемещается обратно к оси цилиндра, а затем, отражаясь, возвращается к стенке цилиндра. Поскольку скорость распространения детонации в заряде взрывчатого вещества не бесконечна, верхняя часть контактного цилиндра разрушается с задержкой около 10 мкс относительно нижней. Примерно через 80 мкс цилиндр разрушается по концентраторам напряжения, и в образовавшихся зазорах загорается электрическая дуга. Гашение электрической дуги происходит под действием постоянно циркули-

рующей воды и занимает от 90 до 150 мкс в зависимости от количества зазоров. Общее время от момента пускового сигнала до момента обнуления тока составляет  $200 \pm 25$  мкс.

Основными частями разделителя являются мембрана, диэлектрический цилиндр и заряд взрывчатого вещества. Заряд сепаратора инициируется одновременно с коммутационной секцией. Давление продуктов детонации приводит в движение диэлектрический цилиндр, который разрезает мембрану и отделяет, когда спускается вниз, центральный токоподвод от верхнего токоподвода, обеспечивая тем самым требуемую диэлектрическую прочность после размыкания цепи. Время работы разделителя составляет 6–7 мс.

На рис. 1 показано поперечное сечение защитного размыкателя Pirobreaker.

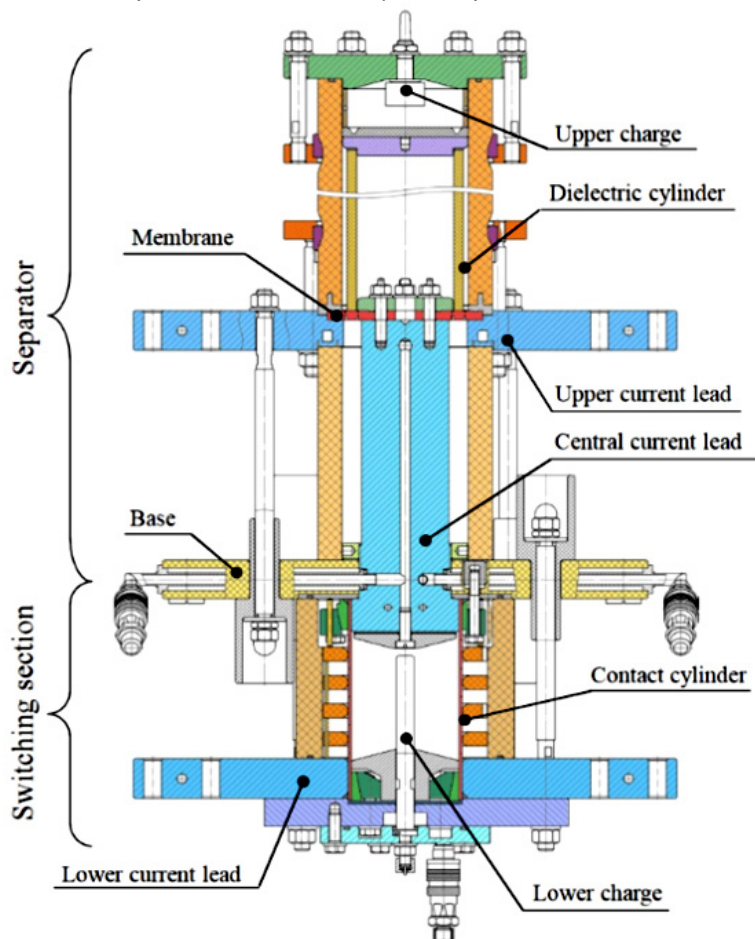


Рис. 1. Защитный размыкатель Pirobreaker

### Макет размыкателя постоянного тока с приводом на основе электровзрыва

Основываясь на принципе работы и устройстве аппарата Pirobreaker, предлагается макет размыкателя постоянного тока с приводом на основе электровзрыва.

Принцип действия макета основывается на взрыве алюминиевого или медного проводника, намотанного на латунный и изолированный стержень, который вставляется непосредственно в коммутирующую секцию. Токопроводящий цилиндр данной секции предлагается взять из алюминия толщиной в 3 мм. Для разрыва электроприводом медного цилиндра необходимо значительно больше энергии, чем для цилиндра из алюминия.

Как упоминалось выше, в цилиндре коммутационной зоны Pirobreaker, разработанного для нужд ITER, проточены от 5 до 8 концентраторов напряжения. В токопроводящем цилиндре разрабатываемого макета проточена только лишь одна канавка, и имеется один зазор для разрыва цепи. Из коммутационных испытаний Pirobreaker, которые проводились при токе короткого замыкания 70 кА, а также напряжении на аппарате 20 кВ при 8 зазорах, можно сделать вывод, что разрабатываемый макет с одним зазором должен выдерживать 9 кА при 2 кВ. Диэлектрические кольца, сохранили свои размеры и геометрию.

Внутренний объем коммутационной зоны макета также заполняется деминерализованной водой, которая обеспечивает не только охлаждение контактного цилиндра, но и передачу давления от взрыва привода.

Электрический привод состоит из токопроводящего элемента, латунного стрежня, алюминиевой проволоки. Проволочка намотана на латунный стержень встречно параллельно. Для изолирования привода от токоподводов аппарата изготовлен изолятор. Также конструктивно изменены изоляторы для шпилек.

Для полного функционирования макета необходимы две электрической цепи: одна непосредственно для основной цепи, а другая для электропривода.

На рис. 2 приведен общий вид макета размыкателя постоянного тока на основе электровзрыва.

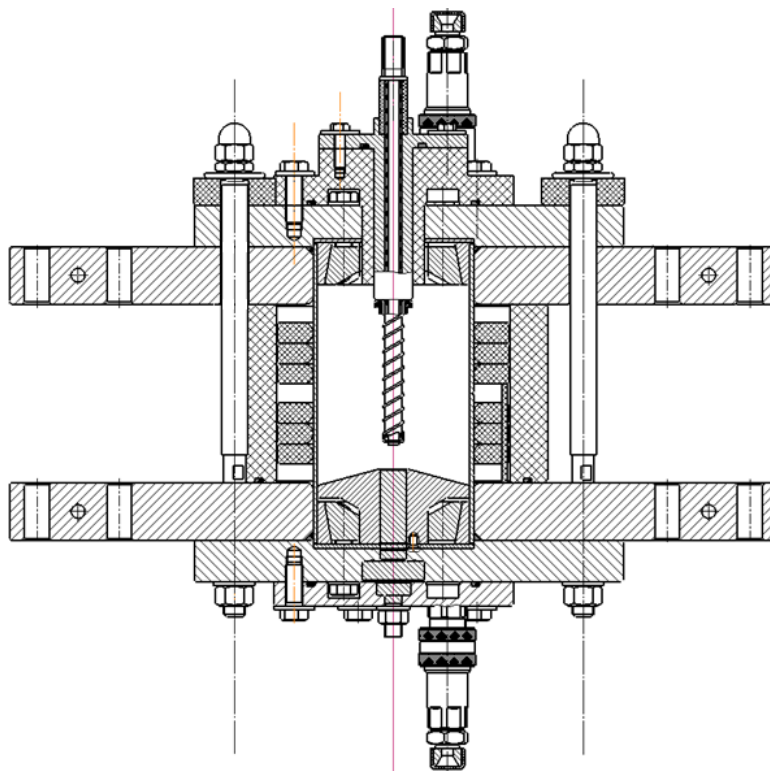


Рис. 2. Общий макета размыкателя постоянного тока на основе электровзрыва

### Описание экспериментальной схемы

Электрический взрыв проводника реализуется в схеме с  $R - L - C$  контуром (рис. 3). Форма импульса тока в таком контуре позволяет добиться достаточного значения интеграла действия плотности тока для сублимации проводника из твердого состояния в газообразное (электрического взрыва). Помимо этого, путем изменения параметров можно контролировать время электрического взрыва.

Для увеличения длительности спада импульса после достижения им пикового значения возможно включение в цепь диода (рис. 4).

Для оценки времени электрического взрыва проводника (проволочки), а также оценки энергии, выделяемой к моменту взрыва, для последующего теоретического расчета были заданы значения индуктивности и емкости.

В качестве материала проводника выбран алюминий, а не медь, так как для электрического взрыва алюминиевого проводника необходимо затратить больше энергии, и, как следствие, больше давления будет прикладываться к стенкам токопроводящего цилиндра. Помимо этого, вступление алюминия в химическую реакцию с водой приводит к возникновению водорода, что в свою очередь также позволяет увеличить давление.

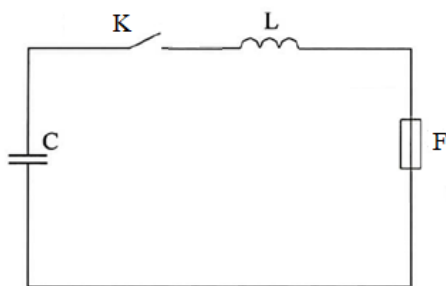


Рис. 3. Экспериментальная схема: С – емкостной накопитель энергии; L – катушка индуктивности; К – ключ; F – испытываемый проводник (проволока)

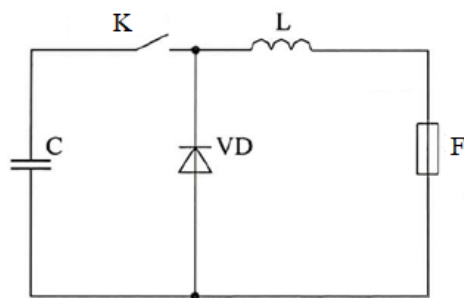


Рис. 4. Экспериментальная схема: С – емкостной накопитель энергии; L – катушка индуктивности; К – ключ; F – испытываемый проводник (проволока); VD – диод

#### Исходные данные для расчета

$D = 8$  мм – диаметр стержня, на который наматывается проволока;

$d = 1,6$  мм – диаметр проволоки;

$\rho = 8,9$  мм – шаг намотки;

$N = 9$  – количество витков;

$l_c = 192$  мм – длина намотки;

$\rho = 0,028$  Ом·мм<sup>2</sup>/м – удельное электрическое сопротивление алюминия;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная;

$\mu = 1$  – относительная магнитная проницаемость;

$L = 20$  мкГн – индуктивность катушки;

$C = 6,72$  Ф – емкость конденсатора;

$U_0 = 0 - 4000$  В – возможные значения напряжения.

*Теоретический расчет энергии и времени взрыва проводника*

По формуле (1) полная длина алюминиевой проволочки:

$$l = I_{cm} \pi \frac{D}{\rho} \quad (1)$$

По (2) площадь поперечного сечения алюминиевой проволочки:

$$S = \pi \frac{d^2}{4} \quad (2)$$

Сопротивление алюминиевой проволочки согласно (3):

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3)$$

Форма импульса кривой тока определяется по (4):

$$R^2 \frac{C}{L} \quad (4)$$

Так как выражение в (4)  $< 4$ , то импульс кривой тока имеет форму контура с докритическим затуханием.

По формуле (5) циклическая частота:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \times C}} \quad (5)$$

По (6) период:

$$T = 2 \frac{\pi}{\omega}. \quad (6)$$

График кривой импульса тока строится по следующей формуле (7):

$$I(t) = \frac{U_0 e^{\frac{-Rt}{2L}}}{\omega L} \sin(\omega t). \quad (7)$$

В случае если в цепи диод, график строится по формуле (8):

$$I(t) = \begin{cases} \frac{U_0 e^{\frac{-Rt}{2L}}}{\omega L} \sin(\omega t), t \leq t_m, \\ I_m e^{\frac{-R(t-t_m)}{L}}, t > t_m \end{cases}, \quad (8)$$

где  $t_m$  – время, при котором ток достигает максимального значения  $I_m$ .

Построение графиков интегралов действия токов по (9):

$$J(t) = \frac{1}{S^2} \int_0^t I(t)^2 \cdot dt. \quad (9)$$

Энергия

$$E = \int_0^{t_{взр}} I(t)^2 R \cdot dt. \quad (10)$$

Построенные графики для различных напряжений приведены на рис. 9. В точках 1, 3, 5 интегралы действия плотности тока достигают табличного значения электрического взрыва проводника для алюминия ( $1,8 \cdot 10^{17} \text{ A}^2 \cdot \text{с} / \text{м}^4$ ). Точки 2, 4, 6 соответствуют значениям токов, при которых будет происходить начало коммутационного процесса аппарата. Эти значения соответствуют напряжению зарядки конденсатора до 2500, 3000 и 3500 вольт. При других напряжениях электрического взрыва не произойдет.

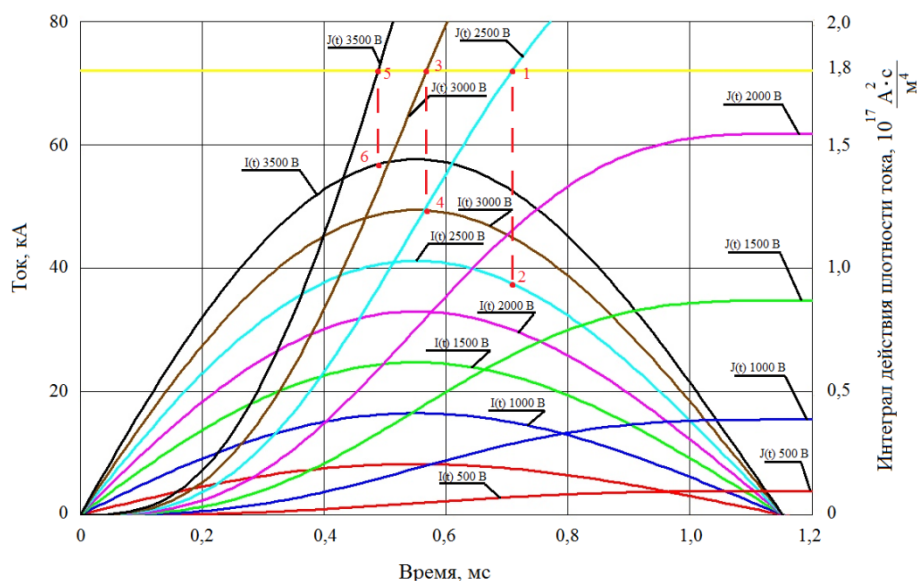


Рис. 5. График кривых импульса тока и интеграла действия плотности тока от времени

Анализируя графики, можно сделать вывод, что время взрыва для 2500 вольт составит  $t_{взр} = 0,7$  мс, энергии к этому моменту времени выделится в соответствии с (10)  $E = 5,41$  кДж.

Для 3000 вольт -  $t_{\text{взр}} = 0,57$  мс,  $E = 5,54$  кДж.

Для 3500 вольт  $t_{\text{взр}} = 0,49$  мс,  $E = 5,52$  кДж.

При зарядке конденсатора до больших значений время до взрыва проволочки увеличивается, но падает КПД, так как больше энергии будет уходить на создание дуги.

### Выводы

В данной статье были приведены конструкция и принцип работы разрабатываемого макета размыкателя постоянного тока с приводом на основе взрывающегося проводника. Рассмотрены различные типы размыкателей, а также проблемы гашения электрической дуги постоянного тока. За основу макета принят защитный размыкатель Pigobreaker.

Приведен теоретический расчет энергий и времени взрыва алюминиевого проводника. Данный расчет подтверждает возможность использования электровзрыва для разрывания цепи.

### Библиографический список

1. Чушанков Д. Ю., Шабалин Л. Д. Перспективы применения сети постоянного тока на судах рыбопромыслового флота // Вестник молодежной науки. 2018. № 4 (16). С. 1.
2. Garzon R. HV Circuit Breakers: Design and applications, Square D Co., Marcel Dekker, 1996. P. 129–222.
3. Клименко К. А., Басмановский М. А., Сержанский В. П. Способы гашения электрической дуги // Вестник науки и образования. 2016. № 12 (24). С.1.
4. Avanesov S., Manzuk M. The use of explosives in the drive of DC switching devices // Zavalishinsky readings: Sat. dokl. SPb.: SUAI, 2011. P. 25–30.
5. The 70 kA pyrobreaker for ITER magnet back-up protection Fusion Engineering and Design / M. Manzuk, S. Avanesov, A. Roshal et al. Vol. 88, Issues 9–10, October 2013. P. 1537–1540.

УДК 004.896:621.865

**В. А. Плиткин**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**С. А. Сериков** – доктор технических наук, доцент – научный руководитель

### МЕТОД ОДНОВРЕМЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ ВИДЕОПОТОКА

Метод одновременной локализации и построения карты SLAM (от англ. – *Simultaneous Localization and Mapping*) [1, 3] – это метод, который используется в мобильных автономных средствах для создания карты в пространстве или для ее обновления в заранее известном пространстве с одновременным контролем пройденного пути и текущего местоположения. На данный момент существующие подходы применяются в системах управления автомобилями с автопилотом, автономных подводных аппаратов, планетоходов, беспилотных летательных аппаратов, домашних роботов и даже внутри человеческого тела.

Обычно карты применяются для навигации или для определения положения в пространстве и для графического изображения карты местности. Они применяются для оценки подлинного местоположения путем записи информации, полученной от сенсорных устройств, и сопоставления его с текущим набором представлений.

Любые алгоритмы SLAM способны решать такие основные задачи, как: 1) получение информации от датчиков; 2) обработка данных и 3) отображение карты. После того как робот получает данные с помощью подходящих датчиков, начинается обработка входной информации. Общие алгоритмы обработки данных включают сглаживание, фильтрацию и подходы искусственного интеллекта. При работе с данными учитываются три типа неопределенностей, такие как модельная, алгоритмическая и вычислительная неопределенность. В представлении карты генерируется модель среды, а также траектория движения робота. Алгоритм представления карты и обработки данных взаимодействуют друг с другом для обеспечения основательных результатов.

Создание карты пространства является одной из важнейших задач при построении алгоритмов SLAM. Обычно в литературе встречаются шесть типов таких карт (рис. 1): 1) топологические карты; 2) карты признаков; 3) карты сетки; 4) гибридные карты; 5) карты внешнего вида; 6) семантические карты.



Рис. 1. Примеры представления карт: топологическая карта; семантическая карта; гибридная карта

Одна из наиболее крупных проблем навигации роботов в закрытых помещениях или в средах, где отключена GPS, является определения местоположения с использованием только имеющихся бортовых датчиков.

SLAM на основе признаков (*Feature-based SLAM*) [4] стал первым разработанным решением, предложенным для SLAM. Этот способ извлекает ориентиры или метки из окружающего пространства и сохраняет их список в виде карты. Преимущественно в функциональных решениях используются системы технического зрения, подводный гидролокатор (в случае водных роботов), иногда LIDAR.



Функции SLAM работают следующим образом: для расчета относительного движения датчика из последовательных кадров извлекаются метки и перекрестно сопоставляются. Данный процесс называется визуальной одометрией и применяется почти во всех функциональных алгоритмах.

SLAM на основе машинного зрения [2, 4] организован с использованием методов обработки стерео или монокулярных камер. Проводится анализ последовательности кадров и уже далее используется процесс расчета относительного передвижения видеосистемы.

Существует система SLAM, которая дистанционно вычисляет карту окружающей среды с использованием недорогой коммерческой воздушной платформы с ограниченной вычислительной мощностью. Эта система использует бортовую систему технического зрения на основе монокулярной камеры и лазерный высотомер, что позволяет улучшить результаты известных монокулярных визуальных SLAM-методов, которыми являются LSD-SLAM и ORB-SLAM.

Монокулярные системы LSD-SLAM [4, 5], работающие в режиме реального времени и осуществляющие 3D-реконструкцию, становятся все более популярными темами исследований. Они используются в робототехнике, в частности, для навигации беспилотных летательных аппаратов и приложения дополненной и виртуальной реальности, активно проникающие в массовый рынок. Преимуществом монокулярной системы SLAM является то, что она позволяет легко переключаться между навигацией в помещении и навигацией в уличных условиях.

ORB-SLAM [4, 6] – универсальное и точное решение SLAM для монокулярных и стереокамер. Этот метод способен вычислять в реальном времени траекторию камеры и разреженную 3D-реконструкцию, обнаруживать петли и определять положение камеры в реальном времени.

View-based SLAM [4], также называемый SLAM на основе местоположения, основан на использовании методов обработки данных с использованием лазерных сканирующих датчиков. При этом применяется процесс вычисления относительного движения лазерного дальномера после последовательных сканирований, который называется лазерной одометрией.

Метод навигации SLAM может быть эффективно применен для бортовой системы управления мобильным роботом на основе шасси Rover 5 [7]. В комплект имеющегося оборудования входит: шасси Rover 5, представляющее собой гусеничную платформу с двумя независимыми двигателями постоянного тока с энкодерами, одноплатный бортовой компьютер Raspberry Pi 3, камера, лазерный дальномер, интегрированный акселерометр и гироскоп (рис. 2).

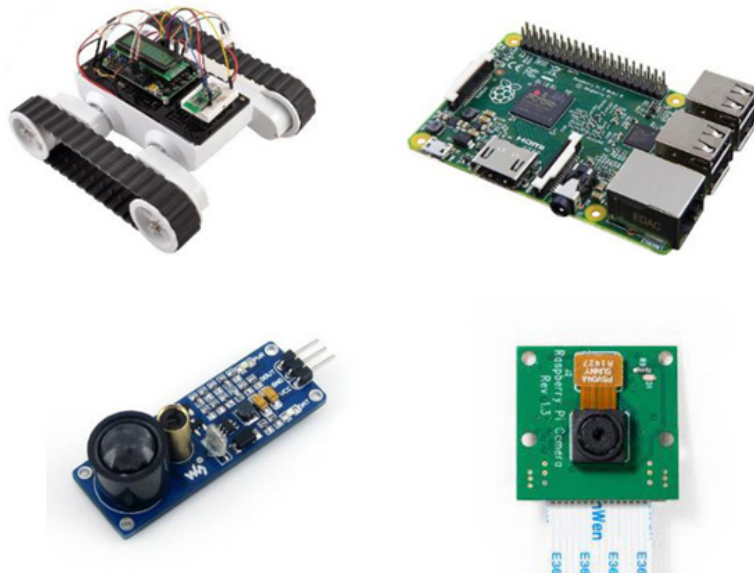


Рис. 2. Элементы системы навигации мобильным роботом на основе шасси Rover 5: Rover 5 Chassi; лазерный дальномер Камера Raspberry Pi 3

При помощи такого комплекта можно собрать полноценного мобильного наземного робота. В бортовой компьютер Raspberry Pi 3 можно загрузить систему LSD-SLAM, а камеру, лазерный дальномер и акселерометр присоединить к этому одноплатному компьютеру. Благодаря камере и двум датчикам (лазерный дальномер и акселерометр) можно использовать алгоритм SLAM на основе

сканирования, который будет определять местоположение робота, а в ходе движения робота LSD-SLAM – строить карту.

Существующие методы SLAM обеспечивают надежную навигацию для мобильных наземных роботов, беспилотных летательных аппаратов, автономных подводных аппаратов, однако проводятся исследования с целью увеличения скорости методов SLAM и разработки новых датчиков, обеспечивающих получение дополнительной информации об окружающей среде в помещении, на улице, на территории предприятия.

### Библиографический список

1. *Gonzalo P.* A Multi-Sensorial Simultaneous Localization and Mapping (SLAM). System for Low-Cost Micro Aerial Vehicles in GPS-Denied Environments. URL: <https://goo-gl.su/uDU5> (дата обращения: 17.01.2020).
2. *Lemaire T., Berger C.* Vision-Based SLAM: Stereo and Monocular Approaches. URL: <https://goo-gl.su/UKKv> (дата обращения: 09.02.2020).
3. SLAM. URL: <https://goo-gl.su/VFC1> (дата обращения: 23.12.2019).
4. *Saeedi S., Trentini M., Seto M.* Multiple-robot Simultaneous Localization and Mapping – A Review. URL: <https://goo-gl.su/R6Eх6o56> (дата обращения: 23.12.2019).
5. *Engel J.* LSD-SLAM: Large-Scale Direct Monocular SLAM. URL: <https://goo-gl.su/s3TtowZI> (дата обращения: 17.01.2020).
6. *Mur-Artal R., Tardós J., Montiel J.* URL: <https://goo-gl.su/TtNI4> (дата обращения: 23.12.2019).
7. *Rover D.* 5 Tracked Chassis with Encoders. URL: <https://goo-gl.su/MyIvLr6> (дата обращения: 18.12.2019).

УДК 62-519

**Д. Е. Попков**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**А. В. Городецкая**

студентка кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов

**А. А. Мартынов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ПОМОЩИ WIRELESS BRIDGE

Разработка большинства мобильных робототехнических устройств подразумевает решение ряда вопросов, связанных с обеспечением стабильного канала связи между оператором робота и самим устройством. В качестве канала связи может выступать как проводное соединение – LAN (от англ. *Local Area Network* – локальная сеть), так и беспроводное – WLAN (от англ. *Wireless Local Area Network* – беспроводная локальная сеть). Для обеспечения максимальной мобильности робототехнических платформ удобно использовать именно WLAN сети. Одним из самых распространенных стандартов беспроводных сетей является Wi-Fi.

Передача видеопотока по беспроводным сетям требует стабильного соединения. В противном случае возникают задержки изображения либо потеря кадров. Особенно актуальна данная проблема для устройств, управление которыми осуществляется непосредственно оператором, находящимся на расстоянии от устройства и не имеющим непосредственного визуального контакта с ним. В подобных случаях оператору необходимо получать как можно более стабильный видеопоток с минимальными задержками, так как изображение с камер, установленных на робототехнической платформе, – это единственный источник визуальной информации об окружающем робота пространстве.

Для решение подобных задач необходимо использовать специализированное оборудование, которое позволит обеспечить нужные параметры беспроводной сети, например Bullet M5HP. Данная модель позволяет осуществлять беспроводное соединение между оператором и роботом на расстоянии свыше 50 км (расстояние зависит от используемой антенны и местности). Помимо этого, данная модель работает на частотах, близких к 5ГГц. Данная особенность полезна в случае наличия множества Wi-Fi сетей в месте применения робота. Поскольку в этом случае возникает зашумленность частот, близких к 2,4ГГц, – именно эти частоты используются в большинстве потребительских устройств (мобильные телефоны, телевизоры и прочая техника массового использования).

Для применения Bullet M5HP в разрабатываемой мобильной робототехнической платформе необходимо выяснить влияние параметров питающей сети (в данном случае – литий-ионных аккумуляторов) на стабильность беспроводного соединения с оператором.

Оценка этого влияния происходила при помощи схемы, изображенной на рис. 1.

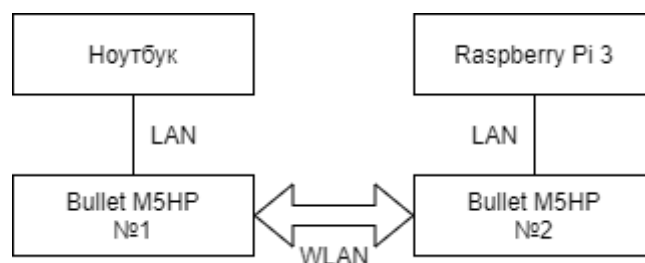


Рис. 1. Схема подключения устройств для оценки влияния параметров питающей сети на беспроводное соединение

Напряжение питающей сети регулируется при помощи лабораторного блока постоянного напряжения. В качестве нагрузки на беспроводную сеть использовался видеопоток с мини-компьютера Raspberry Pi 3, который при помощи WLAN соединения передавался на ноутбук и вос-

производился на нем в режиме реального времени. В табл. 1 представлены временные задержки между кадром на Raspberry Pi 3 и тем же кадром, воспроизведенном на ноутбуке. Стоит отметить, что в эту задержку включены также задержки на этапах обработки кадра в Raspberry Pi 3 и на ноутбуке. Расстояние между Bullet M5HP № 1 и Bullet M5HP № 2 составляет примерно 20 м. Напряжение питания выбиралось из технических характеристик Bullet M5HP, согласно которым для стабильной работы ему необходимо 12 В постоянного напряжения [1]. Средняя скорость передачи составляла 4,8 Мбит/с.

Таблица 1

**Результаты измерения задержек при передаче кадров  
в зависимости от напряжения питающей Bullet M5HP № 2 сети**

Напряжение источника питания, В	12	11.5	11	10.5	10	9.5	9	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5
Средняя задержка, мс	153	152	151	150	155	154	153	152	150	150	154	156	159	173	187	-
Наблюдалось ли искажение изображения	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+

Как видно из табл. 1, Bullet M5HP позволяет осуществлять достаточно стабильное беспроводное соединение даже при просадке напряжения на аккумуляторах, которое неизбежно возникает во время пиковых нагрузок. Потеря кадров и искажение получаемого изображения наблюдалось лишь при 6,5 В. При 4,5 В произошел разрыв соединения и перезагрузка Bullet M5HP № 2. Стоит отметить, что данная проблема актуальна только при создании бюджетной мобильной робототехнической платформы небольших размеров. Так как стабильное питание легко можно обеспечить в случае разработки или использования специализированных схем электрораспределения и предварительного детального, а не общего расчета всех возможных нагрузок на питающую сеть.

#### Библиографический список

1. Bullet M5HP Quick Start Guide. URL: [https://dl.ubnt.com/datasheets/bulletm/bm\\_ds\\_web.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/bulletm/bm_ds_web.pdf) (дата обращения: 22.02.2020).

УДК 621.389

**Д. Е. Попков**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**А. В. Городецкая**

студентка кафедры проблемно-ориентированных вычислительных комплексов

**А. А. Мартынов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Одним из ключевых этапов разработки любого оборудования является разработка его электрической схемы. Согласно ГОСТ 2.702-2011 электрическая схема – это документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, действующие при помощи электрической энергии, и их взаимосвязи. Существует несколько типов электрических схем [1]:

- 1) структурная, определяющая основные функциональные части устройства, их взаимосвязи и назначение;
- 2) функциональная, поясняющая процессы, протекающие в отдельных цепях устройства или устройстве в целом;
- 3) принципиальная (полная), определяющая состав элементов и их взаимосвязи и дающая детальное представление о принципах работы устройства;
- 4) соединений (монтажная), показывающая соединения частей устройства и определяющая элементы, которыми осуществляются эти соединения, а также места их ввода и вывода;
- 5) подключения, показывающая внешние подключения устройства;
- 6) общая, определяющая составные части устройства и соединения их между собой на месте эксплуатации;
- 7) расположения, определяющая относительное расположение составных частей устройства, а также элементов, которыми осуществляются эти соединения;
- 8) объединенная, содержащая элементы различных типов схем одного вида.

В процессе разработки мобильной робототехнической платформы для обслуживания труднодоступных технических помещений и инженерных коммуникаций (далее – МРП) определен следующий перечень элементов, использующих электрическую энергию: управляющий мини-компьютер Raspberry Pi 3; плата расширения для Raspberry Pi 3, генерирующая ШИМ-сигнал для управления сервоприводами (далее – СП) и двигателями постоянного тока (далее – ДПТ); камера «рыбий глаз» для Raspberry Pi; драйверы для ДПТ; плата для распределения питания; преобразователь постоянного напряжения 24 В в постоянное напряжение 6 В; сборка из литий-полимерных аккумуляторов 24В; модуль Wi-Fi связи – Bullet M5; СП MG-995; ДПТ.

Согласно электрической схеме, изображенной на рис. 1, у разрабатываемой МРП питание электроники происходит благодаря двум контурам постоянного напряжения – 6 В и 24 В. Необходимость этого обусловлена техническими характеристиками модуля Bullet M5, в которых указано, что данная модель может потреблять до 6 Вт мощности. Иными словами, при питании 24 В ток в цепи питания модуля может достигать 0,25 А, а для напряжения питания 12 В – 0,5 А. Высокие значения тока ведут к выделению тепла (выделяемая мощность пропорциональна квадрату тока) как в проводниках, так и в источнике питания – аккумуляторе, что является нежелательным, так как принудительная система охлаждения потребует дополнительного места. Помимо этого, несмотря на наличие фильтров в цепи питания, возможны кратковременные просадки напряжения в моменты начала работы ДПТ или сервоприводов. Следовательно, при питании от 12 В возможны ситуации, когда кратковременная просадка напряжения на входе модуля Bullet M5 приведет к сбою в его работе и потере связи оператора с МРП.

Функциональные элементы схемы работают следующим образом:

- 1) после подачи питания на функциональные элементы МРП происходит начальная инициализация – запускается операционная система мини-компьютера и модуль Wi-Fi;
- 2) оператор в режиме реального времени при помощи канала Wi-Fi, работающего на частоте 5 ГГц, дистанционно подключается к мини-компьютеру и запускает управляющую программу;

3) управляющая программа переводит СП в начальное положение, проводит инициализацию драйверов ДПТ и начинает трансляцию изображения с камеры через канал Wi-Fi на экран компьютера оператора;

4) получив изображение, оператор может включить режим автономного движения по линии; взять управление на себя и начать движение при помощи джойстика;

5) после получения команды на движение либо от оператора, либо от подпрограммы, отвечающей за автономное движение, мини-компьютер передает управляющий сигнал плате расширения, которая в свою очередь генерирует ШИМ-сигнал для СП и драйверов ДПТ.

Реализация подобной электрической схемы является легко реализуемой задачей ввиду доступности и невысокой стоимости ее компонентов, а также большому количеству литературы, посвященной работе с каждым из них.

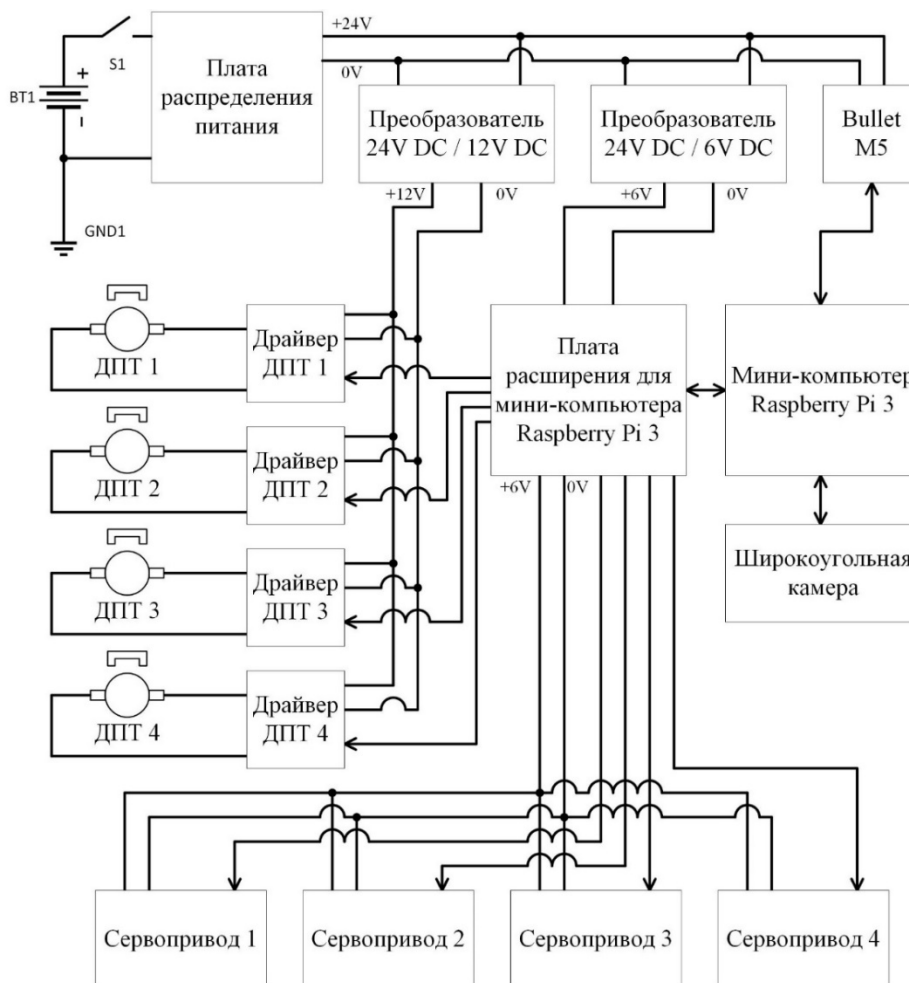


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема МРП

### Библиографический список

- ГОСТ 2.702-2011 Правила выполнения электрических схем М.: Стандартинформ, 2011. 28 с.

УДК 621.926

**В. А. Потапов\***

аспирант

**С. И. Русан\***

кандидат технических наук, доцент

**Л. А. Сиваченко\*\***

доктор технических наук, профессор

\*Учреждение образования «Барановичский государственный университет»

\*\*Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет»

## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЦЕПНЫХ ВИБРОУДАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Процесс переработки сырьевых материалов (мел, мергель, карьерная глина, доломиты, трепел, торф) сопряжен с определенными трудностями, обусловленными свойствами перерабатываемого материала, главным образом адгезией влажных материалов к рабочим поверхностям технологических машин, а также их пористо-капиллярной структурой.

При работе с влажными налипающими материалами в первую очередь требуется устранить наложения и забивания рабочих органов исходной сырьевой массой. Это можно осуществить различными способами. Одним из них является выполнение рабочей камеры и измельчающих органов, совмещенными между собой, например, в виде подвижного цепного полотна с зубчатыми элементами.

Такое техническое решение исключает поломку рабочего оборудования и налипание материала на элементы конструкции.

С учетом вышеперечисленных особенностей предложена конструкция многоцелевого цепного агрегата.

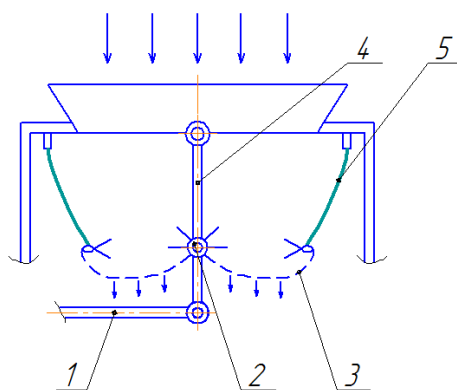


Рис. 1. Схема рабочего оборудования цепного агрегата: 1 – шатун; 2 – толкающая штанга; 3 – цепное полотно; 4 – маятниковый рычаг; 5 – эластичные стенки

Основу конструкции составляют полотна цепных завес 3, которые образуют двухлотковую рабочую камеру и оснащены активизаторами процесса в виде ножей. Подвешенные на толкающей штанге 2 и маятниковом рычаге 4 цепные завесы под действием кривошипно-шатунного привода совершают колебательные перемещения.

Работа маятниковых рычагов 4 в режиме простой качательной системы позволяет минимизировать энергетические затраты на обеспечение заданных колебаний этой рычажной конструкции, так как для этого необходимо преодолевать только трение в зонах подвеса рычагов и инерционные силы, обусловленные массой колеблющихся частей агрегата вместе с перерабатываемым материалом.

Основные подходы проектирования виброударных цепных агрегатов представлены в виде структурной схемы.



Рис. 2. Структурная схема проектирования виброударного цепного агрегата

При проектировании виброударных цепных агрегатов учитывают физико-механические свойства материалов, а на основании перерабатываемого материала определяют силовые и энергетические параметры с определением оптимальных кинематических параметров и конструктивных параметров, которые в конечном итоге влияют на производительность и степень переработки.

Особенностью проектирования подобных агрегатов является то, что некоторые рабочие органы сложно описать с помощью математической модели в виду сложности процессов, происходящих при переработке материала.

При рассмотрении кинограммы процесса движения рабочих органов (рис. 4), цепное полотно и эластичная стенка совершают хаотичные движения, которые обусловлены частотой и амплитудой колебаний толкающей штанги, а также степенью загрузки и равномерности распределения материала в рабочей камере.



Рис. 3. Кинограмма процесса движения рабочих органов виброударного цепного агрегата (рабочая камера не загружена)



Измельчение загруженного материала осуществляется преимущественно при помощи ножей, расположенных в рабочей камере, а также за счет ударного характера движения звеньев цепного полотна и толкающей штанги.

Для проведения полномасштабных экспериментов нами разработан опытный образец.



Рис. 4. Общий вид опытного образца цепного агрегата [1]

Спроектированное оборудование позволяет относительно быстро заменять рабочие органы в зависимости от перерабатываемого материала, что дает возможность проводить целый ряд поисковых экспериментов с различными материалами.

Потенциально новый класс оборудования может заменить с большей степенью эффективности работы глинорыхлители, барабанные и плоские грохоты, камневыделительные вальцы, роторные, молотковые дробилки и дезинтеграторы для мягких пород и карьерных сырьевых материалов, распушители для волокнистого сырья, комбинированные агрегаты многоцелевого назначения и многие другие виды технологических машин.

#### Библиографический список

1. Сиваченко Л. А., Потанов В. А., Сиваченко Т. Л. Многофункциональный технологический агрегат с цепным рабочим оборудованием // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: материалы междунар. науч.-техн. конф. Белгород, 20–21 сентября, 2018 г. / БГТУ им. В. Г. Шухова, 2018. С. 210–215.

УДК 004.056

**Л. М. Пьянкова**

студентка кафедры технологий защиты информации

**С. В. Беззатеев** – доктор технических наук, доцент – научный руководитель**АНАЛИЗ МЕТОДОВ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ**

В современном мире большая часть информации хранится на электронных устройствах и из-за этого появляется угроза несанкционированного доступа к информации. Чтобы предотвратить ее утечку, необходимо ограничить доступ третьим лицам. Для этого желательно использовать различные методы аутентификации. Рассмотрим перспективное направление аутентификации – биометрическую. Биометрическая аутентификация представлена масштабным сегментом на рынке систем безопасности, который обладает высоким потенциалом. Почти каждое новое устройство биометрической идентификации может воспользоваться новыми принципами и алгоритмами работы.

В настоящее время существуют два класса биометрической аутентификации: статистический метод и динамический метод.

К статистическому методу аутентификации относятся:

- дактилоскопия (отпечаток пальца);
- радужная оболочка глаза;
- геометрия руки;
- 2D- и 3D-распознавание лица;
- рисунок вен.

К динамическому методу аутентификации относится:

- голос;
- рукописный почерк;
- клавиатурный почерк.

Проводить анализ будем при помощи статистических методов аутентификации. Для определения эффективности системы контроля и управления доступа (СКУД) на основе биометрических данных используются показатели:

- FAR – коэффициент ложного пропуска;
- FRR – коэффициент ложного отказа.

Обе характеристики получаются при помощи расчета на основе методов математической статистики. Чем ниже эти показатели, тем точнее распознавание объекта.

В табл. 1 приведены средние значения FAR и FRR для основных методов биометрической аутентификации:

Таблица 1

**Сравнительный анализ основных методов биометрической аутентификации**

Биометрический СКУД использует	FAR, %	FRR, %
Дактилоскопия (отпечаток пальца)	0,001	0,6
Распознавание 2D лица	0,1	2,5
Распознавание 3D лица	0,0005	0,1
Радужная оболочка глаза	0,00001	0,016
Рисунок вен	0,0008	0,01

Благодаря анализу в табл. 1 [1] можно выделить преимущества и недостатки данных методов аутентификации.

К сожалению, несмотря на некоторые преимущества биометрической аутентификации, нельзя забывать о возможности фальсификации биометрических данных. Для некоторых данных это до-

вольно сложный процесс, который требует должного оборудования и специальной подготовки. Если подделать радужную оболочку глаза и рисунок вен, скорее всего, невозможно, то отпечаток пальца вполне возможно.

Таблица 2 [2]

### Преимущества и недостатки биометрических аутентификаций

	Преимущества метода	Недостатки метода
Дактилоскопия (отпечаток пальца)	Низкая стоимость сканирующих устройств, простота процедуры	Высокая степень отказа, зависимость от внешних воздействий, возможность подделки
Распознавание 2D и 3D лица	Отсутствие необходимости контакта со сканирующим устройством. Низкая чувствительность к внешним факторам. Высокий уровень надежности	Дорогое оборудование. Изменения мимики могут ухудшить статистическую надежность метода
Радужная оболочка глаза	Надежность алгоритма, защита объекта от повреждений и подделок	Высокая цена, низкая доступность готовых решений
<i>Рисунок вен</i>	Отсутствие необходимости контактировать со сканирующим устройством. Высокая достоверность	Недопустима засветка сканера солнечными лучами. Некоторые возрастные заболевания

Таким образом, можно прийти к выводу, что спектр использования биометрических данных с каждым годом расширяется. Ряд биометрических технологий находятся в стадии разработки для улучшения биометрической аутентификации и снижения их стоимости для вывода на промышленный рынок. Поэтому в скором времени биометрическая аутентификация выйдет на новый уровень и станет более доступной для повседневного использования.

### Библиографический список

1. Биометрическая идентификация URL: [http://www.techportal.ru/glossary/biometricheskaya\\_identifikaciya.html](http://www.techportal.ru/glossary/biometricheskaya_identifikaciya.html) (дата обращения: 24.02.2020).
2. Сабанов А.Г., Смолина С. Г. Сравнительный анализ методов биометрической идентификации личности // Труды ИСА РАН. Т. 66. 3/2016.

УДК 621.3

**Д. А. Резанов**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**О. Б. Чернышева** – старший преподаватель – научный руководитель

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГАЗОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК

Для большинства промышленных предприятий существуют общие проблемы энергообеспечения – это ограничение мощности со стороны местных энергосетей, завышенные тарифы на тепло- и электроэнергию, низкое качество и надежность энергоснабжения [1]. Особенно от этого страдают энергоемкие производства. Поэтому предприятия, работающие на перспективу, все чаще идут по пути создания собственного энергоцентра: газотурбинной, газопоршневой и других видов автономных электростанций. В рамках данной статьи рассматривается газотурбинная электростанция (ГТЭС), расположенная на территории череповецкой площадки «ФосАгро». Возможности новой ГТЭС позволяют в 2,5 раза снизить удельные затраты энергии в расчете на 1 тонну производимой продукции.

Газотурбинная установка представляет собой агрегат, состоящий из газотурбинного двигателя, редуктора, генератора и вспомогательных систем. В компрессор газотурбинного силового агрегата подается чистый воздух. Под высоким давлением воздух из компрессора направляется в камеру сгорания, куда подается и основное топливо – газ. Смесь воспламеняется. Газотурбинные установки (ГТУ) имеют единичную электрическую мощность от двадцати киловатт (микротурбины) и до нескольких десятков мегаватт – это классические газовые турбины. Электрический КПД современных газотурбинных установок составляет 33–39 %. Но с газотурбинными установками значительно упрощается задача получения высокой мощности электростанции. С учетом высокой температуры выхлопных газов в мощных газотурбинных установках имеется возможность комбинированного использования газовых и паровых турбин.

Режим работы электростанции с использованием сопутствующей тепловой энергии имеет свой технический термин – когенерация. ГТУ отличаются высокой надежностью и неприхотливостью. Отсутствие водяного охлаждения выгодно отличает газотурбинные установки от поршневых электростанций.

Одним из вариантов применения ГТУ является концепция блочно-модульных систем (кластеров). Размеры модулей ГТУ, как правило, стандартны. Автоматизированные системы управления газотурбинной электростанции позволяют отказаться от непосредственного присутствия обслуживающего персонала. Мониторинг работы ГТУ может осуществляться удаленно через различные телекоммуникационные каналы.

В ГТУ многоступенчатый компрессор сжимает атмосферный воздух и подает его под высоким давлением в камеру сгорания. В камеру сгорания ГТУ подается и определенное количество топлива. Работа, потребляемая этим агрегатом, является полезной работой ГТУ. Отработавшие газы направляются в утилизатор для получения тепловой энергии.

Одним из самых эффективных видов электростанций является газотурбинная электростанция. Газотурбинная электростанция (ГТЭС) представляет собой сложный комплекс силовых агрегатов, генерирующих электричество и тепловую энергию. При этом вырабатывается не только электричество, но и тепловая энергия, что является выгодным экономичным моментом [2]. Пример ГТЭС представлен на рис. 1. рассматриваемая газотурбинная электростанция на предприятии «ФосАгро-Череповец» размещена на производственной площадке предприятия и параллельно включена в местную энергосистему «Вологдаэнерго». Заводская электростанция создана на основе газотурбинной установки LM 2500+G4 мощностью 32 МВт (GE Energy). Паровой котел-утилизатор мощностью 50 МВт производства Varog (Финляндия) оснащен дожигающей горелкой и производит пар для новой линии по производству карбамида (с параметрами  $P = 3,9$  МПа,  $T = 370$  °С). В качестве топлива используется природный газ.

Подготовку и подачу топливного газа в турбину энергоблока под необходимым рабочим давлением обеспечивает дожимная компрессорная установка (ДКУ) Enerproject марки EGSI-S-

100/700WA производительностью 10 тыс.  $\text{нм}^3/\text{ч}$ . Ввод ДКУ в эксплуатацию осуществила российская компания «ЭНЕРГАЗ» (швейцарская промышленная группа ENERPROJECT).

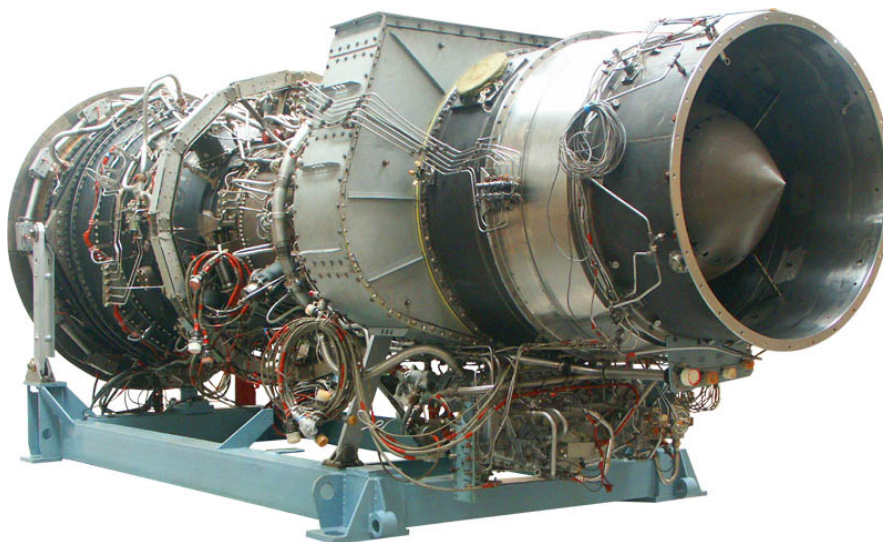


Рис. 1. Газотурбинная установка

При проектировании электростанции применены различные решения по размещению оборудования. В основе комплекса – современное легко сборное армированное здание с нормированной площадью остекления, с применением сэндвич-панелей. В нем размещается основное генерирующее оборудование, системы водоподготовки и деаэрации, система управления ГТЭС, диспетчерский зал, РУ-10 кВ, автономные энергоисточники и т. д. Котел-утилизатор с системой дожигающих горелок расположен на площадке в непосредственной близости к главному корпусу. Прочее оборудование станции: газораспределительный пункт (высокого и низкого давления), дожимной компрессор топливного газа, система контроля выбросов, АВО систем охлаждения – смонтировано в отдельных модулях.

Основным оборудованием ГТЭС является газовая турбина. Двухвальная турбина LM 2500+G4 DLE (RD-MGD) простого цикла состоит из газогенератора и свободной силовой турбины. Мощность с вала силовой турбины передается на электрогенератор с горячей стороны двигателя с помощью гибкого соединения, вал которого проходит через туннель внутри выхлопного коллектора.

Газогенератор включает 17-ступенчатый компрессор (степень повышения давления 22) с поворотными направляющими лопатками, одиночную кольцевую камеру сгорания с сухой системой подавления выбросов  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  (система DLE), турбину высокого давления, устройства управления и вспомогательное оборудование. Силовая турбина – 6-ступенчатая, низкого давления, частота вращения 3600 об./мин. Силовая турбина аэродинамически соединена с газогенератором, приводится в движение выхлопными газами газогенератора. Двигатель имеет электрогидравлическую систему запуска.

Энергоблок включает в себя двухполюсный генератор с водяным охлаждением на 10,5 кВ с промышленной частотой 50 Гц. Генератор оборудован бесщеточной системой возбуждения с постоянным магнитом.

Звукоизолированный корпус для отсека турбины обеспечивает снижение шума в среднем до 90 дБ при работе на номинальной нагрузке (на расстоянии 1 м от блока, на открытом пространстве, на высоте 1,5 м от уровня фундамента). Весь отсек турбины имеет принудительную вентиляцию. Для получения большей надежности предусмотрен резервный вентилятор.

Газовая турбина также оснащена модульной многоступенчатой фильтрационной системой, состоящей из козырьков для защиты от непогоды, входных экранов и окончателного заграждающего фильтра. Воздух для системы вентиляции отсека турбины фильтруется до того же уровня, что и для самой турбины. Отфильтрованный воздух, прежде чем попасть на вход турбины, проходит через шумоглушитель.

Энергоблок снабжен топливной системой для природного газа. Регулятор расхода топлива имеет электронное управление. Для работы на полной мощности газообразное топливо должно подаваться на вход в топливный модуль под давлением  $3586 \pm 138$  кПа. Минимальная температура топлива должна быть на  $28$  °C выше точки росы. Дополнительно перед турбиной установлен дуплексный фильтр топливного газа и хроматограф.

Энергоблок снабжается двумя отдельными масляными системами: синтетического масла для газовой турбины и минерального масла для основного редуктора и генератора. Бак синтетического масла выполнен из нержавеющей стали, бак минерального масла – из углеродистой стали со специальным окрашиванием. Каждая масляная система имеет дублированные фильтры, один трубчатый теплообменник и управляемые термостатом электрические обогреватели. Основные системы синтетического масла расположены внутри отсека турбины, а сам бак находится сбоку от корпуса энергоблока на раме вместе с системой гидравлического старта. Система минерального масла представляет собой единый модуль, установленный над баком минерального масла, что обеспечивает компактность, а также сокращает время монтажа и связанные с этим расходы.

Для обеспечения надежности работы ГТУ используется система управления, включающая программируемые контроллеры, цифровые счетчики и цифровой модуль релейной защиты генератора. Для передачи данных о состоянии энергоблока (статус, давление, температура и т. д.) в систему управления верхнего уровня можно использовать стандарты передачи данных Ethernet TCP/IP EGD или RS485 ModbusPort. Питание на систему управления подается от специальной системы 24 В постоянного тока, включающей аккумуляторные батареи и два зарядных устройства по 100 % требуемой мощности каждый.

Энергоблок снабжается микропроцессорным модулем релейной защиты генератора, установленным в панели управления турбиной, которая включает все необходимые для защиты функции.

Электрическая часть собственных нужд ГТЭС включает:

- щиты управления вспомогательным оборудованием ГТЭС;
- сеть постоянного тока и систему бесперебойного питания;
- трансформаторы собственных нужд;
- щиты управления приводами и устройствами ГТУ напряжением 0,4 кВ;
- щиты вентиляции, освещения и прочих систем обеспечения здания.

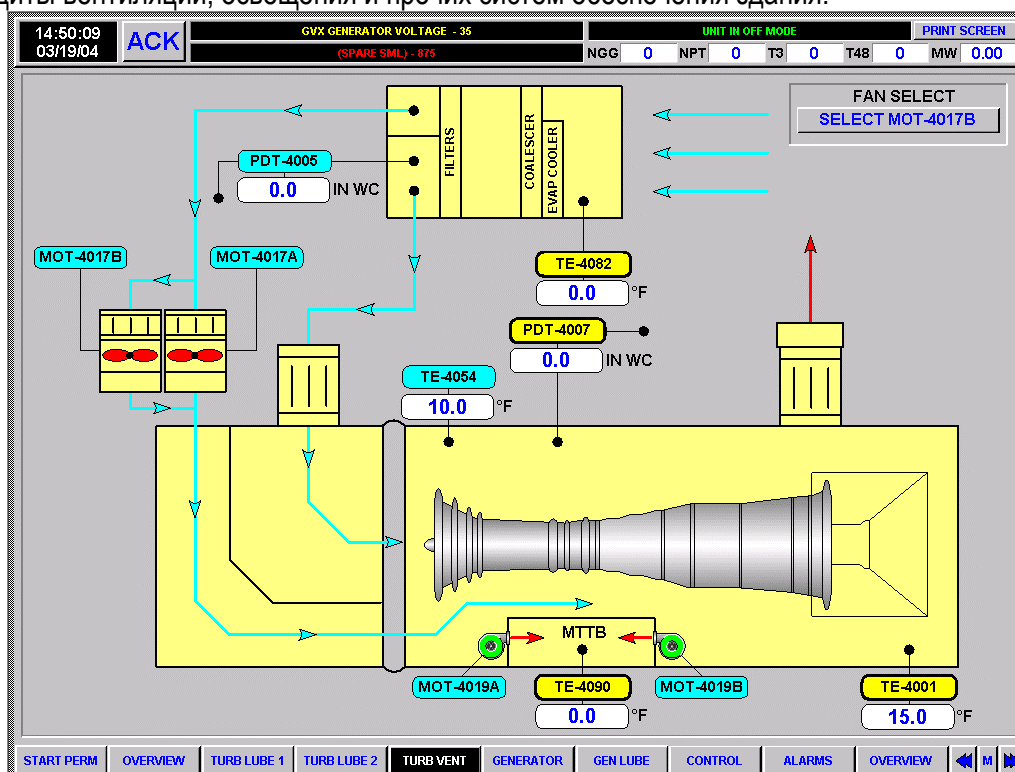


Рис. 2. Система вентиляции и подачи воздуха

На станции смонтирована дожимная компрессорная установка EGSI-S-100/700 WA производства Enerproject SA (Швейцария). Дожимная компрессорная установка (ДКУ) предназначена для повышения давления топливного газа и подачи его в турбину. Производительность установки составляет 10 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Компрессорная установка предназначена для непрерывного режима интенсивного применения. При надлежащей эксплуатации и обслуживании наработка агрегатов на отказ составляет более 14 тыс. ч.

Оснащение современного производства передовой газотурбинной электростанцией, работающей в когенерационном цикле, значительно повышает надежность энергоснабжения предприятия, качество получаемой заказчиком энергии и вносит существенный вклад в повышение рентабельности производства. Применение в ГТУ малоэмиссионных технологий сжигания топлива позволяет до минимума снизить вредное воздействие станции на окружающую среду.

Система вентиляции и подачи воздуха газотурбинной установки (рис. 2) состоит из двух асинхронных двигателей мощностью и обозначенных на схеме как MOT4017A и MOT 4017B. Двигатели через клиноременную передачу приводят во вращение лопасти вентиляторов, которые предназначены для подачи отфильтрованного свежего воздуха в отсек турбины с номинальной скоростью 991 станд. куб. м/мин для ее охлаждения. Один из двигателей является основным, а другой дополнительным (выбирается в программе управления).

Количество подаваемого воздуха определяется температурой внутри установки. Сигнал с датчиков температуры поступает в АСУ газотурбинной установки, а затем на устройства управления пуском двигателей вентиляторов. Резервный вентилятор включается в работу автоматически при достижении установленных параметров температуры программы.

Важным аспектом количественной оценки надежности ГТУ является оценка качества его работы, в частности, коэффициент готовности. Данный коэффициент представляет собой вероятность работоспособности ГТУ в периоды между остановами на плановые ремонты и обслуживание. Также надежность оценивается при помощи коэффициента технического использования – вероятности работоспособности ГТУ в течение заданного календарного времени. Согласно установленным нормам перечисленные выше коэффициенты равны 0,98 и 0,92 соответственно [3]. При эксплуатации ГТУ необходимо, чтобы запуск всех газотурбинных установок был удачным. Для такой оценки используются коэффициент безотказности пусков и коэффициент наработки на запуск. Первый определяет долю удачных пусков к общему их числу, а второй равен времени работы на один удачный пуск.

Можно сказать, что строительство газотурбинных электростанций малой мощности является в настоящий момент активно развивающимся направлением распределенной энергетики. Использование таких электростанций позволит получить значительную экономию средств за счет исключения издержек на строительство и эксплуатацию протяженных линий электропередач, а также повысить надежность электрического и теплового снабжения как отдельных предприятий и организаций, так и территорий в целом

### Библиографический список

1. Промышленные и отопительные котельные и мини-ТЭЦ № 2, 2018. URL: [https://aqua-therm.ru/obzor-rynka/obzor-rynka\\_24.html](https://aqua-therm.ru/obzor-rynka/obzor-rynka_24.html) (дата обращения: 08.02.2020).
2. Вестник ПНИПУ. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-voprosah-primeneniya-gazoturbinnih-ustanovok-i-parogazovyh-ustanovok-v-energetike/viewer> (дата обращения: 10.02.2020).
3. Эксплуатация газотурбинных установок. URL: [http://www.gigavat.com/gtu\\_using.php](http://www.gigavat.com/gtu_using.php) (дата обращения: 11.02.2020).

УДК 621.9:681.513.2

**А. И. Семенов**

студент кафедры управления в технических системах

**А. А. Ефимов** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

### ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ И НЕСИНУСОИДАЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ СЕТИ

Проектирование классической системы активного выпрямителя напряжения (АВН) подразумевает генерирование напряжения сети идеальной формы. Хотя действительные значения питающего напряжения могут иметь фазовую и амплитудную несимметрию, а также им свойственна несинусоидальность. Такое влияние может вызвать снижение коэффициента мощности и создать низкочастотные пульсации напряжения на выходе выпрямителя [1].

Причины несимметричных режимов в электрических сетях заключаются в различающихся нагрузках в разных фазах и в неполнофазной работе элементов в сети.

В случае несимметричного режима в сети возникают напряжения и токи обратной и нулевой последовательности, которые приводят к потерям мощности.

Показателем несимметрии напряжений в трехфазных сетях является коэффициент несимметрии по обратной и нулевой последовательностям, но поскольку в трехпроводных сетях нет нулевой последовательности токов, то коэффициент обратной последовательности напряжений определяется соотношением:

$$K_2 = (U_2 / U_1) \cdot 100\% , \quad (1)$$

где  $U_2$  – действующее значение фазного напряжения обратной последовательности основной частоты;  $U_1$  – действующее значение фазного напряжения прямой последовательности основной частоты. Допустимые значения данного коэффициента должны лежать в пределах от 2 до 4 %.

В случае несимметрии питающего напряжения активная мощность рассчитывается по формуле:

$$P = U_{cA} I_{cA} \cos(\varphi_A) + U_{cB} I_{cB} \cos(\varphi_B) + U_{cC} I_{cC} \cos(\varphi_C) . \quad (2)$$

где  $U_{cA}$ ,  $U_{cB}$ ,  $U_{cC}$ ,  $I_{cA}$ ,  $I_{cB}$ ,  $I_{cC}$  – действующие значения фазных напряжений и токов сети.

Полную мощность, характеризующую максимальную активную мощность, можно получить от питающей сети при заданных действующих значений ее фазных напряжений и токов [2, 3]:

$$S = U_{cA} I_{cA} + U_{cB} I_{cB} + U_{cC} I_{cC} . \quad (3)$$

Возникновение несинусоидальности напряжения сети обусловлено несинусоидальными падениями напряжений в сопротивлениях питающей сети при протекании несинусоидальных токов. То есть любое электрооборудование с нелинейной вольт – амперной характеристикой способно создать искажение питающего напряжения. При несинусоидальности напряжения сети снижается коэффициент мощности и повышается уровень пульсаций напряжения на нагрузке.

Коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей является качественным показателем несинусоидальности напряжений сети в трехфазных трехпроводных сетях и может быть вычислен по формуле [4]:

$$K_{u(n)} = (U_n) / U_{(1)} , \quad (4)$$

где  $U_{(n)}$  – действующее значение  $n$ -ой гармоники напряжения.

Задача управления заключается в компенсации влияния рассматриваемой неидеальности сети: минимизация напряжения на выходе выпрямителя при наибольшем коэффициенте мощности; компенсация уменьшения коэффициента мощности.

С целью компенсации несимметрии рассматривается метод формирования несимметричных фазных токов с минимизацией пульсаций выпрямленного тока  $i_d$  на нагрузке. В данном методе текущие фазные токи имеют только прямую последовательность и характеризуются системой уравнений [5]:



$$\begin{aligned}
i_{cA}(\theta) &= (\sqrt{2})I_1 \sin(\theta + \varphi_{u1}) + (\sqrt{2})I_2 \sin(\theta + \varphi_{u2} + \pi); \\
i_{cB}(\theta) &= (\sqrt{2})I_1 \sin(\theta - 2\pi/3 + \varphi_{u1}) + (\sqrt{2})I_2 \sin(\theta - 4\pi/3 + \varphi_{u2} + \pi); \\
i_{cC}(\theta) &= (\sqrt{2})I_1 \sin(\theta - 4\pi/3 + \varphi_{u1}) + (\sqrt{2})I_2 \sin(\theta - 2\pi/3 + \varphi_{u2} + \pi); \\
I_1 / IC_{сум} &= U_1 / U_{экв}; \\
I_2 / IC_{сум} &= U_2 / U_{экв},
\end{aligned} \tag{5}$$

где  $I_{сум}$  – действующее значение фазного тока через резистивную симметричную нагрузку;  $U_{экв}$  – действующее значение фазного напряжения;  $i_{cA}$ ,  $i_{cB}$ ,  $i_{cC}$  – мгновенные значения фазных токов;  $\varphi_{u1}$ ,  $\varphi_{u2}$  – сдвиг по фазе прямой и обратной последовательности напряжений соответственно;  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $U_1$ ,  $U_2$  – действующие значения токов и напряжений прямой и обратной последовательности.

Выражение для вычисления суммарной мгновенной мощности при таких токах имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
\rho(\theta) &= 3U_1I_1 \cos(\theta) + 3U_2I_2 \cos(\pi) \\
&- 3U_1I_1(U_2/U_1) \cos(2\theta + \varphi_{u1} + \varphi_{u2} + \pi) \\
&- 3U_2I_1 \cos(2\theta + \varphi_{u1} + \varphi_{u2}).
\end{aligned} \tag{6}$$

Данный метод позволяет устранить пульсации в кривой мгновенной мощности и в токе  $i_d$ .

В случае несинусоидального режима сети рассматривается метод формирования синусоидальных токов, относящийся к следящим методам, которые используют слежение за фазными токами и формируют требуемые токи для компенсации несинусоидальности кривых напряжения сети. Данный метод обеспечивает формирование синусоидальных сигналов задания фазных токов на вход релейного регулятора тока. Токи, формируемые на входе выпрямителя, имеют высокочастотные гармоники, приближенно равные частоте коммутации. Так, будут присутствовать небольшие пульсации при близком к единице коэффициенте мощности, а мгновенная мощность, определяемая по формуле (7), будет иметь составляющие  $P_{(11)}$  и  $P_{(51)}$  в формуле (8) [5]:

$$\begin{aligned}
P(\theta) &= \sum_{(i=1)}^{\infty} \sum_{(n=1)}^{\infty} P_{(i,n)}(\theta); \\
P_{(11)}(\theta) &= 3U_{(1)}I_{(1)} \cos(\varphi_{i(1)} - \varphi_{u(1)}); \\
P_{(51)}(\theta) &= (\sqrt{2})U_{(5)} \sin(5\theta + \varphi_{u(5)}) (\sqrt{2})I_{(1)} \sin(\theta + \varphi_{i(1)}) \\
&+ (\sqrt{2})U_{(5)} \sin(5\theta - 2\pi/3 + \varphi_{u(5)}) (\sqrt{2})I_{(1)} \sin(\theta - 2\pi/3 + \varphi_{i(1)}) \\
&+ (\sqrt{2})U_{(5)} \sin(5\theta - 5(2\pi/3) + \varphi_{u(5)}) (\sqrt{2})I_{(1)} \sin(\theta - 2\pi/3 + \varphi_{i(1)}) \\
&= 3U_{(5)}I_{(1)} \cos(6\theta + \varphi_{u(5)} + \varphi_{i(1)}).
\end{aligned} \tag{8}$$

По рассмотренным выше методикам была разработана и создана имитационная модель системы управления трехфазного АВН, представленная на рис. 1 [5]. В модели были использованы следующие параметры АВН:  $R_{нагр} = 70$  Ом,  $L = 0,005$  Гн,  $U_{дзад} = 700$  В,  $P = 7000$  Вт,  $C_d = 0,0003$  Ф, где  $R_{нагр}$  – сопротивление нагрузки;  $R$  – активное сопротивление дросселя;  $L$  – индуктивность дросселя;  $U_{дзад}$  – заданное напряжение на нагрузке;  $P$  – мощность нагрузки;  $C_d$  – емкость нагрузочного конденсатора.

На рис. 1 приведена схема системы автоматического регулирования (САР) АВН, где ДНН – датчик напряжения на нагрузке; РРТ – релейный регулятор тока; БВСС – блок вычисления синфазных сигналов; БО – блок ориентации; БК – блок компенсации; КПТ – преобразователь координат тока; ДФН – датчик фазных напряжений; ДТ – датчик тока; РН – регулятор напряжения.

С целью учета фазовой и амплитудной несимметрии и несинусоидальности напряжений сети были заданы следующие параметры модели:  $U_{a(1)}=311,6$  В;  $\varphi_{a(1)}=94^0$ ;  $v_{a(1)}=50$  Гц;  $U_{a(5)}=14,142$  В;  $\varphi_{a(5)}=101^0$ ;  $v_{a(5)}=250$  Гц;  $U_{a(7)}=12,16$  В;  $\varphi_{a(7)}=97^0$ ;  $v_{a(7)}=350$  Гц;  $U_{b(1)}=290,35$  В;  $\varphi_{b(1)}=-25^0$ ;  $v_{b(1)}=50$  Гц;  $U_{b(5)}=14,142$  В;  $\varphi_{b(5)}=-22^0$ ;  $v_{b(5)}=250$  Гц;  $U_{b(7)}=12,16$  В;  $\varphi_{b(7)}=-36^0$ ;  $v_{b(7)}=350$  Гц;  $U_{c(1)}=332,85$  В;  $\varphi_{c(1)}=-160^0$ ;  $v_{c(1)}=50$  Гц;  $U_{c(5)}=14,142$  В;  $\varphi_{c(5)}=-153^0$ ;  $v_{c(5)}=250$  Гц;  $U_{c(7)}=12,16$  В;  $\varphi_{c(7)}=-157^0$ ;  $v_{c(7)}=350$  Гц, где  $U_{a(1)}$ ,  $U_{a(5)}$ ,

$U_{a(7)}, U_{b(1)}, U_{b(5)}, U_{b(7)}, U_{c(1)}, U_{c(5)}, U_{c(7)}$  – фазные напряжения первой, пятой и седьмой гармоник,  $\varphi_{a(1)}, \varphi_{a(5)}, \varphi_{a(7)}, \varphi_{b(1)}, \varphi_{b(5)}, \varphi_{b(7)}, \varphi_{c(1)}, \varphi_{c(5)}, \varphi_{c(7)}$  – фазовые сдвиги первой, пятой и и седьмой гармоник напряжений,  $V_{a(1)}, V_{a(5)}, V_{a(7)}, V_{b(1)}, V_{b(5)}, V_{b(7)}, V_{c(1)}, V_{c(5)}, V_{c(7)}$  – частоты первой, пятой, и седьмой гармоник напряжений.

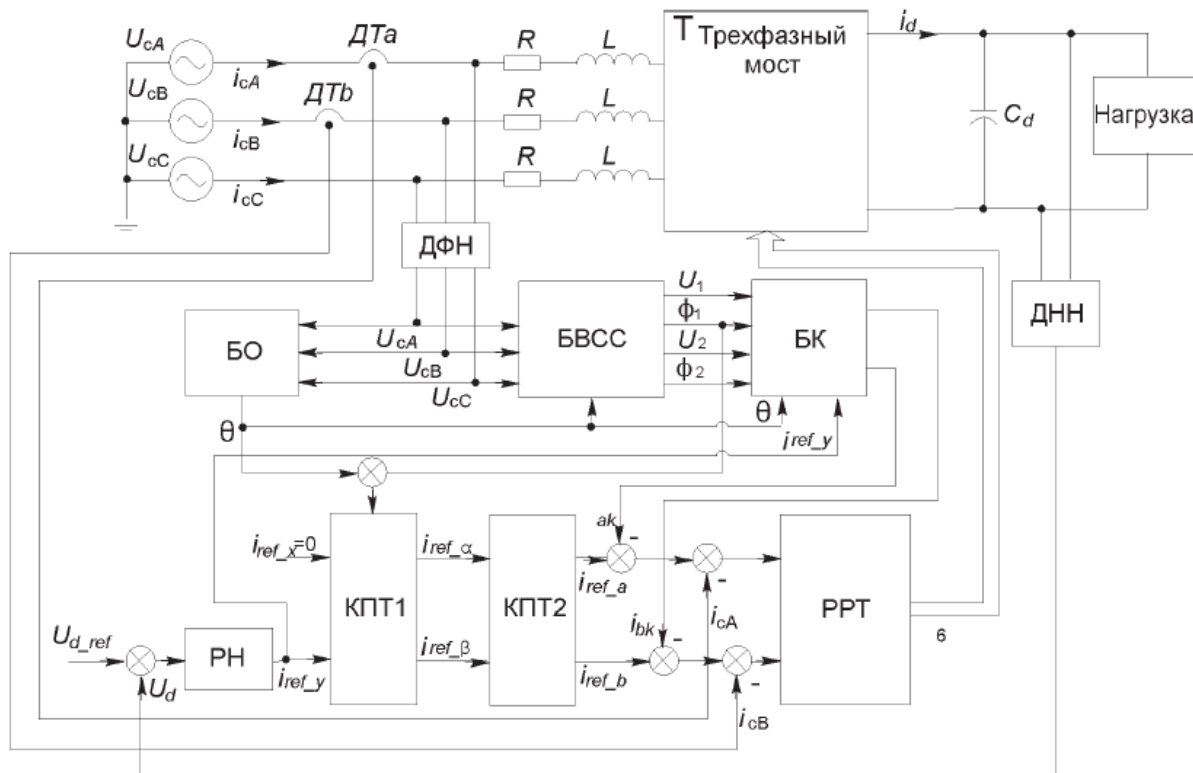


Рис. 1. Схема САР АВН с компенсацией влияния несимметрии и искажений напряжений сети

Результаты моделирования процесса подключения АВН к питающей сети, полученные в созданной в среде Matlab/Simulink имитационной модели, представлены на рис. 2–5. Энергетические показатели АВН, полученные в модели, следующие: КПД = 98,5 %, коэффициент нелинейных искажений по напряжению равен 5,9 %, коэффициент нелинейных искажений по току равен 5,8 %, коэффициент мощности – 0.996.

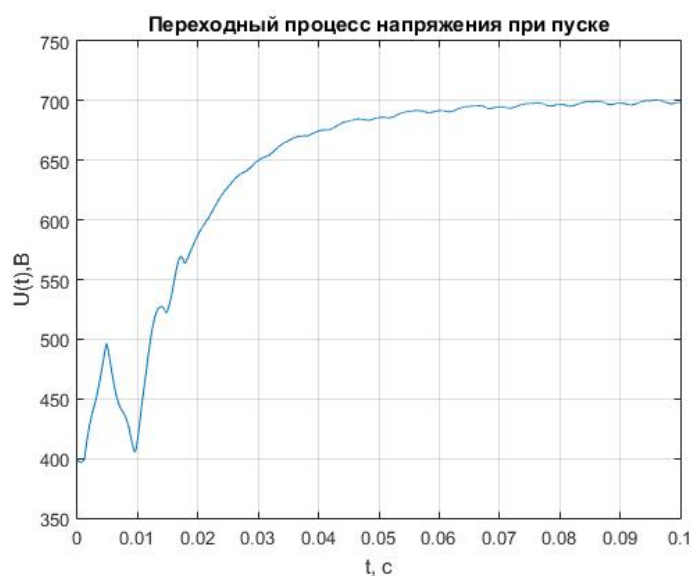


Рис. 2. Выпрямленное напряжение на нагрузке при пуске

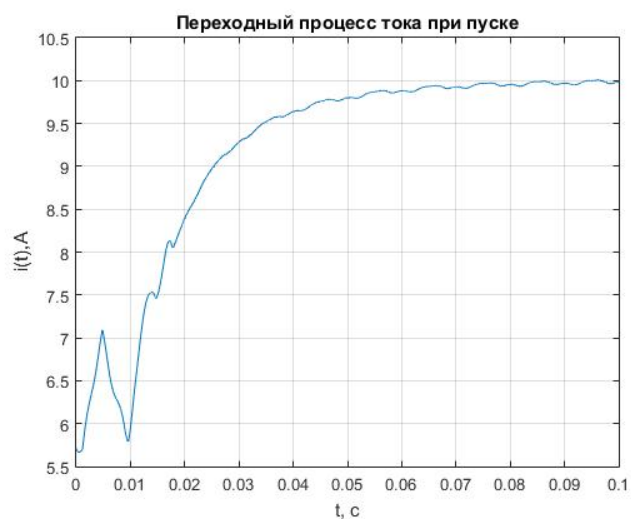


Рис. 3. Выпрямленный ток на нагрузке при пуске

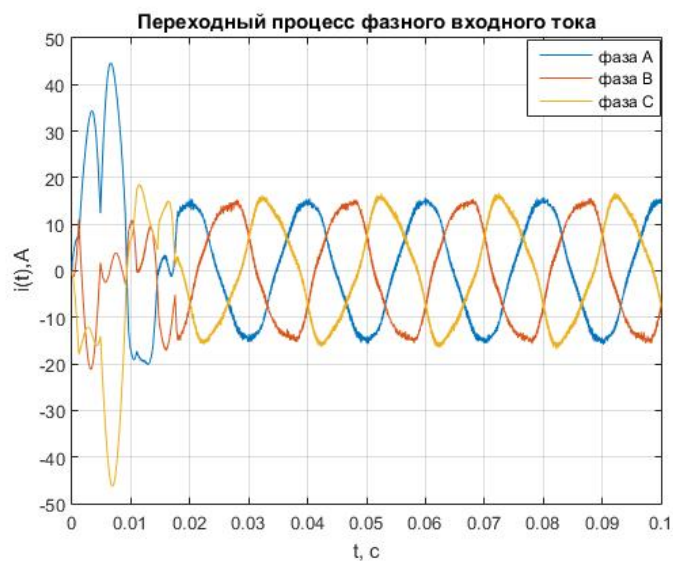


Рис. 4. Входные токи выпрямителя

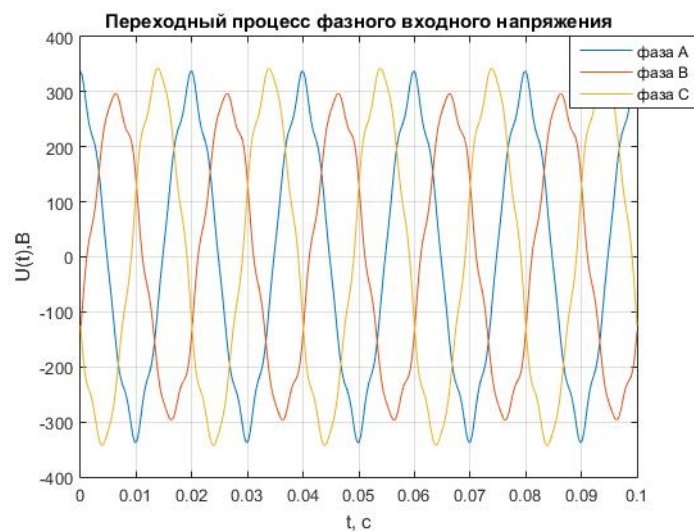


Рис. 5. Входные напряжения выпрямителя

### Выводы

Даже при искажениях напряжений питающей сети предложенный подход к построению САР АВН обеспечивает достижение хороших энергетических показателей. В результате моделирования получены следующие энергетические показатели: КПД достигает 98,5 %, коэффициент мощности максимально приближен к единице и равен 0,996, что указывает на высокое качество управления.

### Библиографический список

1. *Чаплыгин Е. Е.* Несимметричные режимы трехфазного преобразователя с коррекцией коэффициента мощности // *Электричество*. 2005. № 9. С. 20–23.
2. *Зиновьев Г. С.* Основы силовой электроники. Новосибирск, 2003. С. 199.
3. *Дрехслер Р.* Измерение и оценка качества электроэнергии при несимметричной и нелинейной нагрузке. М.: Энергоатомиздат, 1985. С. 112.
4. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Электромагнитная совместимость. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. С. 13.
5. *Кондратьев Д. Е., Обухов С. Г.* Управление активным выпрямителем при искажениях напряжений сети // *Электричество*. 2007. № 6. С. 21–32.

УДК 338.1

**Е. А. Сапронова**

студентка кафедры программно-целевого управления в приборостроении

**Г. С. Армашова-Тельник** – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСМОТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В XXI веке энергообеспечение – наиболее актуальная проблема человечества. Мировые запасы нефти и газа стремительно уменьшаются и, по прогнозам МИНЭНЕРГО РФ, должны исчерпать себя в течение 100 лет [1]. Для того чтобы найти альтернативные источники энергии в России, РОСНАНО обеспечивает инновационное развитие на базе вузов (например, НИТУ «МИСиС»). На 2019 год РОСНАНО совместно с университетом реализует ряд образовательных программ не только для студентов, но и для специалистов. Одна из основных задач РОСНАНО – создание инфраструктуры и развитие потенциала непрерывного дополнительного образования в nanoиндустрии, формирование «компетенций будущего» у специалистов предприятий, студентов и школьников [2].

С 2009 по 2019 годы таким инновационным направлением является осмотическая энергия. Принцип работы подобной электростанции основан на осмотическом давлении. Специальная мембрана, пропускающая воду, но ограничивающая проход соли, ставится между двумя резервуарами, наполненными водой. В один из резервуаров наливается пресная вода, в другой – соленая. Поскольку такая система стремится к равновесию, соленая вода «вытягивает» пресную из резервуара. Если перед мембраной поставить генератор, то избыточное давление будет вращать лопасти генератора и вырабатывать электричество.

Обычно в месте, где река впадает в море или пресная вода перемешивается с соленой, не вырабатывается никакого давления, которое могло бы послужить источником энергии. Зато, если данное действие происходит в закрытом резервуаре с мембранной, то со стороны воды с солью возникает избыточное гидростатическое давление.

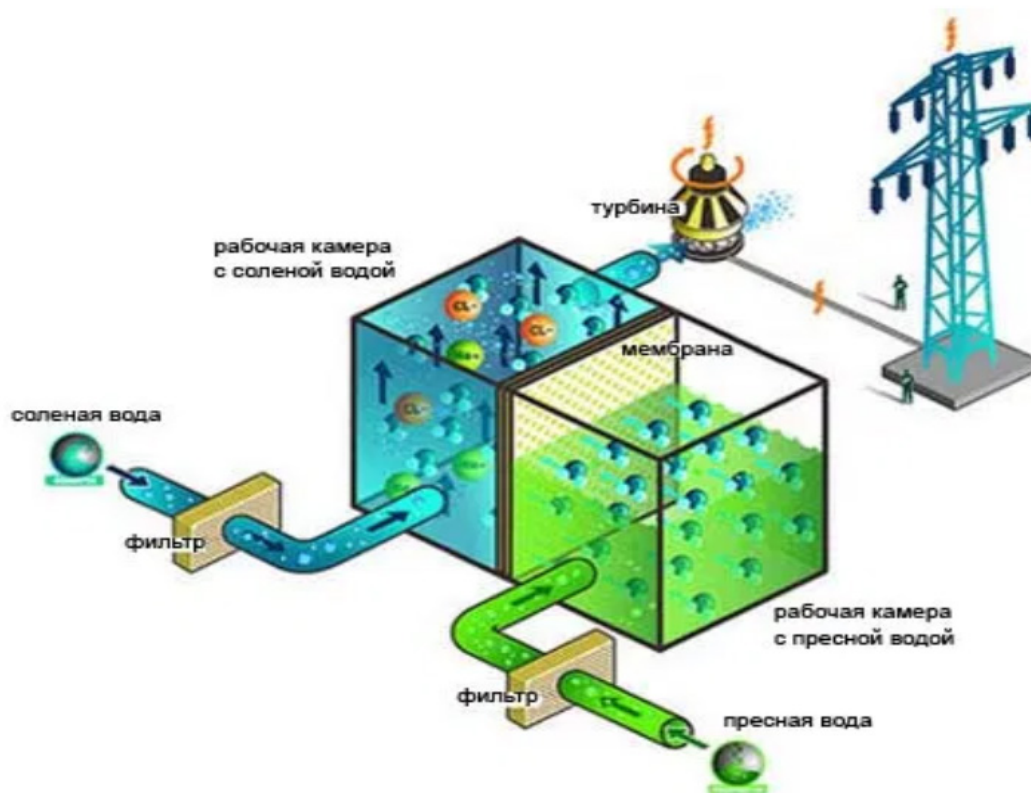


Рис. 1. Процесс выработки электроэнергии на ОЭС [3]

Организация выработки осмотической энергии – огромный процесс, в котором наиболее важной деталью является маленькая мембрана. Толщина мембраны составляет 0,1 мкм. В мире есть только несколько компаний, производящих подобные мембраны, например: General Electric (GE Desal), Dow Filmtec [4, 5].

С энергетической точки зрения подобная установка может сильно удешевить стоимость электроэнергии, однако современный уровень развития технологий не позволяет эффективно преобразовывать этот вид альтернативной энергии. Современные установки имеют КПД ниже, чем расчетный в 25 % [6].

Осмотическую электростанцию достаточно трудно сравнить с другими видами возобновляемых источников энергии, но все же близкой является гидроэлектростанция за счет природного ресурса – воды.

На гидроэлектростанциях (далее – ГЭС) гидравлическая энергия преобразуется в электрическую. Вода под действием силы тяжести движется через здание ГЭС из водохранилища в русло реки за плотиной и вращает рабочее колесо турбины, на одном валу с которым находится ротор электрогенератора. Турбина вместе с генератором образуют гидроагрегат, вырабатывающий электроэнергию.

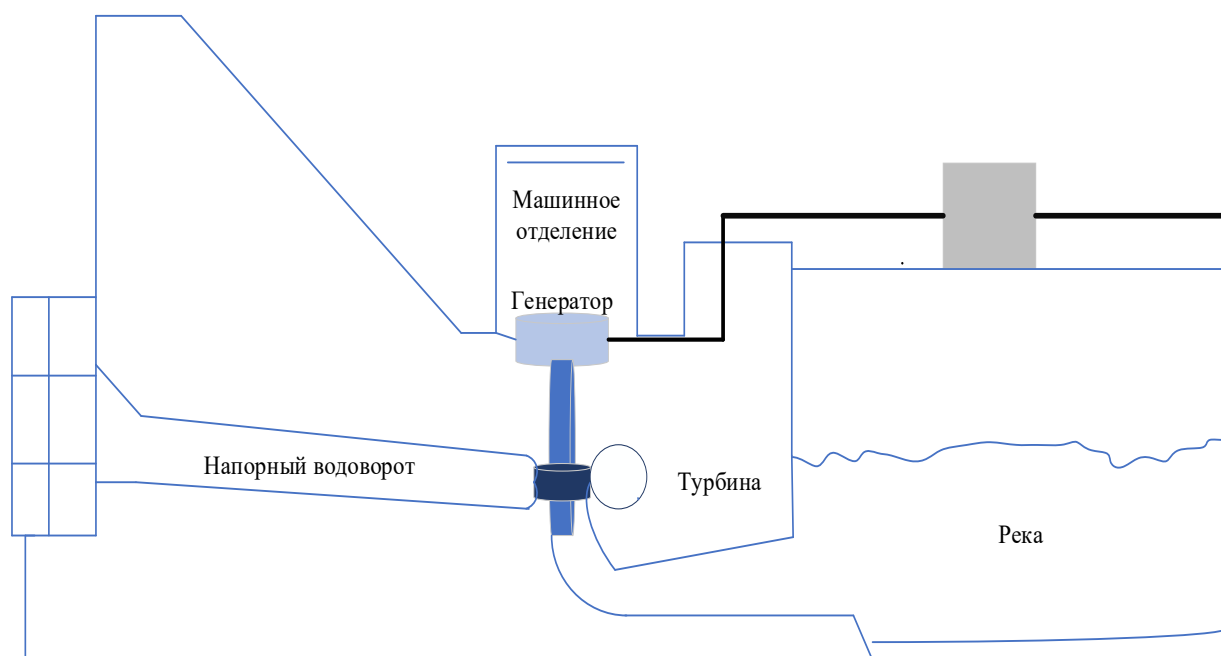


Рис. 2. Процесс выработки электроэнергии на ГЭС

Имеются две основные схемы создания напора ГЭС:

- плотинная (напор создается плотиной);
- деривационная (напор создается посредством деривации, осуществляемой в виде открытого канала или туннеля в горном массиве).

Хоть для производства электрической энергии при помощи ГЭС используются возобновляемые природные ресурсы, создаваемые при этом водохранилища обычно затопляют большую территорию земли, иногда данное действие приводит к нарушению экологического равновесия.

Поскольку ГЭС и ОЭС используют один и тот же природный ресурс, необходимо провести сравнительный анализ, благодаря которому будет выявлено, какая из станций на сегодняшний день более энергоцелесообразна.

В табл. 1 указаны параметры и основные характеристики станций.

Руководствуясь данными табл. 1, можно заметить, что для большого города выгоднее и энергетически эффективно использование ГЭС, так как вырабатываемая мощность в разы выше, чем у осмотической электростанции.

**Сравнительный анализ ОЭС и ГЭС**

	ОЭС	ГЭС
Вырабатываемая мощность	От 4 до 10 кВт	От 5 до 25 МВт
Затраты на строительство	5 млрд руб.	1 млрд руб.
Стоимость электроэнергии	2,3 руб. за кВт/ч	3,17 руб. за кВт/ч
Плюсы	1) непрерывный источник энергии;	1) дешевая электроэнергия;
	2) отсутствие парникового эффекта;	2) применение ВИЭ;
	3) стабильное качество очистки	3) регулировка частоты, покрывающая пиковые нагрузки; 4) легкость включения и остановки генераторов
Минусы	1) низкие показатели выработки энергии;	1) затопление площадей;
		2) размыв берегов;
	2) возможно использование только в устьях рек, где пресная вода вливается в соленую	3) качество воды;
		4) влияние водохранилищ на микроклимат;
		5) влияние водохранилищ на фауну

В свою очередь можно сказать, что использование осмотической электростанции достаточно эффективно в удаленной от центрального электроснабжения местности.

**Библиографический список**

1. МИНЭНЕРГО. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/532> (дата обращения: 12.01.2020).
2. РОСНАНО. URL: <https://www.rusnano.com/infrastructure/education> (дата обращения: 12.01.2020).
3. Научная Россия. URL: <http://www.ecosystems.msk.ru/index.php/ru/membrany-ge-water> (дата обращения: 12.01.2020).
4. General Electric. URL: <http://www.ecosystems.msk.ru/index.php/ru/membrany-ge-water> (дата обращения: 12.01.2020).
5. Dow Filmtec. URL: <https://membranes.com.ua/dow-filmtec.html> (дата обращения: 12.01.2020).
6. Основы энергетического строительства / С. В. Соболев, И. С. Соболев, А. Н. Ежков. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2016. 155 с.

УДК 681.5.011

**Е. А. Сердечная**

студентка кафедры электропривода, автоматики и управления в технических системах\*

**Е. М. Васильев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель\*

\*Воронежский государственный технический университет

**ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ С НЕИЗМЕРЯЕМЫМ ВЫХОДОМ****Введение**

В настоящее время методы анализа и синтеза систем автоматического управления с помощью частотных характеристик (ЛАЧХ и ЛФЧХ-логарифмической амплитудной и фазовой частотных характеристик) не вызывают научного интереса, однако эти методы по-прежнему востребованы благодаря своей наглядности и ясности физического смысла [1, 2].

Вместе с тем на практике встречаются системы, возможность анализа которых частотными методами не является очевидной.

В настоящей работе рассматриваются системы с не измеряемым выходом, то есть такие системы, в которых нет возможности установить датчики регулируемой величины, и обратная связь замыкается по тем координатам, которые доступны измерению (рис. 1).

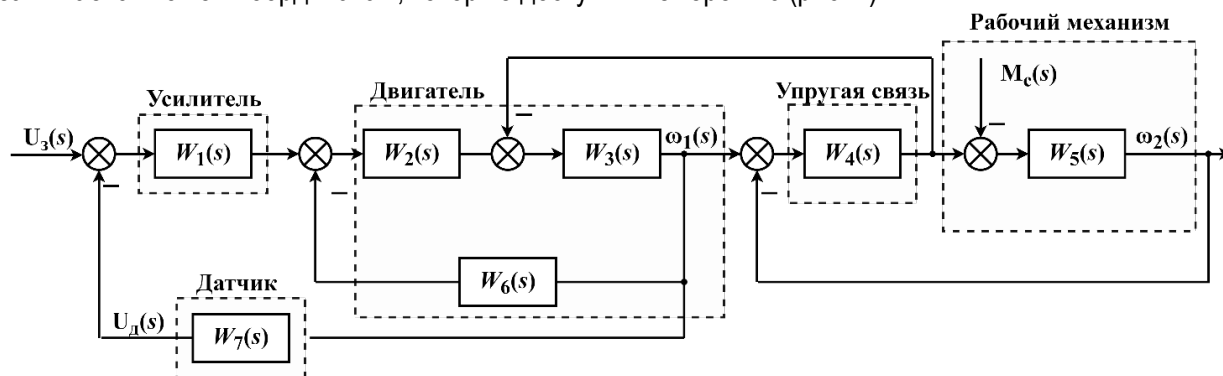


Рис. 1. Структурная схема управления электропривода

На рис. 1 представлена структурная схема распространенной системы управления электропривода, с упругой связью между двигателем и исполнительным механизмом, при этом датчик из конструктивных соображений установлен на двигателе, то есть отрицательная обратная связь (ООС) замыкается не по регулируемой величине  $\omega_2$ .

К представленной структуре невозможно применить типовые процедуры для анализа и синтеза, так как последние предполагают приведение исходной структуры к системе с единичной ООС [3].

Возможность такого приведения рассматриваемой структуры к типовому виду вытекает из существования в системе внутренних обратных связей, благодаря которым информация о регулируемой величине  $\omega_2$  присутствует на выходе датчика  $\omega_1$ .

Выполним соответствующие преобразования.

**Построение эквивалентной структуры**

Схему на рис. 1 требуется преобразовать так, чтобы она приняла вид типовой структуры с единичной ООС с некоторой передаточной функцией замкнутой системы  $W_g(s)$ , связывающей  $U_{тр}(s)$  и  $\omega_2(s)$ :

$$\omega_2(s) = W_g(s) \cdot U_3(s). \quad (1)$$

Чтобы провести частотный анализ, построим структурную схему, эквивалентную схеме на рис. 1. Для этого представим ее в виде, показанном на рис. 2.



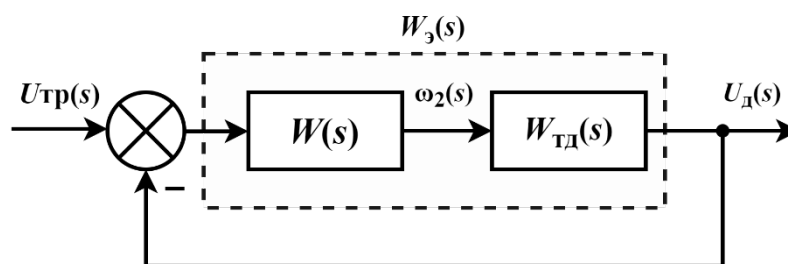


Рис. 2. Эквивалентная структурная схема

На рис. 2 введена  $W(s)$  – неизвестная передаточная функция, обеспечивающая эквивалентность структур рис. 1 и 2;  $W_{тд}(s)$  – передаточная функция тахометрического датчика;  $W_3(s)$  – эквивалентная передаточная функция прямого канала системы.

Выразим величину  $\omega_2(s)$  в явном виде:

$$\omega_2(s) = \frac{U_3(s) \cdot W(s)}{W(s) \cdot W_{мд}(s) + 1}. \quad (2)$$

Приравняем (1) и (2):

$$U_3(s) \cdot W_g(s) = \frac{U_3(s) \cdot W(s)}{W(s) \cdot W_{мд}(s) + 1}. \quad (3)$$

Получим искомое выражение для  $W(s)$ :

$$W(s) = \frac{U_3(s) \cdot W_g(s)}{U_3(s) - W_g(s) \cdot W_{мд}(s)}. \quad (4)$$

Согласно рис. 2:

$$W_3(s) = W(s) \cdot W_{мд}(s). \quad (5)$$

Отсюда:

$$W_3(s) = \frac{U_3(s) \cdot W_g(s)}{U_3(s) - W_g(s) \cdot W_{мд}(s)} \cdot W_{мд}(s). \quad (6)$$

Полученное выражение для  $W_3(s)$  позволяет осуществить частотный анализ для структуры с единичной ООС (рис. 2), выход  $U_д(s)$  которой соответствует не измеряемой ранее (рис. 1) величине  $\omega_2(s)$ .

### Экспериментальная проверка теоретических результатов

Для экспериментальной проверки теоретических результатов (4) и (6) построим ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой исходной системы (рис. 1) и эквивалентной системы (рис. 2).

Из графиков (рис. 3) видно расхождение полученных частотных характеристик. Особенно критичным это расхождение проявляется в значениях частот среза (для исходной –  $240 \text{ с}^{-1}$ , для полученной –  $100 \text{ с}^{-1}$ ) и в соответствующих запасах устойчивости по фазе (для исходной –  $118$  градусов, для полученной –  $73$  градуса). В частности, можно увидеть, что фактические запасы устойчивости по регулируемой величине примерно на  $45$  градусов меньше, чем его значение, полученное по исходной структуре.

Указанные расхождения приводят к неверным результатам анализа и, как следствие, к ошибкам в синтезе желаемых частотных характеристик.

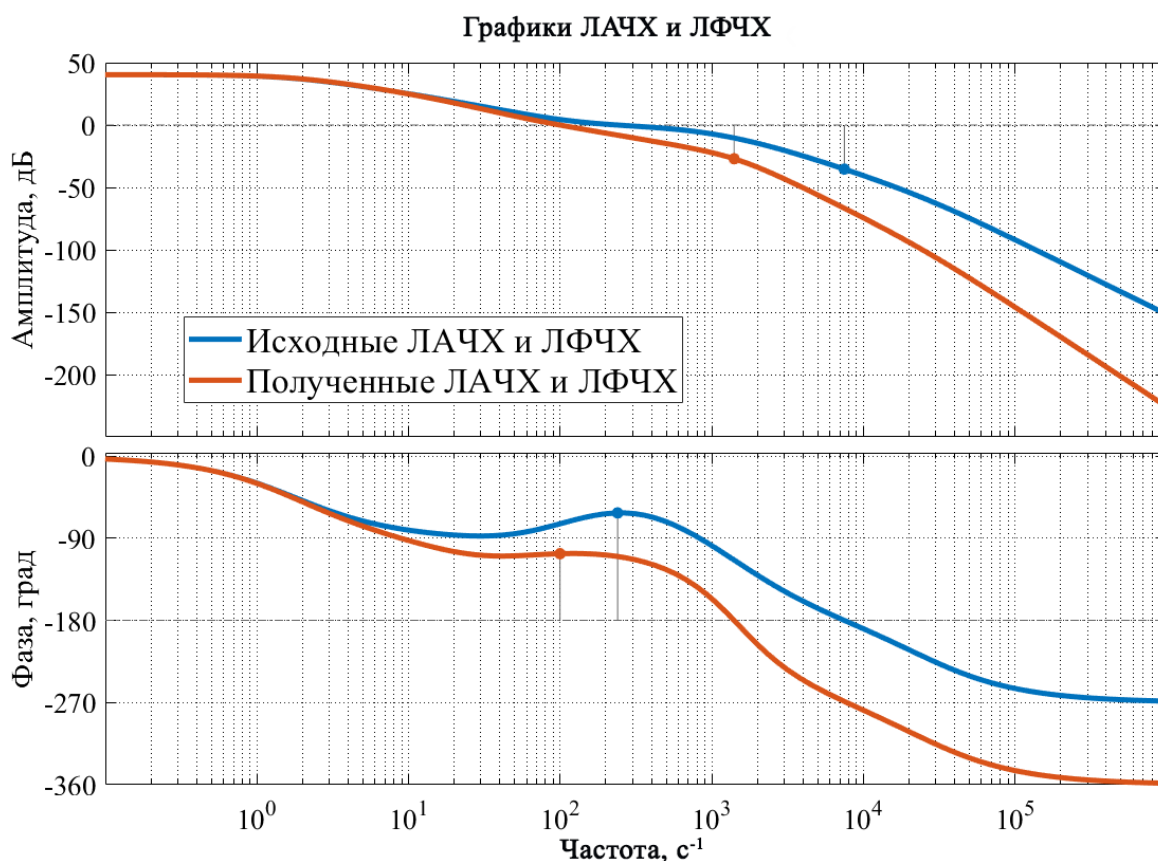


Рис. 3. Графики ЛАЧХ и ЛФЧХ исходной и полученной системы

### Заключение

В работе показано, что в системах регулирования с неизмеряемым выходом использование методов частотного анализа и синтеза относительно других доступных для измерения координат возможно только в области низких частот. В среднечастотном диапазоне, содержащем частоту среза и определяющем запасы устойчивости системы, такой анализ дает неадекватные результаты. Для устранения этого недостатка предложен переход от исходной структуры системы к расчетной эквивалентной структуре, имеющей единичную обратную связь по неизмеряемой регулируемой величине. Такой переход дает возможность осуществить типовой частотный анализ или синтез для эквивалентной системы и затем перенести его результаты на исходную систему с недоступной регулируемой величиной.

### Библиографический список

1. Ерофеев А. А. Теория автоматического управления: учебник для вузов. СПб.: Политехника, 2008. 302 с.
2. Yumuk. E. Analytical fractional PID controller design based on Bode's ideal transfer function plus time delay. Introduction to Linear Control Systems. 2017. P. 577–635.
3. Егунов Н. Д. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник: в 3-х т. Т. 1: Анализ и статистическая динамика систем автоматического управления. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 736 с.

УДК 681.5

**Д. П. Сотник**

студент кафедры управления в технических системах

**А. Л. Ляшенко** – доктор технических наук, доцент – научный руководитель

### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ЗАТИРАНИЯ СОЛОДА НА ПИВОВАРЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Затирание – это приготовление сусла из солода. Солод смешивается с горячей водой, затор постепенно нагревается. Для процесса затирания характерно постепенное повышение температуры, которое влияет на действие ферментов солода. Температурные паузы во время процесса влияют на такие параметры, как вкус, крепость и пенистость.

Помол солода зависит от фильтрационной системы. В основном солод измельчают так, чтобы шелуха оставалась целой, а крахмал разрушен. Это необходимо для того, чтобы сырье лучше отдавало свои вещества в сусло. Для измельчения можно взять дробилку солода. Использовать можно как готовый солод, так и несоложеное сырье: ячмень, пшеницу, рожь и т. д. Использование несоложеного сырья позволяет точнее контролировать органолептику будущего пива. Несоложеное сырье надо прорастить, это называется соложением. Для этого зерно заливается водой и прорастивается несколько дней. На следующем этапе его высушивают, после чего затор смешивают с водой и начинают нагрев. В конце затор надо будет удалить, поэтому используется либо пивоварня с фильтр-чаном, либо солод помещается в марлевые мешочки. При повышении температуры в действие вступают различные ферменты, которые уже содержатся в солоде и расщепляют крахмал и белки. Температурные паузы при варке пива нужны как раз для того, чтобы отработали все ферменты. Ниже представлена таблица температурных ферментов для разных сортов пива.

Таблица 1

**Температурный диапазон для ферментов**

Фермент	Диапазон температуры, °С	Оптимальное значение, °С
Фитаза	30–53	35
Бета глюконаза	35–55	45
Пептидаза	45–53	50
Протеаза	50–60	58
Бета-амилаза	54–67	63
Альфа-амилаза	66–73	70

Из приведенной таблицы видно, что при изменении температуры всего на несколько градусов полученный продукт будет отличаться. В связи с этим поддержание тепловых режимов на заданном уровне является весьма актуальным.

#### Как контролировать температуру

Основным фактором при осуществлении температурных пауз является точность их соблюдения. При нарушении температуры будет нарушена и рецептура, что ведет к изменению вкуса пива. На пивоваренном производстве процесс затирания осуществляется в сусловарочных котлах с программным управлением:

1. *Сусловарочные котлы.* Автоматические модели контролируют температуру, паузы можно запрограммировать.
2. *Котлы с пароводяным нагревом.* Точно настраивают температуру, затор не подгорит.
3. *Индукционная плита.* Гораздо точнее выдерживает температуру, быстро нагревается и остывает.

### Температурные паузы при затирации

На температурных паузах проходят химические реакции, которые придают пиву нужные органолептические свойства:

1. *Кислотная пауза*: 35–45 °С. Понижается рН сусла, увеличивая кислотность пива.
2. *Белковая пауза*: 44–59 °С. Происходит расщепление белков.
3. *Осахаривание*: 61–71 °С. Крахмал превращается в сахара. Этот этап – ключевой при затирации, вовремя его работают два фермента: альфа-амилаза и бета-амилаза. Сначала включается бета-амилаза, чем дольше проработает этот фермент – тем суше будет пиво. При повышении температуры до 68–72 °С включается альфа-амилаза. В результате образуются несбраживаемые сахара, которые придают пиву сладость.

4. *Меш-аут*: 76–77 °С. Инактивация ферментов, при этой температуре ферменты прекращают свою работу.

Все остальное – это модификация в зависимости от конкретного рецепта.

Основной задачей создания автоматической системы управления технологическим процессом затирации солода на пивоваренном производстве является создание системы управления как нагревательными элементами, так и элементами насосной системы и других элементов.

Для разработки системы управления процессом затирации в сусловарочном котле составим математическую модель. На рис. 1 представлена схема рассматриваемого котла.

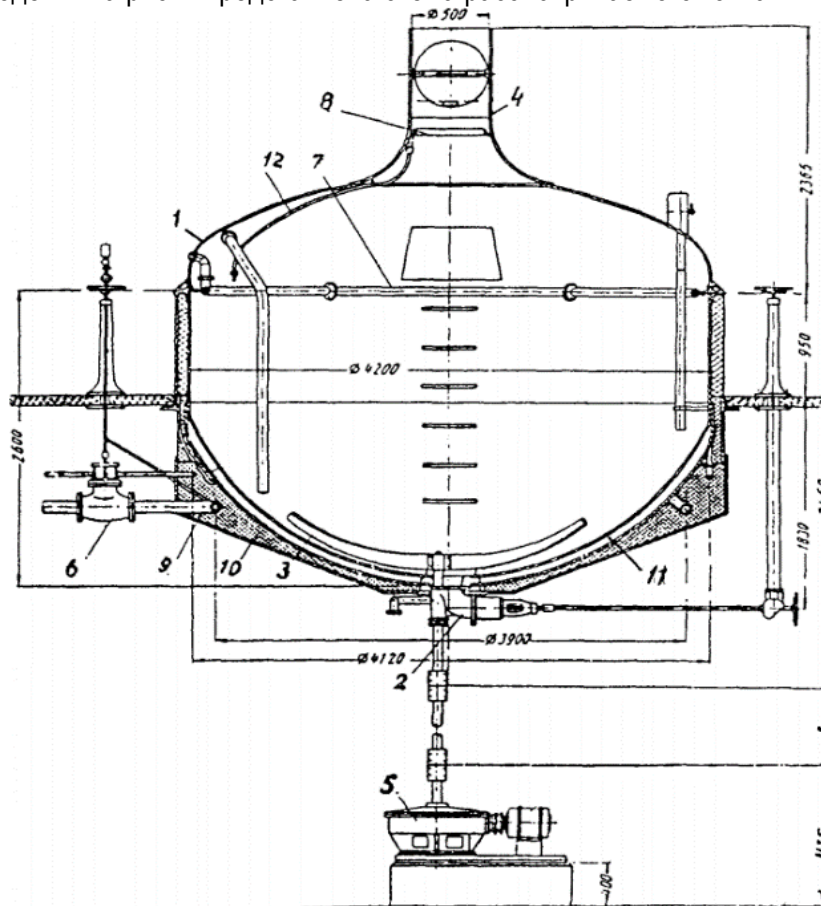


Рис. 1. Схема заторно-сусловарочного аппарата

На начальном этапе необходимо составить модель системы управления нагревом цилиндрического тела. Нагрев будет производиться с нижней панели цилиндра, тело тепло изолировано с боковых и верхней поверхности.

Математическую модель будем составлять с применением уравнений теплопроводности, записанных в цилиндрической системе координат, что вызвано геометрической формой объекта. Ниже представлен фрагмент математической модели в виде уравнения для боковой стенки котла:

$$\frac{\partial T(x, r, \phi, t)}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right). \quad (1)$$

Для решение данной математической модели был выбран метод конечных разностей. С применением данного метода была составлена дискретная модель. Далее был написан программный код в программной среде visual studio. Ниже представлен фрагмент программного кода для уравнения (1).

```

dT[X, r, Phi] = (T[X, r - 1, Phi] - 2 * T[X, r, Phi] + T[X, r + 1, Phi]) / Pr;
dT[X, r, Phi] = dT[X, r, Phi] + ((1 / r) * ((T[X, r + 1, Phi] - T[X, r, Phi]) / dr));
dT[X, r, Phi] = dT[X, r, Phi] + ((1 / (r * r)) * ((T[X, r, Phi - 1] - 2 * T[X, r, Phi]
+ T[X, r, Phi + 1]) / PPhi));
dT[X, r, Phi] = dT[X, r, Phi] + ((T[X - 1, r, Phi] - 2 * T[X, r, Phi] + T[X + 1, r,
Phi]) / PX);
dT[X, r, Phi] = a2 * DELTAU * dT[X, r, Phi];

```

где X – координата высоты чана; r – координата радиуса чана; Phi – координата сектора окружности чана.

Кроме того, для точного выполнения условий необходимо задаться такими параметрами, как:  
const float PX = 0.01f – шаг изменения параметров по координате высоты.

const float Pr = 0.01f – шаг изменения параметров по координате радиуса.

const float PPhi = 0.0001f – шаг изменения параметров по координате изменения сектора окружности.

float[,] T = new float[250, 136, 36] – условие, регулирующее граничные условия габаритов конкретного выбранного чана.

С помощью составленной программы мы можем исследовать динамику технологических процессов. Для этого строим графики переходных процессов в интересующих нас точек. На рис. 2 представлен результат моделирования.

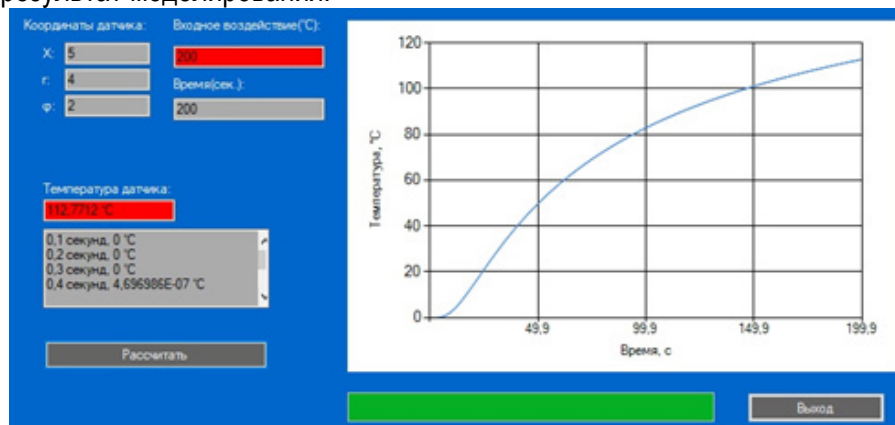


Рис. 2. Результат выполнения программы

Полученные графики переходных процессов в контрольных точках позволят нам произвести идентификацию передаточных функций элементов, входящих в состав элементов управления, что позволит в дальнейшем произвести расчет настроек регулятора.

### Библиографический список

1. Главачек Ф., Лхотский А. Пивоварение. Прага: Пищевая промышленность, 1977. 624 с.
2. Моделирование систем управления: учебное пособие. СПб.: ГУАП, 2019. 61 с.
3. Подбельский В. В. Язык C#. Базовый курс. М.: Финансы и статистика, 2013. 408 с.

УДК 004.85

**Д. И. Старощук**

ученица ГБОУСОШ № 225

**А. А. Гумин** – магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель**МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В РОБОТОТЕХНИКЕ**

В последнее время в робототехнике все чаще используются методы машинного обучения. Существует несколько основных видов машинного обучения: обучение с учителем, обучение без учителя и обучение с подкреплением. А также есть глубокое обучение, которое может сочетать в себе все ранее перечисленные виды обучений. Рассмотрим их.

**Обучение с учителем (Supervised learning)**

При обучении с учителем системе дается обучающая выборка данных (датасет), состоящая из множества ситуаций и ответов. Задача системы – найти зависимость между ситуациями и ответами и создать алгоритм для того, чтобы для каждой ситуации выдавать максимально точный ответ. Обучение с учителем используется для задач классификации, прогнозирования, регрессии.

При помощи этого система может распознавать объекты на изображениях, что необходимо для компьютерного зрения. Системе дается размеченный датасет из фотографий, который обучает нейронную сеть различать, где изображен какой объект. Когда сеть получит новую фотографию, она сравнит его с данными из датасета, чтобы определить, какой объект изображен на ней. Далее система сможет определять объекты, даже если их на фотографии много. В робототехнике машинное зрение нужно для того, чтобы робот мог ориентироваться в пространстве. Оно применяется в беспилотных автомобилях для распознавания объектов и определения движения других участников дорожного движения. В промышленности оно нужно для сортировки товаров. В медицине роботы смогут ставить диагнозы пациентам. С помощью него роботы могут контролировать процесс сборки изделия. А еще роботы могут помогать улучшать экологию, например, избавляться от паразитов рыб. Так, в Норвегии был создан подводный беспилотник, использующий систему распознавания изображений, чтобы находить паразитов и ликвидировать их без вреда для рыб с помощью лазера.

**Обучение без учителя (Unsupervised learning)**

При обучении без учителя системе известны только описания множества объектов, но нет указаний, что с ними делать. Система сама исследует полученные данные и выявляет их взаимо-

связь. Такое обучение используется для задач кластеризации, поиска ассоциативных правил, заполнения пропущенных значений.

При помощи этого обучения искусственный интеллект (ИИ) может учиться ходить. Пока такие исследования проводятся виртуально, то есть ИИ имеет определенную модель – среду, по которой модель должна перемещаться, и задачу добраться из точки А в точку В. ИИ ищет различные способы передвижения, анализируя, какие из них наиболее подходящие. В дальнейшем так можно будет роботов обучать ходьбе.

Еще метод обучения без учителя применяется в биометрии. Он позволяет нейросети обнаружить лицевые точки на изображениях и видео, что тоже может пригодиться в робототехнике.

### Обучение с подкреплением (Reinforcement learning)



При обучении с подкреплением система обучается, взаимодействуя с некоторой средой, и получает за действия в этой среде вознаграждение. Глобальная цель – предсказывать следующие шаги, чтобы заработать максимальную награду в конечном итоге. Такое обучение пытается найти компромисс между исследованием неизученных областей и применением имеющихся знаний. Обучение с подкреплением может решать задачи реального мира, которые требуют высокого уровня ловкости.

Ученые из Джорджии научили анимационных персонажей одеваться самостоятельно при помощи обучения с подкреплением. В будущем это поможет создать роботов, помогающих одеваться больным и людям с ограниченными возможностями.

Это обучение помогает настраивать протезы. Так, команда ученых из Университета Северной Каролины предложила использовать метод обучения с подкреплением для настройки 12 параметров роботопротеза нижней конечности. Этот метод существенно сокращает время настройки протеза.

Обучение с подкреплением используется и в роботах-манипуляторах. Робот пытается захватить предмет и всякий раз вне зависимости от результата фиксирует этот процесс на видео, который потом анализирует.

### Глубокое обучение (Deep learning)

Глубокое обучение совмещает в себе обучение с учителем, без учителя и с подкреплением. Пытается имитировать работу человеческого мозга в процессе обработки данных и создания паттернов, используемых для принятия решений. Важно, что глубокое обучение основано на обучении представлениям. Оно предназначено для работы с большими объемами данных и использует сложные алгоритмы для обучения модели.

Глубокое обучение нужно для того, чтобы роботы могли ориентироваться в окружающей среде. Это важно для всех роботов. Так, сейчас ведутся разработки роботов-курьеров, которые при помощи машинного зрения, GPS и датчиков движения, получают информацию об окружающей среде, а затем обрабатывают ее при помощи глубокого обучения.

Роботы, используя это обучение, могут разрабатывать новые химические соединения, а значит и новые химические вещества.

Некоторые разработчики роботов-манипуляторов сейчас применяют глубокое обучение, чтобы научить их брать предметы разной формы и размеров и бросать их за пределы своей досягаемости в ящик или коробку.

Глубокое обучение учит роботов распознавать эмоции. Ученые создают робота, которого можно использовать в терапии детей с аутизмом. Он анализирует лицо и позу, голос и физиологические данные, а также ему доступны данные о поле, национальности, когнитивных и моторных особенностях ребенка. Роботы различающие эмоции облегчат общение человека и робота.

Подводя итоги, можно сказать, что машинное обучение в робототехнике сейчас стремительно развивается. Оно позволяет сократить время для решения многих задач и дает возможность создания роботов, ориентирующихся в окружающей среде. Обучение с учителем и без учителя в робототехнике обычно применяется в комплексе с другими методами. А самое перспективное направление – это глубокое обучение.

### Библиографический список

1. Обучение с учителем. URL: [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%9E%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D1%81\\_%D1%83%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%9E%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81_%D1%83%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC) (дата обращения: 07.04.2020).
2. Malleth Murugesan. How do Machines Learn. URL: <https://abeyon.com/how-do-machines-learn/> (дата обращения: 07.04.2020).
3. Беликова К. Обучение нейросети с учителем, без учителя, с подкреплением – в чем отличие? Какой алгоритм лучше? URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/obuchenie-s-uchitelem-bez-uchitelja-s-podkrepleniem/> (дата обращения: 07.04.2020).
4. Машинное зрение: обзор технологии. URL: <https://robodem.com/machinevision> (дата обращения: 07.04.2020).
5. Isakov S. Supervision-by-Registration: метод детекции лицевых лэндмарков без учителя. URL: <https://neurohive.io/ru/papers/supervision-by-registration-metod-detekcii-lendmarok-lica-bez-uchitelja> (дата обращения: 07.04.2020).
6. Введение в обучение с подкреплением для начинающих. URL: <https://proglib.io/p/reinforcement-learning/> (дата обращения: 07.04.2020).
7. Aneek D. Components of a Reinforcement Learning Agent and it's application on SNAKE. URL: <https://becominghuman.ai/components-of-an-rl-agent-and-its-application-on-snake-1b3b6c8e1de5> (дата обращения: 07.04.2020).
8. Kravchenko O. Ботов научили самостоятельно одеваться, используя обучение с подкреплением. URL: <https://neurohive.io/ru/novosti/botov-nauchili-samostojatelno-odevatsja/> (дата обращения: 07.04.2020).
9. Kravchenko O. Обучение с подкреплением применили для настройки протеза ноги. URL: <https://neurohive.io/ru/novosti/robotic-limb-reinforcement-learning/> (дата обращения: 07.04.2020).
10. Промышленный робот учится методом проб и ошибок. URL: <https://habr.com/ru/post/391855/> (дата обращения: 07.04.2020).
11. Глубокое обучение. URL: [http://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=%D0%93%D0%BB%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%B5\\_%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5](http://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=%D0%93%D0%BB%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) (дата обращения: 07.04.2020).
12. Kravchenko O. Как нейронные сети обеспечивают работу роботов-доставщиков. URL: <https://neurohive.io/ru/novosti/starship-delivery-robots/> (дата обращения: 07.04.2020).
13. Kravchenko O. Искусственный интеллект и роботы ускорят создание новых молекул. URL: <https://neurohive.io/ru/novosti/mashinnoe-obuchenie-i-roboty-uskorjat-sozdanie-novyh-molekul-i-materialov/> (дата обращения: 07.04.2020).
14. Арзамазов Н. TossingBot от Google учится точно бросать произвольные предметы. URL: <https://neurohive.io/ru/novosti/tossingbot-google/> (дата обращения: 07.04.2020).
15. Ивтушок Е. Машинное обучение поможет найти общий язык роботу и детям с аутизмом. URL: <https://nplus1.ru/news/2018/06/28/nao-the-ml-robot> (дата обращения: 07.04.2020).



УДК 621.311.22

**Е. В. Степаненко**

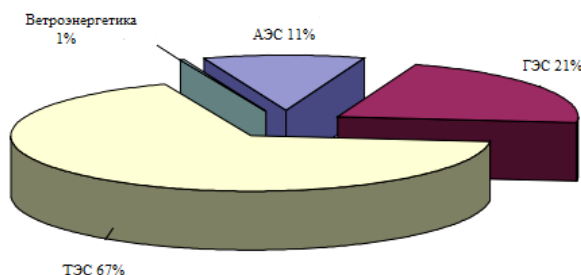
студент кафедры электромеханики и робототехники

**М. А. Волохов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК**

В данной статье рассмотрены принцип действия парогазовой установки, ее преимущества и недостатки относительно паротурбинных и газотурбинных установок, а также конструкция и принцип действия тринарной парогазовой установки; кратко приведены основные технологические модернизации в сфере парогазовых установок; рассмотрены перспективы внедрения парогазовых установок на атомных электростанциях и применения биотоплива в качестве основного топлива для парогазовых установок.

На данный момент в Российской Федерации энергетика является фундаментальной областью экономики и стратегически значимой областью для всего государства. От ее состояния и темпов модернизации зависят соответствующие темпы роста других отраслей хозяйства. Энергетика дает различные возможности для использования современных технологий и обеспечивает совместно с другими факторами современный уровень жизни населения.

В настоящий момент в составе генерирующих мощностей электростанций Российской Федерации преобладают тепловые электростанции, выработка электроэнергии которых в установленной мощности составляет 67 %, атомных электростанций 11 %, гидравлических станций 21 %, ветроэнергетических станций около 1 % [1].



*Рис. 1. Доля источников электрической энергии в Российской Федерации*

В Российской Федерации, как показано на рис. 1, большая часть общей генерируемой электроэнергии производится на тепловых электростанциях, на которых в качестве топлива применяются уголь, природный газ. Также в качестве топлива могут быть использованы горючие сланцы или мазут. Стоит сказать о том, что коэффициент полезного действия паротурбинных установок, которые установлены на тепловых электростанциях, теоретически может достигать 39 %, однако согласно [2] при рассмотрении в практическом применении коэффициент полезного действия находится ниже этого показателя.

В соответствии с энергетической стратегии России [3] одной из главных целей по программе совершенствования электроэнергетики нашей страны до 2030 года стоит задача по нарастанию установленной мощности газовых теплоэлектростанций и теплоэлектроцентралей с использованием современных технических решений на основе парогазовых установок с установленной мощностью до 50 900 мегаватт [3]. При создании основного оборудования для энергоблоков парогазовых установок одним из главных аспектов проектирования является повышение эффективности энергоблока. Стоит заметить, что возможности энергосбережения по электростанциям России теоретически оцениваются в 5–6 млрд кВт/ч [3].

Простейшая тепловая схема парогазовой установки приведена на рис. 2 [4]. Принцип работы данной схемы следующий: топливо вместе с воздухом, полученным из атмосферы с помощью компрессора, подается в камеру сгорания. После сгорания топлива рабочее тело, а именно продукты

сгорания топлива и воздуха, совершая механическую работу, вращает вал газовой турбины, а поскольку он находится на одном валу с ротором турбогенератора, то последний в свою очередь также начинает вращаться и вырабатывать электроэнергию. После совершения механической работы продукты сгорания все еще имеют высокую температуру (на данный момент максимальное значение этой температуры составляет примерно  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), но давление продуктов сгорания близко по значению к атмосферному, что согласно [4] не позволяет продуктам сгорания выполнять работу. Затем продукты сгорания поступают в котел-утилизатор, где происходит нагрев находящегося в котле запаса воды с образованием водяного пара с давлением примерно в 100 атмосфер. Выработанный пар проходит далее в паротурбинную установку, в которой по аналогии с газотурбинной установкой вырабатывается дополнительная электроэнергия. После совершения работы отработавший пар попадает сначала в конденсатор, с помощью которого отработавший пар охлаждается, а далее с помощью конденсатного насоса полученный конденсат возвращается в котел-утилизатор, в результате образуя замкнутый цикл. Газовый цикл парогазовой установки называется циклом Брайтона (преобразование тепловой энергии в работу с помощью газа), а паровой цикл парогазовой установки – циклом Ренкина (преобразование тепловой энергии в работу с помощью воды).

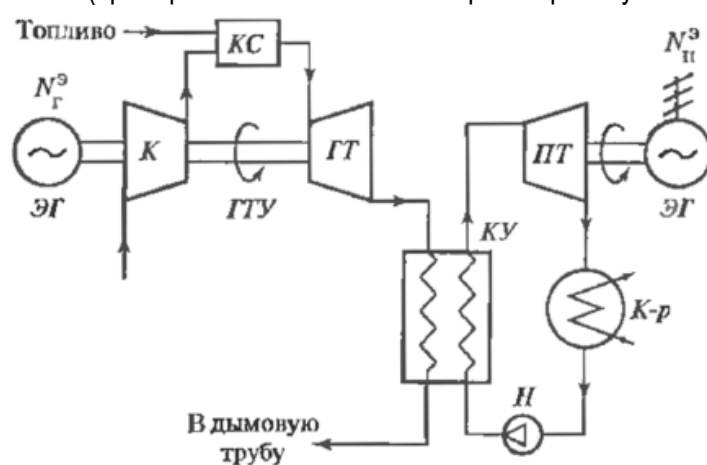


Рис. 2. Схема парогазовой установки с котлом-утилизатором

Парогазовая установка имеет следующие преимущества:

1. Достижение максимального значения коэффициента полезного действия в 63 %.
2. Улучшенные экологические показатели (уменьшение выбросов оксидов азота благодаря использованию природного газа, а не угля в качестве топлива; использование диффузионного принципа сжигания топлива; уменьшение теплового загрязнения окружающей среды благодаря уменьшенному расходу топлива на производство электроэнергии).
3. Уменьшенное потребление воды на единицу вырабатываемой электроэнергии (газотурбинная установка почти не требует потребления воды, основное количество воды необходимо для обеспечения работы паросиловой установки).
4. Уменьшенный цикл постройки (одновальные парогазовые установки можно вводить поэтапно).

Но также присутствуют недостатки, такие как:

1. Необходимость фильтрации поступающего атмосферного воздуха (для этого используется комплексное воздухоочистительное устройство).
2. Зависимость от температуры окружающего воздуха (согласно [5] оптимальная температура наружного воздуха для работы парогазовой установки с установленной номинальной мощностью принята равной  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а повышение данной температуры на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  влечет за собой снижение вырабатываемой мощности в среднем на 1,93 МВт).
3. Ограниченность выбора топлива (основным топливом принят природный газ, резервным – жидкое дизельное; возможно использование угля в качестве топлива, однако данное технологическое решение требует дополнительных денежных затрат для установки газогенератора и установки для последующей очистки этого газа).

Стоит отметить, что в Российской Федерации основным топливом для парогазовой установки является природный газ (Северо-Западная тепловая электростанция), но также присутствуют парогазовые установки, работающие на угле (Яйвинская государственная районная электростанция). В Соединенных Штатах Америки присутствуют парогазовые установки, работающие на угле: Wabash River Power Station в Вест-Тер Оут, штат Индиана; Polk Power Station в Тампе во Флориде, и Pinon Pine в Рено, штат Невада.

В настоящий момент проводятся мероприятия по модернизации концепции парогазовой установки: повышение температуры сгорания топлива, уменьшение потерь, повышение коэффициента использования теплоты топлива, разработка новых способов сжигания топлива, применение новейших материалов и технологических решений. Одним из таких решений является тринарная (трехконтурная) парогазовая установка, упрощенная схема которой показана на рис. 3. Основными ее особенностями являются:

1. Компонировка парогазовой установки котлом-утилизатором с вертикальной компоновкой поверхностей нагрева. Согласно [6] данное технологическое решение позволяет уменьшить потери мощности газотурбинной установки и снизить металлоемкость котла.

2. Наличие двух паровых циклов: первый цикл основан на водяном паре, второй – на низкокипящем веществе (пентан или синтетический Noves 649). Согласно [6, 7] данное технологическое решение положительно влияет на технико-экономические, экологические и габаритные показатели паровой турбины.

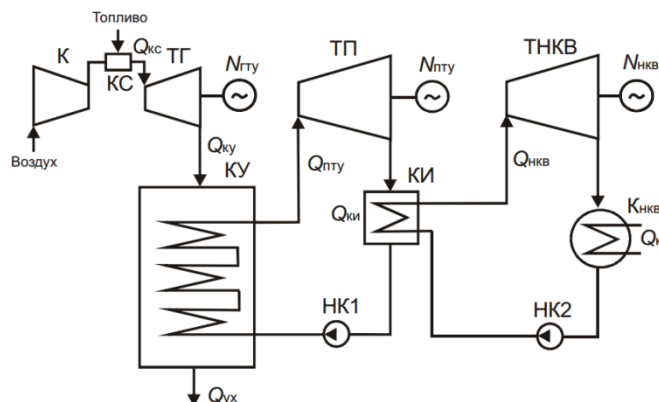


Рис. 3. Упрощенная схема тринарной парогазовой установки

Также стоит обратить внимание на перспективу использования растительной биомассы как возобновляемого источника энергии в качестве топлива (торф, продукты обработки древесины), поскольку ежегодно образуется примерно 30 млн<sup>3</sup> продуктов переработки древесины, использование которых в перспективе позволит снизить потребление жидкого топлива. На данный момент ведутся исследования по разработке парогазовых установок малой мощности, работающих на торфе или продуктах переработки древесины, что в будущем согласно [8, 9] позволит повысить энергообеспечение децентрализованных потребителей производственными мощностями с высокими показателями эффективности.

Также стоит отметить возможности внедрения парогазовых установок на атомных электростанциях. Нужно сказать, что на данный момент ведутся дискуссии о том, на какие генерирующие станции в дальнейшем стоит обратить внимание: тепловые электростанции или же атомные. Сейчас четкого ответа на этот нет, поскольку каждый вариант имеет свои преимущества и недостатки, которые нуждаются в тщательном осмыслении и сравнении по множеству критериев, к примеру: технико-экономический, экологический, капиталовложений и т. д. Однако согласно [10, 11] внедрение парогазовых технологий на атомных электростанциях позволит увеличить количество производимой электроэнергии, вариативность диапазона нагрузки электростанции в целом (атомные станции в этом показателе показывают недостаточные результаты, поскольку при изменении диапазона нагрузок возможно попадание в «йодную яму»), а также повысить экономичность станции в целом.

В заключение хотелось бы сказать, что использование парогазовых установок на является одним из главных путей развития теплоэнергетики в РФ. Необходимо рационально развивать это

направление в энергетике и стараться увеличивать процент использования парогазовых установок на тепловых электростанциях, а внедрение и модернизация парогазовых установок на биотопливе позволит немного решить проблему, связанную с нехваткой и уменьшением топливно-энергетических ресурсов. Торф в качестве топлива применялся еще в РСФСР, к примеру, на Ивановской ГРЭС, однако вскоре оказалось, что использовать торф не выгодно по экологическим и экономическим показателям, однако сейчас в теоретических и практических установках изменена технология сжигания, что позволяет снова использовать торф в качестве топлива. Для этого необходимо использовать технологии сжигания, которые освоены в Ирландии, Швеции, либо разработать собственную технологию и оборудование. Также стоит отметить, что на данный момент ведутся дискуссии о том, какие электростанции предпочтительнее использовать: атомные или тепловые. Обоснование выбора зависит от множества аспектов, которые требуют тщательного анализа и осмысления в дальнейшем.

### Библиографический список

1. Метельников А. Энергетика России: между прошлым и будущим. URL: <https://novostienergetiki.ru/energetika-rossii-mezhdu-proshlym-i-budushhim/> (дата обращения: 08.10.2019).
2. Сайт исследовательской компании «Abercade». URL: <http://abercade.ru/research/analysis/smallenergy/paroturb/> (дата обращения: 08.10.2019).
3. Энергетическая программа России за период до 2030 года: утверждена распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 года. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения 08.10.2019).
4. Цанев С. В., Буров Д. В., Ремезов А. Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учеб. пособие для вузов / Под ред. С. В. Цанева. М., 2002. 584 с.
5. ГОСТ Р 55798-2013. Установки газотурбинные. Методы испытаний. Приемочные испытания. М.: Стандартинформ, 2015. 46 с.
6. Галашов Н. Н., Цибульский С. А. Анализ эффективности парогазовых установок тринарного типа // Известия томского политематического университета. 2014. № 4. С. 33–38.
7. Онлайн-портал «Turbinist». URL: <http://www.turbinist.ru/49625-cikl-renkina-na-nrt-nizkokipyaschee-rabochee-telo.html> (дата обращения: 08.10.2019).
8. Мазуренко А. С., Денисова А. Е. Экономическая эффективность парогазовых установок на биотопливе // Энергетика: экономика, технологии, экология. 2013. № 1 (32). С. 15–19.
9. Седнин В. А., Левшеня А. И. Параметрическая оптимизация парогазовой установки на биомассе // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ // Энергетика. 2013. № 6. С. 72–79.
10. Кряжев А. В., Антонова А. М. Использование парогазовой технологии на АЭС // Известия высших учебных заведений // Ядерная энергетика. 2010. № 1. С. 56–61.
11. Касилов В. Ф., А. В. Низовой Перспективы использования парогазовых технологий в энергоблоках атомных электростанций // Научные исследования: от теории к практике. 2015. № 4 (5). С. 34–38.

УДК 681.51

**Ф. Д. Сулейманова**

студентка\*

**А. А. Трошин**

аспирант\*

**О. В. Захаров** – доктор технических наук, профессор – научный руководитель\*

\*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.

**ПРИМЕНЕНИЕ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА**

Обоснована методика оптимизации траектории движения робота на основе решения задачи коммивояжера. Для решения задачи коммивояжера выбраны методы ветвей и границ и муравьиной колонии. Выполнено компьютерное моделирование поиска оптимального маршрута при использовании различного количества точек на плоскости. Установлено, что алгоритм муравьиной колонии дает близкое к оптимальному решение и требует многократно меньше времени на его поиск, в отличие от алгоритма ветвей и границ. Поэтому применение метода муравьиной колонии позволит заметно повысить производительность решения задачи в масштабе реального времени.

Задачи планирования траекторий движения решаются в различных областях техники – робототехнике, технологии машиностроения, координатной метрологии [1–6]. Одно из наиболее актуальных применений относится к оптимизации движений промышленного робота при сварке, обработке, измерении [7–12]. Известные подходы к решению указанной задачи заключаются в использовании аналитических методов [2], нечеткой логики, нейронных сетей [13, 14].

Традиционным аналитическим подходом будет формулировка задачи коммивояжера [12]. Однако имеются сложности в его практической реализации, связанной с большим числом расчетных точек траектории движения. Поэтому целесообразно использование эвристических методов решения. В статье предлагается использовать метод муравьиной колонии и приводится сравнение с точным методом ветвей и границ.

Предполагается, что траектория состоит из контрольных точек, которые располагаются на заранее известной поверхности. Протяженность пути для поверхности зависит от стратегии обхода контрольных точек. Для получения полной информации о расположении всех точек поверхности достаточно, чтобы робот прошел каждую контрольную точку один раз. По завершении полного обхода поверхности робот возвращается в положение стартовой точки. В этом случае траектория представляет собой замкнутую ломаную линию. Представив маршрут в виде графа, вершинами которого являются контрольные точки, а ребрами графа – траектории движения между двумя точками, получаем гамильтонов цикл. Тогда задача оптимизации маршрута сводится к поиску гамильтонова цикла, имеющего минимальную длину, и представляет собой известную задачу коммивояжера.

Опишем задачу коммивояжера как задачу целочисленного линейного программирования. Представим перемещения робота из  $i$ -й контрольной точки в  $j$ -ю в виде матрицы перемещений  $L_{ij}$ , где  $i, j \in \overline{1, n}$  для некоторого количества контрольных точек  $n \in \mathbf{N}$ . Представим направление перехода из  $i$ -й точки в  $j$ -ю в виде матрицы чисел  $l_{ij} \in \{0, 1\}$  для  $i, j \in \overline{1, n}$ , где  $l_{ij} = 1$ , если маршрут обхода содержит ребро  $(i, j)$ , и  $l_{ij} = 0$  в противном случае. Тогда задача сводится к поиску такого решения  $l$ , при котором маршрут будет наименьшим:

$$G(\bar{x}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_{ij} l_{ij} \rightarrow \min. \quad (1)$$

При этом необходимо учитывать, что из каждой вершины графа, представленной контрольной точкой, выходит только одно ребро и только одно ребро входит в каждую вершину:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n l_{ij} = 1, i = \overline{1, n} \\ \sum_{i=1}^n l_{ij} = 1, j = \overline{1, n} \end{cases} \quad (2)$$

Например, для плоскости элементы матрицы перемещений  $L_{i, j}$  будут определяться выражениями:

$$L_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2}, \quad (3)$$

где  $(x_i, y_i, z_i)$  и  $(x_j, y_j, z_j)$  – координаты  $i$ -й и  $j$ -й контрольных точек поверхности.

В настоящее время развиты различные методы решения задачи коммивояжера, которые классифицируются по способу поиска решения на точные и приближенные (эвристические и метаэвристические). В сравнении с приближенными точные методы позволяют найти наилучшее решение, но при этом требуют больше времени на вычисление. Приближенные методы нуждаются в меньшем количестве времени на вычисление, но дают лишь приближенное, нередко локальное, решение. Применение метода муравьиной колонии обосновано в работах [14–17].

Для проведения компьютерного моделирования были заданы начальные условия. Площадь плоскости принята равной  $S=40\ 000$  мм<sup>2</sup> для любого количества точек. Данному условию соответствуют сторона квадрата, ограничивающего плоскость, –  $L=200$  мм. Для сокращения времени вычисления оптимального маршрута в программах, реализующих методы муравьиной колонии и ветвей и границ, значения расстояний в матрице расстояний округлены до десятых долей мм. Поскольку координаты точек остаются неизменными, то данные округления не сказываются на точности позиционирования, но существенно сокращают размер промежуточных данных при вычислении. Из геометрических особенностей поверхностей определено минимальное количество точек – 3, максимальное количество точек – 256.

Для определения значений параметров алгоритма муравьиной колонии было проведено предварительное тестирование, в результате которого были приняты следующие начальные условия: количество итераций –  $m = 50$ ; скорость испарения феромона = 0,3; степень влияния на выбор маршрута феромона = 7; степень влияния на выбор маршрута расстояния до ближайшей точки = 6; количество муравьев равно количеству контрольных точек.

Программа поиска маршрута датчика по алгоритму муравьиной колонии запускалась пять раз для каждого значения количества точек, из полученных результатов выбирался наилучший по протяженности маршрут.

В результате моделирования были получены зависимости маршрута датчика (рис. 1а) и длительности вычисления (рис. 1б).

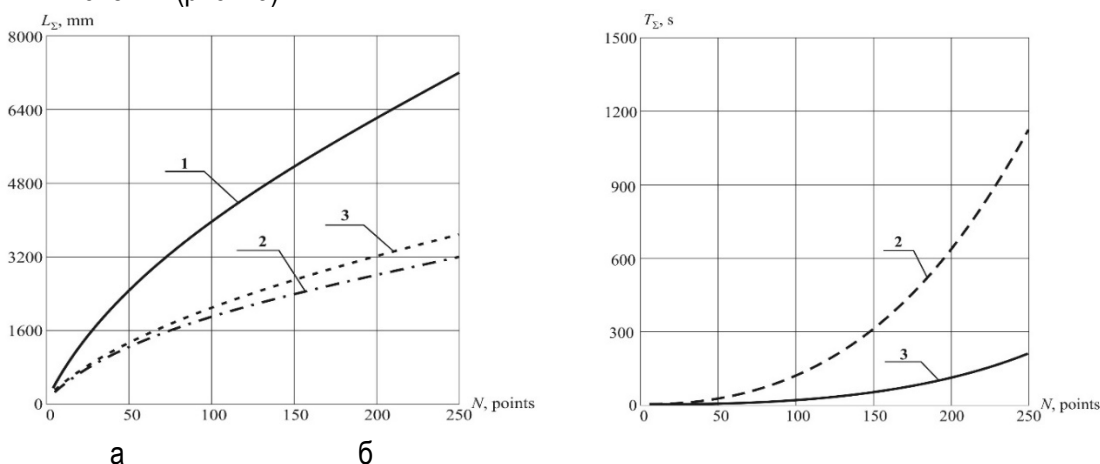


Рис. 1. Зависимости: а – протяженности маршрута  $L_i$ , мм; б – длительности вычисления  $T_i$ ; 1 – базовый маршрут; 2 – метод ветвей и границ; 3 – метод муравьиной колонии

Как видно из рис. 1а, реализация точных алгоритмов поиска позволяет найти маршрут в два раза короче базового. При этом решение, полученное с помощью алгоритма муравьиной колонии, хуже решения, найденного с помощью алгоритма ветвей и границ, не более чем на 10 %. Из графика на рис. 1б видно, что наблюдается существенный разрыв времени вычисления по алгоритму ветвей и границ и муравьиному алгоритму, который возрастает с увеличением количества контрольных точек. Поэтому применение алгоритма ветвей и границ целесообразно для маршрута, состоящего не более, чем из 30 точек.

### Библиографический список

1. *Зенкевич С. Л., Ющенко А. С.* Основы управления манипуляционными роботами. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 480 с.
2. Метод планирования траектории движения точки в пространстве с препятствием на основе итеративной кусочно-линейной аппроксимации / В. О. Антонов, М. М. Гурчинский, В. И. Петренко, Ф. Б. Тебуева // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 1. С. 168–182.
3. Прогнозирование погрешностей сборки изделий с использованием действительных моделей деталей / Ю. С. Елисеев, М. А. Болотов, В. А. Печенин и др. // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. Т. 18. № 2. С. 128–137.
4. *Печенин В. А., Болотов М. А., Рузанов Н. В.* Модель координатных измерений геометрии поверхностей сложной формы // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2015. Т. 21. № 4. С. 675–685.
5. *Фомин А. А.* Кинематика формирования обрабатываемой поверхности в процессе фрезерования // СТИН. 2013. № 4. С. 16–19.
6. *Гречников Ф. В., Тлусенко С. Ф.* Проектирование технологических процессов сборки по критериям точности // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2011. № 3, 4. С. 38–43.
7. *Козлов А. М., Малыгин Г. Е.* Расчет траектории инструмента при фрезеровании внутренних поверхностей на станках с ЧПУ // Научные технологии в машиностроении. 2018. № 1. С. 36–40.
8. *Захаров О. В., Погораздов В. В.* Проектирование формообразующих систем бесцентровых суперфинишных станков. Саратов: СГТУ, 2004. 140 с.
9. *Захаров О. В.* Управление точностью бесцентрового шлифования статистическими методами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 9. С. 32–35.
10. Интеллектуальное планирование траекторий подвижных объектов в средах с препятствиями / Под ред. В. Х. Пшихопова. М.: Физматлит, 2015. 304 с.
11. *Kochetkov A., Salov P., Zakharov O.* Inverse Kinematic Problem of Movement of Six Degrees of Freedom Robotic Arm (Solved by a Numerical Method). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 709. P. 33–95.
12. *Zakharov O., Balaev A., Kochetkov V.* Modeling Optimal Path of Touch Sensor of Coordinate Measuring Machine Based on Traveling Salesman Problem Solution. Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. P. 1458–1463.
13. *Жданов А. А., Кржановский М. В., Преображенский Н. Б.* Бионическая интеллектуальная автономная адаптивная система управления мобильного робота // Мехатроника. 2004. № 2. С. 17–22.
14. *Кожевников М. М., Пашкевич А. П., Чумаков О. А.* Планирование траекторий промышленных роботов-манипуляторов на основе нейронных сетей // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2010. № 4 (50). С. 54–61.
15. *Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Рычков Д. А.* Повышение эффективности производства за счет автоматизации подготовки режущего инструмента // Научные технологии в машиностроении. 2015. № 4. С. 25–30.
16. *Гречников Ф. В., Резчиков А. Ф., Захаров О. В.* Итерационный метод коррекции радиуса сферического щупа мобильных координатно-измерительных машин при контроле поверхностей вращения // Измерительная техника. 2018. № 4. С. 21–24.
17. *Ковальчук А. К., Кулаков Д. Б., Семенов С. Е.* Управление исполнительными системами двуногих шагающих роботов. Теория и алгоритмы. М.: Изд-во МГОУ, 2007. 160 с.

УДК 681.5.013

**А. В. Таволжанский**

студент кафедры электропривода, автоматики и управления в технических системах\*

**Е. М. Васильев** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель\*

\*Воронежский государственный технический университет

**ПОДАВЛЕНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ В СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ОТКЛОНЕНИЮ****Введение**

В системах регулирования по отклонению проблему компенсации возмущающего воздействия чаще всего решают введением датчика этой величины и организацией дополнительного канала ввода возмущения. Однако установка датчика возмущения не всегда технически возможна. В связи с этим возникает задача подавления возмущения контуром регулирования по отклонению.

В существующей литературе решению данной задачи уделено недостаточное внимание [1, 2]. Обычно осуществляется синтез системы управления исходя из требований к качеству отработки задающего воздействия, необоснованно предполагая при этом, что степень подавления возмущения будет достаточно высокой.

В предлагаемой работе представлен строгий аналитический метод формирования частотных характеристик систем управления, учитывающий требования к качеству регулирования при одновременном действии задающего  $g(t)$  и возмущающего  $f(t)$  воздействий.

**Теоретическое обоснование метода**

Идея предлагаемого метода формирования частотных характеристик системы обеспечивающих подавление возмущения состоит в приведении возмущающего воздействия к задающему входу и последующем построении низкочастотного участка частотной характеристики с учетом одновременного действия двух воздействий  $g(s)$  и  $f(s)$ , приложенных к одному входу системы.

Графически эту идею можно продемонстрировать на рис.1 и 2.

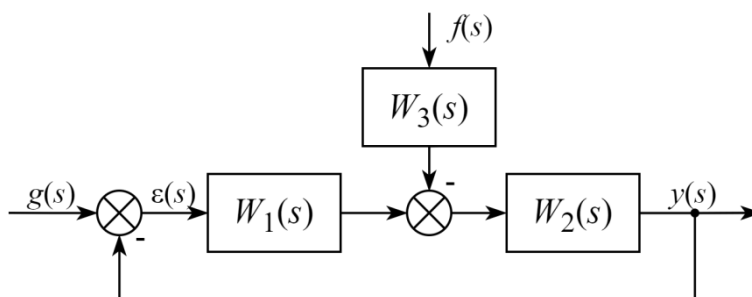


Рис. 1. Исходная структурная схема с задающим  $g(s)$  и возмущающим  $f(s)$  воздействиями

На рис. 1 обозначено:  $\varepsilon(s)$  – ошибка регулирования;  $g(s)$  – задающее воздействие;  $f(s)$  – возмущающее воздействие;  $W_1(s)$ ,  $W_2(s)$  – передаточные функции прямого канала;  $W_3(s)$  – передаточная функция в канале возмущения.

Для этой структуры уравнение движения для ошибки имеет вид:

$$\varepsilon(s) = \frac{1}{W_1(s) \cdot W_2(s)} \cdot g(s) + \frac{W_3(s) \cdot W_2(s)}{W_1(s) \cdot W_2(s)} \cdot f(s). \quad (1)$$

Результатом приведения должна стать структура, показанная на рис. 2.

Для эквивалентной схемы уравнение движения ошибки приобретает вид:

$$\varepsilon(s) = \frac{1}{W_1(s) \cdot W_2(s)} \cdot g(s) + \frac{1}{W_1(s) \cdot W_2(s)} \cdot f_{np}(s). \quad (2)$$



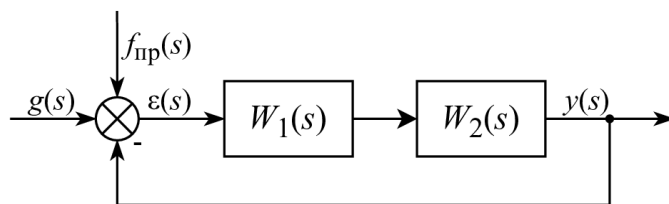


Рис. 2. Эквивалентная структурная схема системы с возмущающим воздействием, приведенным к задающему входу

Приравнявая формулы (1) и (2), получаем условие эквивалентности (3):

$$\frac{1}{W_1(s) \cdot W_2(s)} \cdot g(s) + \frac{W_3(s) \cdot W_2(s)}{W_1(s) \cdot W_2(s)} \cdot f(s) = \frac{1}{W_1(s) \cdot W_2(s)} \cdot g(s) + \frac{1}{W_1(s) \cdot W_2(s)} \cdot f_{\text{нп}}(s). \quad (3)$$

Полученные условия позволяют проводить синтез по заданию и возмущению по единой методике.

Для сигналов  $g(t)$  и  $f(t)$  с ограниченным количеством производных по времени (например,  $g(t) = g_m$ ,  $f(t) = f_m + V_f t$ ,  $g(t) = g_m + V_g t + a_g t^2$ ) результат приведения для случая, когда  $W_2(s)$  не содержит интегратора, имеет вид:

$$f_{\text{нп}}(s) = W_3(0) W_2(0) f(s).$$

Если  $g(t)$  или  $f(t)$  содержат гармоническую составляющую:

$$f(t) = f_m \sin \omega_f t,$$

то:

$$f_{\text{нп}}(t) = W_3(\omega_f) W_2(\omega_f) f(t), \quad (4)$$

где  $W_3(\omega_f)$  и  $W_2(\omega_f)$  – модули частотных функций  $W_3(j\omega)$  и  $W_2(j\omega)$  – на частоте  $\omega_f$ .

### Практический пример

Законы входных воздействий:

$$g(t) = g_m + v_g t = 2 + 2t,$$

$$f(t) = f_m \sin \omega_f t = 0.5 \sin 30t,$$

где  $g_m$ ,  $f_m$  – амплитуды входных воздействий;  $v_g$  – скорость задающего воздействия;  $\omega_f$  – частота возмущающего воздействия.

Необходимо обеспечить требуемое максимально допустимое значение установившейся ошибки  $\varepsilon_m = 0,05$  В. Определяем границу запретной зоны низкочастотного участка.

Порядок астатизма относительно задающего воздействия равен единице, то есть нам необходимо получить добротность по скорости:

$$D_{vg} = \frac{v_g}{\varepsilon} = \frac{2}{0,05} = 40.$$

Для отработки возмущающего воздействия достаточно обеспечить коэффициент передачи  $K_f = \frac{1}{\delta_{\omega f}}$  на частоте  $\omega_f = 30$  с<sup>-1</sup>:

$$\delta_{\omega f} = \frac{\varepsilon_m}{f_{\text{нп}}} = \frac{0,05}{1,534} = 0,033.$$

Результирующий коэффициент передачи  $K$ , обеспечивающий заданную точность при совместном действии  $g(t)$  и  $f(t)$ , определим, как:

$$K = D_{vg} + \frac{\omega_f}{\delta_{\omega f}} = 40 + \frac{30}{0,033} = 960,4. \quad (5)$$

Графическое отображение формулы (5) показано на рис. 3, на котором штриховкой обозначена запретная зона сформированного низкочастотного участка, учитывающая возмущающее воздействие.

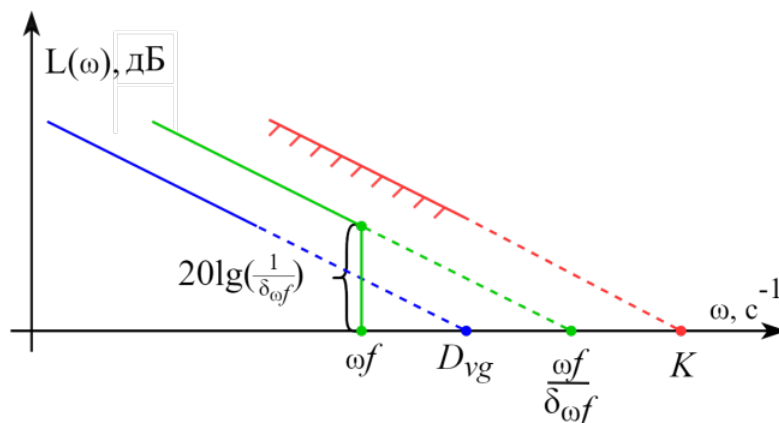


Рис. 3. Графическая иллюстрация построения низкочастотного участка

На рис. 4 синим цветом показан результат синтеза без учета возмущающего воздействия, то есть только по добротности  $D_{vg}$ , и красным цветом с учетом – по результирующему коэффициенту  $K$  (5).

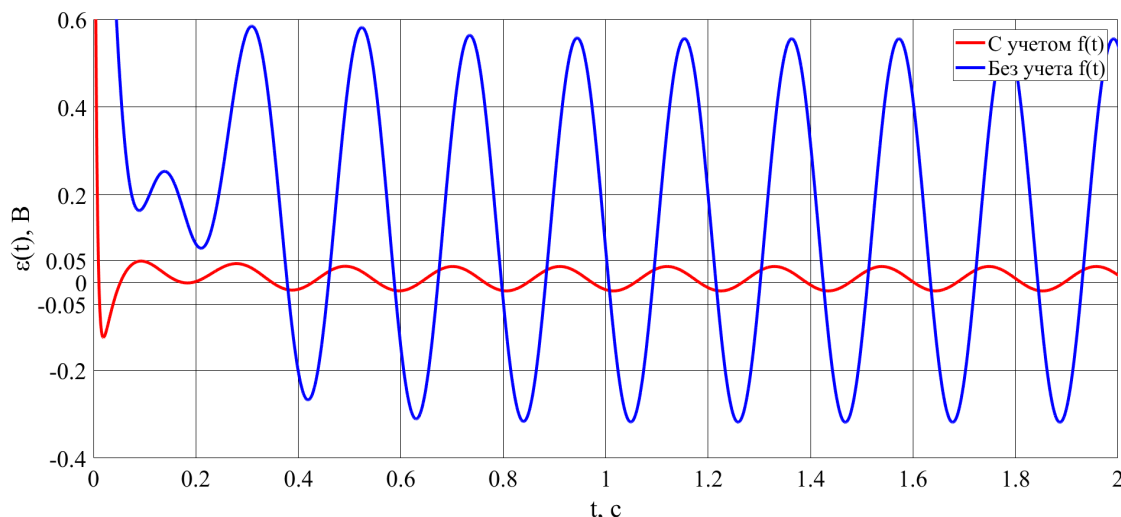


Рис. 4. Ошибка регулирования при одновременном действии  $g(t)$  и  $f(t)$

### Заключение

Синтез системы, использующий частотные характеристики, широко применяется в инженерной практике ввиду его простоты и ясного физического смысла. В данной статье этот метод был дополнен способом приведения возмущения к задающему входу. Предложенный способ позволяет провести точный расчет компенсации возмущения контуром регулирования по отклонению в тех случаях, когда организовать канал ввода возмущения технически невозможно.

### Библиографический список

1. Егулов Н. Д. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 3-х т. Т. 2: Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 736 с.
2. Ерофеев А. А. Теория автоматического управления: учебник для вузов. СПб.: Политехника, 2008. 302 с.

УДК 338.5

**А. В. Фахрутдинова**

магистрант кафедры программно-целевого управления в приборостроении

**В. А. Семенова** – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

### ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ РОССИИ

Энергетическая стратегия России на период до 2021 года определяет основные цели долгосрочной политики государства в электроэнергетике. В соответствии с этой стратегией особое внимание государства уделяется надежному обеспечению экономики и населения страны электрической и тепловой энергией, поддержанию целостности Единой энергетической системы России, а также повышению эффективности функционирования и устойчивого развития электроэнергетики с учетом современных технологий.

В целях привлечения средств и повышения инвестиционной привлекательности электроэнергетики в России в 2007 году были пересмотрены подходы к тарифной политике – введены свободные цены на продажу электроэнергии, проданной организациям по долгосрочным контрактам, и поэтапная либерализация в электроэнергетике. В период 2008–2011 годов был осуществлен переход к установлению долгосрочных регулируемых тарифов на основе долгосрочной индексации необходимого валового дохода и на основе RAB (доходности на вложенный капитал) модели, которые позволяют компаниям вкладывать свои инвестиционные доходы в тарифные ставки, что привело к высокому росту цен в первой половине 2011 года [1].

Электроэнергия является одним из основных секторов российской экономики и имеет важное межотраслевое значение, поскольку уровень и качество электроснабжения определяют условия производственной деятельности и общественных услуг. Электроэнергетика входит в десятку отраслей с наибольшим вкладом в ВВП России – в 2016 году она составляла 2,6 % ВВП. Потребление электроэнергии по регионам Российской Федерации за 9 месяцев 2017 года представлено на рис. 1, а потребление по секторам экономики за 2016 год – на рис. 2.

Таблица 1

#### Тариф на электрическую энергию (мощность), поставляемую потребителям в Санкт-Петербурге за первое полугодие 2019 года [2]

	Одноставочный тариф	Одноставочный тариф, дифференцированный по двум зонам суток		Одноставочный тариф, дифференцированный по трем зонам суток		
		Дневная зона (пиковая и полупиковая)	Ночная зона	Пиковая зона	Полупиковая зона	Ночная зона
Сбытовые компании – гарантирующие поставщики						
руб./кВтч (с НДС)						
АО «Петербургская сбытовая компания» ООО «Русэнерго-сбыт» АО «Петрозлектросбыт»	Население					
	4,61	4,9	2,83	4,93	4,61	2,83
	Население в домах, оборудованных электроплитами и (или) электроотопительными установками					
	3,46	3,67	2,13	3,71	3,46	2,13
Потребители, приравненные к населению						
	4,61	4,9	2,83	4,93	4,61	2,83

Таблица 2

**Тариф на электрическую энергию (мощность), поставляемую потребителям в г. Санкт-Петербург на второе полугодие 2019 года**

	Одноставочный тариф	Одноставочный тариф, дифференцированный по двум зонам суток		Одноставочный тариф, дифференцированный по трем зонам суток		
		Дневная зона (пиковая и полупиковая)	Ночная зона	Пиковая зона	Полупиковая зона	Ночная зона
Сбытовые компании – гарантирующие поставщики						
руб./кВтч (с НДС)						
АО «Петербургская сбытовая компания» ООО «Русэнерго-сбыт» АО «Петроэлектросбыт»	Население					
	4,75	5,13	2,96	5,16	4,75	2,96
	Население в домах, оборудованных электроплитами и (или) электроотопительными установками					
	3,56	3,84	2,22	3,89	3,56	2,22
	Потребители, приравненные к населению					
	4,75	5,13	2,96	5,16	4,75	2,96

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что производство и категория населения имеют наибольшую долю в общем объеме электроэнергии. Особого внимания заслуживает категория «потери в электрических сетях» – примерно 10 % произведенной электроэнергии теряется при транспортировке от производителя к конечному потребителю. Это серьезная проблема для электроэнергетики, которая является препятствием для развития электроэнергетического комплекса в целом [3].

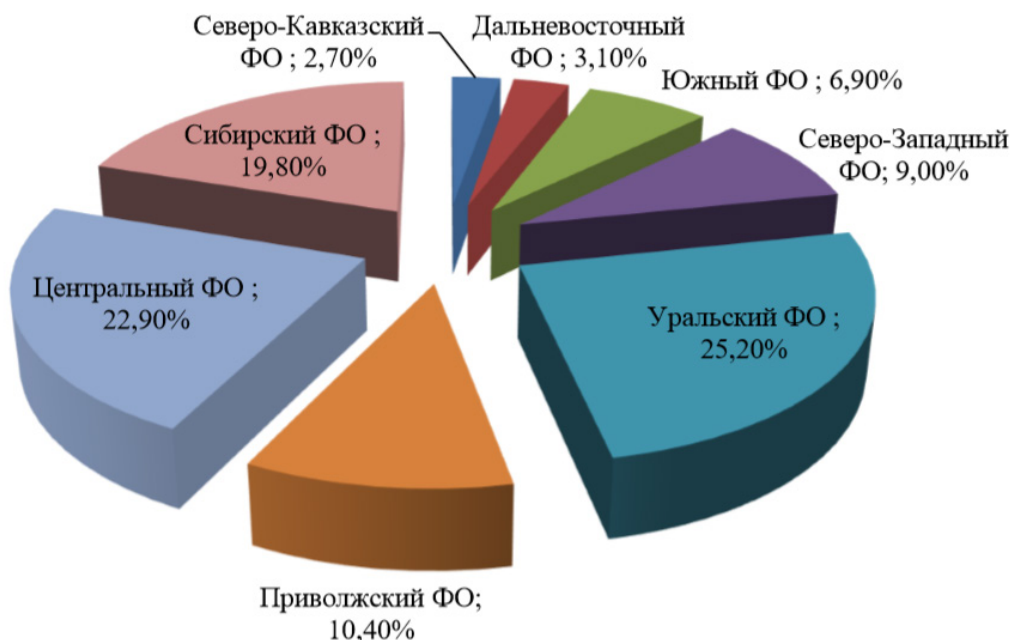


Рис. 1. Потребление электроэнергии по регионам РФ за 2016 год

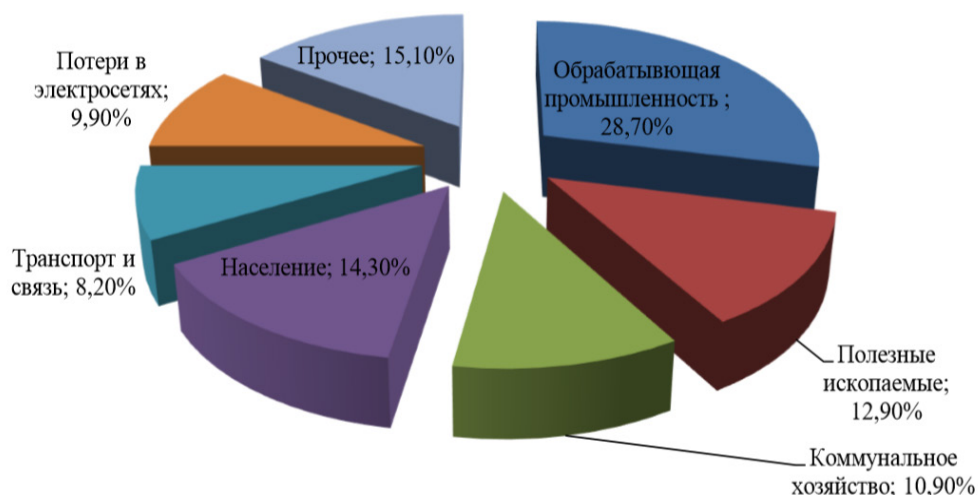


Рис. 2. Потребление электроэнергии в РФ в разрезе секторов экономики за 2016 год

На данный момент структура потребления примерно сохранилась.

Необходимость модернизации электрических сетей, ухудшение которых достигло критического уровня, неизбежно приводит к повышению тарифов на электроэнергию, что существенно снижает конкурентные преимущества отечественного производства. В таких условиях для успешного реформирования электроэнергетики в соответствии со стратегией 2035 года необходимо сбалансировать долгосрочные интересы всех субъектов рынка электроэнергии. Достижение баланса интересов всех участников рынка будет способствовать повышению эффективности проводимых реформ. Модель эффективного функционирования электроэнергетики предполагает:

- поощрение владельцев электрических компаний к поиску путей инновационного развития;
- повышение уровня капитализации электроэнергетических компаний;
- обеспечение оптимального и рационального объема потребления электроэнергии конечными потребителями;
- обеспечение достойного качества жизни населения страны.

Представленные аспекты поднимают одну из основных проблем электроэнергетики – справедливость и обоснованность цен на электроэнергию не только с точки зрения продавцов и покупателей, но и с точки зрения развития общества. С 2006 года в Российской Федерации перекрестное субсидирование применяется для установления справедливой цены, которая выражается в перераспределении бремени платежей за электроэнергию между различными категориями потребителей, что сдерживает рост тарифов на электроэнергию для населения при одновременном увеличении дополнительной нагрузки для промышленных предприятий, то есть некоторые категории потребителей фактически оплачивают часть стоимости электроэнергии, потребляемой другими категориями потребителей [4].

Государственное регулирование в электроэнергетике (включая ее ценовой аспект) закреплено в Указе Президента Российской Федерации от 28 апреля 1997 года № 426 «Об утверждении основных положений структурной реформы в сфере естественных монополий». Указ направлен на создание механизма пропаганды процесса установления тарифов, введение единых правил «доступа к сети» для всех, а также на отделение независимых предприятий отрасли от естественных монополий по экономическим причинам. Фактически, этот документ определяет цели реформирования отрасли, и для успешного осуществления реформы необходимо создать [5]:

- конкурентные рынки электроэнергии во всех регионах России;
- условия для строительства и эксплуатации новых мощностей по производству и передаче электроэнергии;
- систему поддержки для бедных;

- нормативно-правовую базу для реформирования отрасли, которая регулирует ее функционирование в условиях рыночных отношений;
  - эффективный механизм снижения затрат в сфере производства, передачи и распределения электрической энергии;
- а также:
- устранить перекрестное субсидирование различных регионов и групп потребителей электроэнергии;
  - развивать единую инфраструктуру электроэнергетики, включая магистральные сети и диспетчерское управление;
  - стимулировать энергосбережение во всех сферах экономики;
  - реформировать систему государственного регулирования, управления и надзора в сфере электроэнергетики.

Основной целью реформирования отрасли является повышение эффективности предприятий отрасли, создание условий для развития за счет стимулирования инвестиций, а также надежного и бесперебойного энергоснабжения потребителей.

Государственная политика в области электроэнергетики осуществляется в три этапа. Первый этап состоял в преодолении кризисного состояния экономики и формировании основ новой экономики.

Второй этап – этап перехода к инновационному развитию и формирования инфраструктуры новой экономики. Основная цель этапа – повышение энергоэффективности в секторах электроэнергетики. На данном этапе отрасли электроэнергетического комплекса должны обновляться за счет отечественных технологий, материалов и оборудования исходя из активного взаимодействия топливно-энергетического комплекса и промышленности, предусмотренного на первом этапе, а также основа международного сотрудничества. Этот этап предусматривает ослабление участия государства в развитии энергетической отрасли за счет внедрения различных форм государственно-частного партнерства и, главным образом, строительства и модернизации электроэнергетической структуры.

Третий этап предполагает развитие инновационной экономики. На этом этапе осуществляется постепенный переход к энергии будущего с использованием принципиально новых технологических возможностей для дальнейшего развития.

С 1 июля 2018 года в соответствии с Приказом Федеральной антимонопольной службы Российской Федерации от 21 ноября 2017 года № 1554/17 «Об утверждении Методических указаний по расчету товарных наценок для гарантированных поставщиков с использованием метода аналогового сравнения» все гарантирующие поставщики (ГП) переходят на новую форму для расчета необходимой валовой выручки (NVV) и маркетингового пособия. Все ГП, работающие в одном и том же субъекте Российской Федерации, получают равные условия.

Экономическая модель, представленная Приказом, постатейно описывает деятельность государственных предприятий, что дает возможность рассчитать базовый необходимый валовой доход в зависимости от:

- потребительских структур;
- количества точек поставки;
- требуемого уровня качества;
- кластера.

Основной целью новой тарифной политики является постепенное привлечение государственных предприятий NVV к эталонному доходу государственных предприятий. Все потребители, находящиеся на территории субъекта Российской Федерации, делятся на 3 категории [6]:

1. Население и приравненные к нему потребители.
2. Сетевые организации, покупающие электроэнергию для компенсации ее потерь.
3. Другие потребители. Премии для этой категории потребителей устанавливаются дифференцированно в зависимости от максимальной мощности приемных устройств (менее 670 кВт, от 670 кВт до 10 МВт и не менее 10 МВт).

Структура розничного рынка электроэнергии представлена на рис. 3 [7]. Электричество на розничном рынке продается двумя способами: по регулируемым договорам или по конкурентным (нерегулируемым) ценам.

По ценам, регулируемым государством, электроэнергия реализуется населению, группам потребителей, приравнивается к населению и в рамках неценовых зон оптового рынка. Регулируемые цены устанавливаются исходя из прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на следующий год, утвержденного Правительством Российской Федерации. Федеральная служба по тарифам Российской Федерации (ФСТ Российской Федерации) устанавливает минимальный и максимальный уровни регулируемых тарифов на электроэнергию для населения, при этом применяется одностарифный тариф, который классифицируется в зависимости от площади и установленного оборудования.



Рис. 3. Структура розничного рынка электроэнергии

Регулируемые тарифы на розничных рынках неценовых зон (кроме населения и эквивалентных категорий потребителей) устанавливаются властями российских регионов тремя различными способами:

- одностарифный тариф (цена) – общая стоимость подачи 1 кВт/ч электроэнергии с учетом стоимости электроэнергии;
- двухставочный тариф (цена), дифференцированный на два (дневной – ночной) и три (пиковый – полупиковый – ночной) часовые пояса дня – общая стоимость поставки 1 кВт/ч электроэнергии с учетом стоимости мощность;
- трехчастный тариф (цена) – включает тариф за 1 кВт/ч электроэнергии, тариф за 1 кВт электроэнергии, оплаченный потребителем за расчетный период, и тариф за 1 кВт электроэнергии, определенный в соответствии с Правилами – дискриминационный доступ к передаче электроэнер-

гии и предоставление этих услуг. Этот тариф могут использовать потребители, максимальная мощность которых превышает 670 кВт.

### Библиографический список

1. Менеджмент и маркетинг в электроэнергетике, учебное пособие для студентов вузов / А. Ф. Дьяков, Б. К. Молодюк, В. В. Жуков. М.: МЭИ, 2014. 68 с. 31.
2. Официальный сайт. URL: <https://energybase.ru/> (дата обращения: 02.02.2020).
3. Гореликова-Китаева О. Г., Попова А. В., Рахматуллин Р. Р. Нормативно-правовая база в области регулирования ценообразования в электроэнергетике. Формирование рыночного хозяйства: теория и практика. 2016. С. 42–45.
4. Давыдовский Ф. Н. Проблемы развития оптового рынка электроэнергии и мощности: формирование тарифов и оценка качества товара на основе системы показателей // Экономика, предпринимательство и право. 2014. № 7. С 58–64.
5. Научно-техническая библиотека. Рынок электроэнергетики: URL: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10603.html> (дата обращения: 14.01.2020).
6. Менеджмент и маркетинг в электроэнергетике: учеб. пособие для студентов вузов / А. Ф. Дьяков, Б. К. Молодюк, В. В. Жуков. М.: МЭИ, 2014. 68 с. 31.
7. Тимофеева Ю. Н., Норманский Р. Н. Характеристика методов тарифообразования в электроэнергетике России. Проблемы современной экономики. Новосибирск, 2016. С. 134–142.



УДК 620.9

**А. А. Федоров**

студент кафедры программно-целевого управления в приборостроении

**В. А. Сердитов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

## ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ФЕРМ

### Введение

Необходимый для правильного роста высаженных в теплицах культур подогрев воздуха в теплицах, а также регулирование температуры воды для их полива приводит к необходимости больших затрат на тепловую энергию. Для того чтобы получить тепло, большинство тепличных хозяйств используют котлы, в которых используется первичный энергоноситель. Он в свою очередь сжигается только с целью получения тепловой энергии для отопления. В большинстве случаев в качестве поставщика электроэнергии для питания технологического оборудования ферм выступают региональные или муниципальные компании, занимающиеся энергосбытовой деятельностью [1].

Размещение фермерских хозяйств непосредственно у потребителя, в городах – это единственный способ избавиться от бесконечных транспортных потоков, обеспечивающих доставку продукции с полей, а также необходимость организации их хранения и реализации.

На предприятиях большая часть расходуемых водных ресурсов тратится на проведение охлаждающих процедур работающего оборудования. Циркуляция данной воды происходит в системах, которые систематически нагреваются и охлаждаются в рабочих зонах. При этом отрицательным моментом в данном случае является тот факт, что в процессе испарения большое количество воды полностью теряется. Подобные потери принято компенсировать посредством подачи в производственные системы некоторого количества пресной воды. Затраты на энергоснабжение в подавляющем большинстве производственных сфер колеблется в пределах 70–80 % от общих показателей финансовых затрат.

### Основная часть

Под термином «вертикальное сельское хозяйство» принято понимать размещенный в специализированном сооружении высокоавтоматизированный агропромышленный комплекс. Основное отличие данного вида сельского хозяйства от «классического» тепличного хозяйства заключается в интенсивном подходе к использованию территориальных ресурсов, а также в концепции вертикального многоярусного размещения сельскохозяйственных насаждений культур.

Одним из важнейших путей повышения энергоэффективности на вертикальных фермах является использование автономного энергоснабжения городских вертикальных ферм за счет:

- 1) централизованного электроснабжения;
- 2) солнечной энергии;
- 3) ветровой энергии;
- 4) мини-ТЭЦ.

### Централизованное электроснабжение

На различных территориях, обжитых на сегодняшний день человеком, приходится обеспечивать необходимый уровень подогрева воздуха в жилых помещениях. Особенно это актуально для северных территорий, в том числе районов Крайнего Севера в России. Стоимость установки необходимых для этого систем обогрева, как правило, очень высокая и окупается десятками лет. Ситуация с жесткой конкуренцией на рынке оборудования для отопления – это естественная ситуация. Стоит отметить, что с учетом подобной рыночной ситуации использование данного вида в автономных системах электроснабжения городских вертикальных ферм не всегда целесообразно по причине зависимости данного оборудования от поставщика оборудования и услуг [2].

В целом же, у централизованной системы всего несколько преимуществ:

1. Возможность вывода взрывоопасного технологического оборудования за пределы помещения, где происходит процесс культивации с/х продукции.
2. Возможность функционирования системы на различных видах топлива.
3. Более высокий уровень КПД больших ТЭЦ и тепловой КПД котельных, работающих на твердом топливе.

Критерий отказа от использования данного вида электроснабжения при оборудовании вертикальных ферм – это чрезмерно высокие финансовые расходы на покупку, установку и обслуживание систем электропитания. Данные затраты тесно связаны с показателями плотности нагрузки на вертикальную ферму.

### Солнечная энергия

Солнечная энергетика представляет собой направление развития альтернативной энергетики, основанное на непосредственном использовании излучения солнечной энергии в процессе получения энергии в удобных для применения в народном хозяйстве формах. Этот вид энергетики использует Солнце, то есть возобновляемый источник энергии, при этом он признан «экологически чистым», а значит, не производит каких-либо вредных отходов в процессе прохождения активной фазы расходования энергоресурса. Производство энергии с использованием солнечной электростанции соответствует принципам с реализации концепции распределенного производства энергии [3].

Солнечная энергетика на сегодняшний день – это наиболее перспективное направление развития возобновляемой энергетики, базирующееся на непосредственном использовании солнечного излучения с целью получения энергии для электроснабжения и отопления.

Ключевыми преимуществами данного вида альтернативной энергетики являются:

1. Высокий уровень перспективности, доступности и неисчерпаемости источника энергии. Все это особенно актуально даже в контексте постоянного роста цен на традиционные виды энергоресурсов.

2. Высокий уровень экологичности.

Несмотря на всю свою перспективность, солнечная энергетика также имеет ряд недостатков:

1. Значительная зависимость от времени суток и погодных условий.
2. Высокая стоимость производства и монтажа. Этот фактор обусловлен в первую очередь наличием в составе солнечных панелей индия и теллура – дорогих и очень редких химических элементов.
3. Необходимость регулярного обслуживания и чистки, отражающих и поглощающих поверхностей от пыли и прочих загрязнений.
4. Фактор нагрева над солнечным преобразователем атмосферного воздушного участка.
5. Наличие необходимости использования больших территорий для оборудования солнечной электростанции.

### Ветровая энергия

Ветроэнергетика представляет собой область энергетики, главной особенностью которой является технологический процесс преобразования кинетической энергии воздушной массы в атмосфере в тепловой, электрический и механический вид энергии. Иными словами, в такую форму энергии, которая была бы удобна для использования в различных сферах промышленности и сельского хозяйства. Все процессы преобразования можно проводить с использованием ветрогенератора (в процессе получения электрической энергии), ветряной мельницы (в процессе преобразования в механический вид энергии), парусной установки (в транспортной отрасли) и т. д. [4].

Использование ветроэнергетики, в том числе при оборудовании вертикальных ферм, имеет ряд значимых преимуществ:

1. *Общедоступность.* Ветер относится к возобновляемому энергосырьему. Он будет существовать, пока существует Солнце. Он представляет максимальную безопасность для человека и для окружающей среды.

2. *Легкость в работе и управлении.* Оборудованию для преобразования энергии ветра требуются только периодическое техническое обслуживание. Ремонт турбин или их замена, которые случаются достаточно редко, являются задачей средней сложности.

3. *Перспективность.* Отрасль ветроэнергетики на текущий момент имеет огромный потенциал для дальнейшего развития.

При всех преимуществах ветроэнергетика также имеет ряд серьезных недостатков:

1. Высокий стартовый капитал. Запустить вертикальную ферму будет достаточно сложно, так как закупка и монтаж ветрооборудования требуют больших финансовых вложений.

2. Выбор территории. Не все регионы и климатические зоны подходят для строительства ветроэнергетических комплексов.

Таким образом, можно говорить о том, что энергия ветра представляет собой неисчерпаемый вид энергии, а трансформация кинетической энергии ветра в электрическую является экологически чистым процессом.

### Мини-ТЭЦ

Мини-ТЭЦ в свою очередь – это электростанция с комбинированным производством тепла и электроэнергии, расположенная в непосредственной близости от потребителя электроэнергии. С точки зрения своей конструкции и состава, мини-ТЭЦ является сложной комплексной системой, состоящей из множества систем, непрерывно взаимодействующих между собой, обеспечивая мини-ТЭЦ непрерывное функционирование.

К ключевым достоинствам мини-ТЭЦ относятся:

1. Малая себестоимость вырабатываемой энергии.

2. Показатель КПД мини-ТЭЦ приближается к 87–91 %, что в два раза больше аналогичного показателя обычных ТЭЦ.

3. Быстрая окупаемость.

4. Малый расход топливного ресурса и высокая долговечность.

5. Экологическая безопасность.

Основной целью сооружения мини-ТЭЦ является достаточное и надежное обеспечение потребностей в электроэнергии и тепле при одновременном рациональном применении ТЭР согласно требованиям охраны окружающей среды и быстром возврате инвестиций. Строительство мини-ТЭЦ при небольших эксплуатационных и капитальных затратах дает реальную возможность обеспечения максимального показателя прибыли от инвестиций.

### Расчет мини-ТЭЦ для вертикальной фермы площадью 500 кв. м

При проектировании вертикальной фермы площадью 500 кв. м с точки зрения экономической эффективности необходимо просчитать все виды затрат:

1. Затраты на приобретение земли в черте города под строительство вертикальной фермы.

2. Средства, необходимые для приобретения оборудования, оплаты за стеллажи, систему питания растений, прочие затраты на внутреннее обустройство фермы.

3. Оборудование, которое требуется для установки и последующей функционирования мини-ТЭЦ.

4. Затраты на сырье и иные непредвиденные затраты.

В процессе расчета экономического эффекта на производственные условия необходимо учитывать следующие факторы:

1. Текущие тарифы на электроэнергию в регионе, а также действующие оптовые, розничные и договорные цены.

2. Установленные на законодательном уровне нормативы оплаты за производственные ресурсы.

3. Актуальные нормативы отчисления от прибыли предприятий в государственный и местный бюджет.

4. Расчетные нормы и действующие правила расчетов для предприятий с банковскими компаниями за кредиты или хранение собственных средств и прочие нормативы.

5. Срок окупаемости, включающий в себя такие показатели, как чистая приведенная стоимость и индекс доходности.

Чистая приведенная стоимость – это суммарный эффект за весь планируемый срок реализации проекта вертикальной фермы на 500 кв. м, сниженный до начального периода времени. Он также может быть представлен как превышение интегральных результатов над интегральными затратами за необходимый период:

$$ЧДД = Э_{инт} = \sum_{t=1}^{T_2} (P_t - Z_t) \alpha_t,$$

где Э<sub>инт</sub> – интегральный эффект; P<sub>t</sub> – результат на t-м шаге; Z<sub>t</sub> – затраты t-м шаге (году); α<sub>t</sub> – коэффициент дисконтирования или дисконтный множитель; E – норма дисконта; t – номер шага расчета (номер года после начала финансирования проекта); T<sub>г</sub> – горизонт расчета (количество лет).

Индекс доходности в свою очередь описывает отношение суммы приведенных эффектов к общему показателю капитальных вложений. Его значение рассчитывается исходя из выражения:

$$ИД = \frac{\sum_{t=1}^{T_2} (P_t - Z_t) \alpha_t}{\sum_{t=1}^{T_2} K_t \alpha_t}.$$

Индекс доходности тесным образом взаимосвязан с чистым дисконтированным доходом. Если его значение положительно, то индекс рентабельности будет больше единицы, что является ключевым показателем эффективности проектируемой фермы. При всех значениях индекса рентабельности меньше единицы проекты вертикальной фермы можно считать неэффективными.

Ключевым экономическим показателем является итоговая себестоимость производимой электроэнергии.

Необходимо рассчитать итоговую себестоимость производимой электроэнергии мини-ТЭЦ модели Siemens SGE-56SM. Данная модель была выбрана потому, что стоимость обслуживания газопоршневых электростанций Siemens – одна из самых низких в России.

При расчете воспользуемся следующими исходными данными:

- Стоимость газа: 6000 руб. с НДС за 1000 нм<sup>3</sup> при теплотворной способности 33,5 МДж/нм<sup>3</sup>.
- Стоимость масла: 230 руб. с НДС за 1 литр.
- Курс Евро: 72 руб./Евро.
- 1 год – 8000 рабочих моточасов.
- Общая площадь вертикальной фермы = 500 м<sup>2</sup>.
- Все цены даны с учетом НДС 20 %.

Рассчитаем основные экономические показатели рассматриваемой мини-ТЭЦ:

1) расход газа для рассматриваемой электростанции Siemens SGE-56SL/40 мощностью 1001 кВт составляет 276,7 нм<sup>3</sup> в час на 100 % нагрузке. Таким образом, затраты определяются по формуле:

2) расход топлива заданной калорийности \* стоимость газа за 1000 нм<sup>3</sup> с НДС / 1000 нм<sup>3</sup> / мощность = 276,7 \* 6000 / 1000 / 1001 = 1,66 руб. на 1 кВт\*ч;

3) затраты на замену масла.

В газопоршневой электростанции Siemens SGE-56SL/40 замену масла нужно проводить каждые 2500 моточасов или реже в зависимости от условий эксплуатации. Объем масла на замену составляет 232 литра. Для расчетов возьмем самый частый период замены – 2500 часов. Если же в процессе эксплуатации интервал будет увеличен, то это только снизит себестоимость электроэнергии.

Затраты на замену масла определяются по формуле:

Объем меняемого масла \* стоимость одного литра / регулярность замены / мощность = 232\*230 / 2500 / 1001 = 0,021 руб. на 1 кВт\*ч;

4) затраты на запасные части (в том числе на капитальный ремонт мини-ТЭЦ).

Для расчета итоговых затрат на запасные части очень важно учитывать все запасные части, необходимые на весь жизненный цикл газопоршневой электростанции, включая капитальный ре-

монт. Данный подход обусловлен тем, что предполагаемые затраты должны обеспечить бесперебойное функционирование электростанции как до, так и после капитального ремонта. Для электростанции Siemens мощностью 1001 кВт стоимость всех запасных частей составляет 389 583 Евро. Следует заметить, что запчасти при благоприятных условиях эксплуатации можно менять реже, что снизит стоимость производимой электроэнергии. Итоговая себестоимость запасных частей определяется по формуле:

Стоимость запасных частей в Евро\* курс евро / ресурс до капитального ремонта, часов / мощность = 389 583 Евро \* 72 руб. / 60 000 / 1001 = 0,467 руб. на 1 кВт\*ч, включая затраты на капитальный ремонт (обновление электростанции) каждые 60 тысяч моточасов;

5) итоговая себестоимость складывается из суммы всех затрат на производство электроэнергии (газ, масло, сервис, работы, налоги, амортизация) и экономии средств за счет утилизации тепла.

Без учета утилизируемого тепла: 1,66 руб. + 0,021 + 0,046 + 0,467 + 0,088 + 0,13 + 0,21 = 2,622 руб. на 1 кВт\*ч. с НДС 20 %.

С учетом утилизируемого тепла: 1,66 руб. + 0,021 + 0,046 + 0,467 + 0,088 + 0,13 + 0,21 - 0,779 = 1,834 руб. на 1 кВт\*ч. с НДС 20 %.

### Выводы

В настоящее время нет острой необходимости в массовом строительстве вертикальных ферм, однако в самое ближайшее время она обязательно появится. Проблема энергообеспечения вертикальных ферм из года в год становится все важнее. Потребности человека постоянно растут, а также происходит увеличение населения. Исчерпаемые ресурсы рано или поздно закончатся, а использование альтернативных источников и применение энергосберегающих технологий еще недостаточно хорошо налажено. Перед человечеством встала задача подлинно исторического значения – перейти к использованию надежных, полностью безопасных для жизни человека и окружающей его природы источников энергии, ее разумному расходованию, устойчивому, экономически эффективному энергообеспечению.

### Библиографический список

1. Издательский Центр Аква терм. Автономная генерация для теплиц: урожай выше – энергозатраты ниже. URL: [https://aqua-therm.ru/articles/articles\\_561.html](https://aqua-therm.ru/articles/articles_561.html) (дата обращения: 14.01.2020).
2. Портал «Энергосовет». Стратегия повышения энергоэффективности в муниципальных образованиях. URL: <http://www.energsovet.ru/stenergo.php> (дата обращения: 14.01.2020).
3. ЭКОТОК. Экологические Технологии Альтернативная Энергетика. URL: [http://www.ecotoc.ru/alternative\\_energy/solar\\_energy/d67/](http://www.ecotoc.ru/alternative_energy/solar_energy/d67/) (дата обращения: 14.01.2020).
4. Электротехнический портал. Ветроэнергетика. URL: <http://электротехнический-портал.pf/vetroenergetika.html> (дата обращения: 14.01.2020).

УДК 621.3

**М. И. Ферштадт**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**О. Б. Чернышева** – старший преподаватель – научный руководитель

### ЗАРЯДНЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

При рассмотрении вопроса о развитии зарядных станций и их типах необходимо рассмотреть, какую нишу занимают электромобили в общей доле автомобилей. Если рассматривать мировой рынок электромобилей, то в 2018 году был зафиксирован рекордный объем продаж – 2,1 млн ед. против 0,5 млн ед. в 2015 году, то есть прирост продаж составил 420 %. В то же самое время объем продаж автомобилей с двигателями внутреннего сгорания в 2018 году составил 86,1 млн ед. [1]. На основании этих данных уровень востребованности электромобилей значительно ниже уровня традиционных автомобилей. Однако по прогнозам экспертов к 2030 году уровень продаж может резко возрасти – до 27 млн ед., что приведет к необходимости создания сетей зарядных станций для электромобилей.

Автономный электромобиль приводится в движение при помощи электрического мотора, питающегося от автономного источника электропитания. Различают два типа электромобилей:

- полностью электрические – в качестве такого источника используются аккумуляторные батареи или топливные элементы;

- гибридные – имеют в своем составе электромотор и двигатель внутреннего сгорания.

На рис. 1 представлена структура продаж электромобилей рассмотренных типов в 2018 году.

Мировым лидером продаж электромобилей является Китай – 54 % от общемирового уровня продаж, на страны Европы приходится 19 %, замыкает тройку лидеров США – 18 % [1].



Рис. 1. Структура продаж электромобилей в мире на начало 2019 года

По прогнозам аналитиков, увеличение количества электромобилей приведет к росту потребленной электроэнергии, необходимой для их зарядки с 20 млрд кВт/ч в 2019 году до 280 млрд кВт/ч к 2030 году [2]. Однако не стоит считать это достаточно высокой цифрой, поскольку на сегодняшний момент она составляет около 10 % от общего потребления.

Рассмотрим, какие тенденции в области развития эксплуатации и, соответственно, зарядных станций наблюдаются в России. На рис. 2 представлена динамика роста парка электромобилей в период с 2015 по 2019 год. Из представленного графика видно, что в России в 2019 году насчитывалось только 4600 ед. машин.

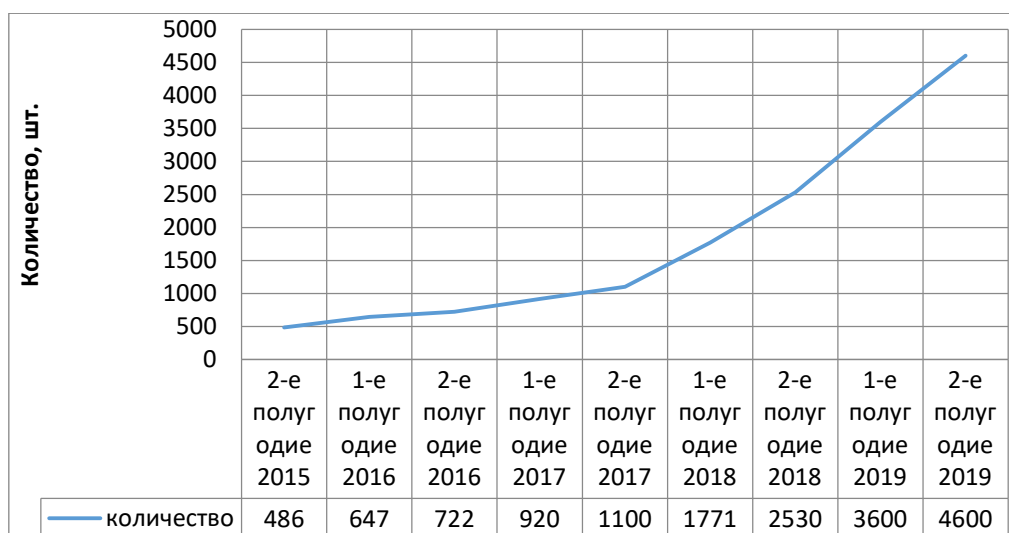


Рис. 2. Динамика роста парка электромобилей в России

Анализ рис. 2 показывает, что Россия значительно отстает от мировых лидеров в области эксплуатации электромобилей. Если сопоставить количество автомашин с двигателем внутреннего сгорания и электромобилей, то доля последних составляет всего 0,01 % всего автопарка России [3]. Причиной очень низкой популярности электромобилей можно назвать отсутствие разнообразия моделей. Примерно 3700 ед., или 80 %, приходится на Nissan Leaf; на втором месте – модели Tesla, их примерно 300 ед., или 6,5 %.

Ситуация с развитием сети зарядных станций выглядит соответствующим образом (рис. 3).



Рис. 3. Статистика количества электрозаправочных станций (2018 г.)

Стоит отметить, что к 01.01.2020 количество зарядных станций в Москве увеличилось до 161, а в Санкт-Петербурге – до 46.

В чем же причина столь низкого уровня развития зарядных станций?

В настоящее время рассматриваются три способа зарядки электромобиля:

- от обычной бытовой розетки. Это самый простой и доступный способ зарядки. Комплектация электромобиля включает в себя зарядное устройство, которое работает от обычных розеток в зависимости от страны эксплуатации с напряжением 110 и 220 В. Достоинством этого способа является массовая доступность, недостатком – медленная зарядка аккумулятора;

- от специальной трехфазной розетки. Использование этого способа зарядки возможно только при наличии трехфазного ввода с соответствующим разрешением от управляющей энергосети. Трехфазная сеть, как правило, имеется на промышленных предприятиях, специализированных ла-

бораториях и т. д. Также она может быть организована на объектах личной собственности, например в гараже. Основное преимущество этого способа – увеличение скорости зарядки аккумулятора;

- станция быстрой зарядки или зарядная станция. Создание сети электрозаправочных станций в крупных городах по планам должно развиваться быстро, но все равно их количество очень мало. Хотя по результатам исследования 2GIS, количество зарядных станций в России к 01.01.2020 увеличилось в 3 раза по сравнению с 2018 годом [3].

Рассмотрим типы эксплуатируемых в настоящее время зарядных станций. Существует 3 вида:

- зарядная станция, работающая на переменном токе. В основе работы такой станции лежит преобразование через инвертор переменного тока в постоянный, который заряжает аккумуляторную батарею. Мощность станции до 20 кВт, предназначена преимущественно для мест длительной парковки электромобиля;

- зарядная станция постоянного тока. Такая станция не требует дополнительного оборудования, поскольку заряд аккумуляторной батареи идет напрямую от источника питания. Мощность таких станций составляет от 25 до 350 кВт. Станции мощностью более 50 кВт являются идеальным вариантом для общественных парковок, а станции 250 кВт и более – для зарядных станций вдоль автомобильных магистралей;

- беспроводная зарядная станция. В основе работы такой станции лежат электромагнитные волны, использующиеся для зарядки аккумуляторных батарей. Мощность таких станций невелика – до 11 кВт.

Чем больше емкость батареи, тем дольше она будет заполняться при прочих равных. Например, если зарядная станция будет выдавать 10 кВт в час, а емкость батареи составляет 65 кВт/ч, то для полного заряда такого АКБ потребуется 6,5 часа. То есть батарея мощностью 65 кВт/ч сможет выдавать мощность 65 кВт на протяжении одного часа или же сможет вращать двигатель на 1 кВт на протяжении 65 часов.

Производители электромобилей применяют 7 различных стандартов в зависимости от страны предназначения электромобиля. Например, в холдинге «Ленэнерго» Санкт-Петербурга применяются наиболее известные виды зарядных кабелей для электромобилей, таких как ChaDeMo, Mannekes (Type2), Schuko и CCS. Например, зарядная станция ЭСЭМ-1-50К-2 для быстрого заряда постоянным током по стандартам CCS Combo 2 или ChaDeMo имеет 2 зарядных пистолета, модульную конструкцию, сенсорный 10 ЖК-дисплей, а также интеграцию в платежные и учетные системы [4].

Немаловажную роль для электромобиля играет стоимость его зарядки. Здесь многое зависит от стоимости электроэнергии в конкретном регионе, тарифов на конкретной зарядной станции и т. д.

Например, для зарядки Tesla 3, батарея которой имеет емкость 60 кВт/ч (при условии заряда от 0 до 100 %), расходуется около 60 кВт энергии (на практике необходимо брать как минимум 10-й % запас с учетом потерь на зарядках, проводах и т. д.). Учитывая это, можно сделать приблизительный расчет стоимости зарядки электромобилей.

К примеру, в Санкт-Петербурге 60 кВт энергии будут стоить (по тарифам дневной зоны на 2020 г. 5,13 руб. за 1 кВт/ч) 307,8 руб. По тарифам ночной зоны (2,96 руб. за 1 кВт/ч) те же 60 кВт будут стоить 177,6 руб. Запас хода автомобиля составляет около 300 км. Это означает, что каждые 100 км обойдутся в 102,6 руб. при зарядке по тарифам дневной зоны и в 59,2 руб. при зарядке по тарифам ночной зоны. Средняя стоимость 1 литра бензина марки А-95 на АЗС «Киришиавтосервис» составляет 46,35 руб., что соответствует средней цене по городу. Следовательно, 100 км пути при среднем расходе топлива 8–10 литров (учитывая и город, и автомагистрали) составит 370,8–463,5 руб. Простой сравнительный анализ показывает, что эксплуатация электромобиля значительно дешевле эксплуатации автомобилей, работающих на бензиновом топливе.

При использовании зарядных станций стоимость зарядки зависит от того, какие тарифы на ней установлены. Для примера рассмотрим Nissan Leaf, емкость АКБ которого составляет 24 кВт/ч. При зарядке в общей сложности расходуется около 25 кВт. Для рассмотренного выше примера стоимость по тарифам дневной зоны будет составлять 128,25 руб., по ночной зоне – 74 руб. по вышеуказанному тарифу это будет стоить 71 рубль. Тогда стоимость 100 км пути при запасе хода все те же 300 км будет составлять 42,75 руб. и 25 руб. соответственно.



Почему при такой экономической выгоде рынок электромобилей представлен довольно скромно? Этому могут способствовать ряд причин:

- Климатические условия. Многие электромобили могут эксплуатироваться при температуре до минус 15 °С, но учитывая, что зимний период в России может составлять до 7 месяцев, о прорыве электромобилей на отечественный рынок говорить не приходится.
- Огромная территория страны. При перемещениях в радиусе действия заряда аккумуляторной батареи использование электромобиля является вполне приемлемым. Но самый распространенный электромобиль Nissan Leaf способен проехать без подзарядки не более 200 км, так что говорить о длительных путешествиях не приходится, поскольку остро встает вопрос о зарядных станциях, которых катастрофически не хватает. Например, по вновь открывшейся магистрали М-11 Москва – Санкт-Петербург на электромобиле из одного пункта в другой не доехать, поскольку аккумуляторные батареи не рассчитаны на расстояние 705,3 км. Следовательно, должны быть как минимум две зарядные станции на скоростной трассе, но на текущий момент нет ни одной. Зарядка аккумуляторов занимает значительно больше времени, чем заправка ГСМ или сжиженным газом. Поэтому о временной выгоде можно забыть, и экономическая выгода теряет смысл.
- Утилизация аккумуляторных батарей. Наибольшее количество электромобилей сосредоточено в Приморском крае. Связано это с тем, что в основном из Японии на наш рынок поступают поддержанные электромобили со сроком службы аккумуляторов более 10 лет. Электромобили работают на литий-ионных аккумуляторах, для которых нужны критические металлы литий и кобальт, а также различные редкоземельные элементы – неодим, лантан, тербий и диспрозий [3]. К сожалению, в данный момент совершенной технологии утилизации отработанных батарей без ущерба окружающей среде нет, хотя разработки в этом направлении ведутся.

#### Библиографический список

1. URL: <https://express.liberty7.ru/blog/electric-cars-rossia-mir> (дата обращения: 15.02.2020).
2. URL: <https://www.elec.ru/articles/perspektivy-razvitiya-otrasli-zaryadnyh-ustrojstv/> (дата обращения: 20.02.2020).
3. URL: <https://www.gazeta.ru/business/2020/02/02/12939890.shtml> (дата обращения: 25.02.2020).
4. URL: [https://parus-electro.ru/presentations/09\\_ev\\_charger\\_station.pdf](https://parus-electro.ru/presentations/09_ev_charger_station.pdf) (дата обращения: 20.02.2020).

УДК 621.3

**А. В. Ходин**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**О. Б. Чернышева** – старший преподаватель – научный руководитель

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Приоритетной задачей в электроэнергетике на сегодняшний день является повышение энергоэффективности и энергосбережения не только в промышленном секторе экономики, но и на уровне бытового пользователя. Реформирование электроэнергетической отрасли началось в 1997 году. Указом Президента Российской Федерации от 28.04.1997 № 426 «Об одобрении основных положений структурной реформы в сферах естественных монополий», который определил цели реформирования отрасли и пути ее достижения [1]. В 2009 году Правительство Российской Федерации Распоряжением от 13 ноября 2009 года № 1715-р утвердило Энергетическую стратегию России на период до 2030 года, на которой в настоящее время базируется все регулирование отрасли [2]. Одним из основных направлений стратегии является введение системы перспективных регламентов энергоэффективности, основанных на современных информационных технологиях. В развитии этого направления приоритетным является создание системы, позволяющей контролировать баланс отпущенной и потребленной электроэнергии. Это важный фактор развития всей отрасли. Именно такой и является автоматизированная система контроля учета электроэнергии (АСКУЭ).

АСКУЭ представляет собой современное усовершенствованное программное обеспечение, позволяющее отслеживать, контролировать и выполнять следующие функции:

- дистанционный сбор данных с интеллектуальных приборов учета;
- передачу и хранение полученной информации на более высокий уровень системы;
- обработку переданных данных для дальнейшего анализа и планирования в информационных системах более высокого уровня.

Система автоматизированного контроля за отпуском и потреблением электроэнергии обеспечивает достоверный учет, который одновременно выгоден ресурсоснабжающим организациям, хозяйствующим субъектам, собственникам жилья и государству. Совершенствование технологий обмена данными позволило существенно упростить коммерческий учет энергоресурсов, снизить стоимость его внедрения [3].

По своей сущности АСКУЭ состоит из двух взаимосвязанных структур. Во-первых, это структура, которая непосредственно занимается автоматизацией обмена данными между различными группами потребителей. Ко второй организационной структуре относится коммерческий учет электроэнергии. К функциональным обязанностям ее относится сбор, обработка, передача и хранение данных о потребленной и отпущенной электроэнергии.

Таким образом, основное назначение современных АСКУЭ – автоматизированный учет отпущенной и потребленной электроэнергии, а также достижение максимальной точности взаиморасчетов между поставщиками и потребителями.

АСКУЭ представляет собой трехуровневую структуру, представленную на рис. 1.

Рассмотрим эту структуру [4].

1. Нижний уровень включает в себя интеллектуальные приборы учета (умные счетчики) электроэнергии с цифровыми выходами. Они обеспечивают непрерывное измерение параметров потребления энергоресурса в определенных точках и передачу данных на следующий уровень в режиме реального времени.

2. Второй уровень предназначен для первичного сбора данных и передачи информации на следующий уровень. К комплектации этого уровня относятся устройства сбора и передачи данных, которые обеспечивают круглосуточный мониторинг приборов учета в режиме реального времени.

3. Верхний уровень – это центральный узел сбора и обработки информации, на который поступают данные со всех устройств сбора и передачи, включенных в систему. На этом уровне используется программное обеспечение АСКУЭ (личный кабинет), которое делает возможными визуализацию и анализ полученной информации.

4. Несмотря на то, что принято рассматривать трехуровневую структуру организации АСКУЭ, можно выделить еще один уровень – центральный пункт сбора информации. В этот центр стекается информация со всех 8 Федеральных округов России, и ее анализ позволяет прогнозировать уровень производства и потребления электроэнергии. Более того, эта информация позволяет вносить оперативные корректировки в Энергетическую стратегию, принятую на период до 2030 года.

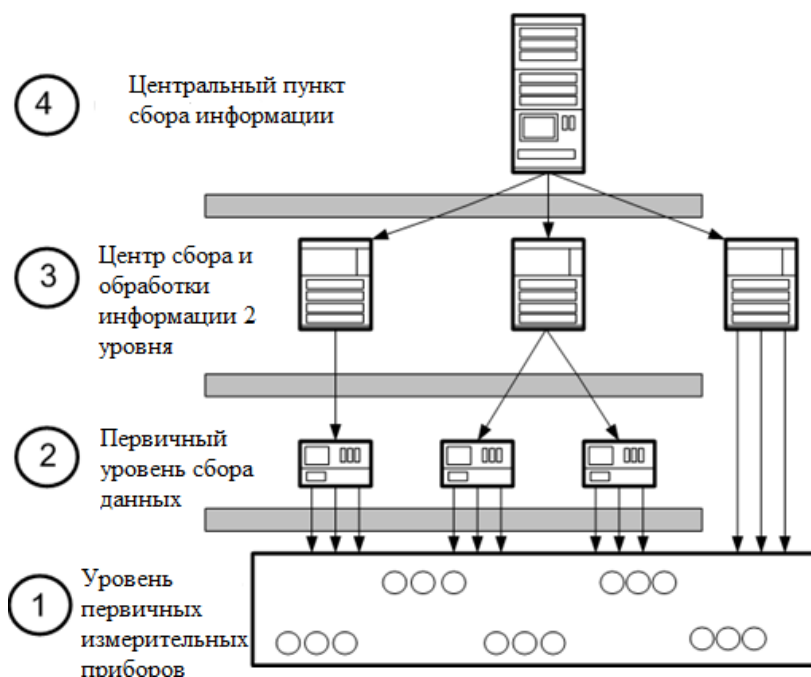


Рис. 1. Структура автоматизированной системы учета электроэнергии

Передача данных АСКУЭ и связь между элементами системы обеспечивается протоколами пересылки информации по проводным или беспроводным каналам.

В соответствии с представленной структурой алгоритм функционирования АСКУЭ выглядит следующим образом:

1. Сигнал с электросчетчиков поступает на устройство сбора данных.
2. Аккумуляированные данные с приборов учета передаются на следующий уровень, то есть на сервера сбора и обработки информации.
3. При помощи специального программного обеспечения полученная информация обрабатывается для дальнейшего анализа и принятия оперативных решений.

Можно сказать, что автоматизация учета электрической энергии стала возможна благодаря изобретению и выводу на рынок электронных счетчиков, которые также называют интеллектуальными или «умными». Электронный прибор коммерческого учета – это базовый компонент АСКУЭ, первичный источник получения информации для остальных уровней системы. Пример одного из современных «умных» счетчиков представлен на рис. 2.

Счетчики для АСКУЭ трансформируют проходящий ток в измерительные импульсы, которые позволяют определить точное количество потребленной электроэнергии, а также выдают другие параметры сети, играющие важную роль при организации многотарифного учета: ток, напряжение, частота, сдвиг фаз. Их отличительная черта от индукционных, электронных или гибридных приборов учета состоит в наличии импульсного выхода или встроенного модема. В следствие включения счетчиков в автоматизированную систему они могут работать в удаленном режиме: передавать и получать данные о его состоянии в режиме реального времени. Однако, существует погрешность передачи информации по линиям связи. Связана она, прежде всего, с наличием помех и тепловых шумов, которые могут привести к искажению передаваемого сигнала.



Рис. 2. Умный электросчетчик АСКУЭ «СТРИЖ»

В зависимости от модификации электросчетчики АСКУЭ могут обеспечивать накопление и хранение данных об энергопотреблении, работу в многотарифном режиме, вести учет не только активной, но и реактивной энергии, дистанционно отключать потребителя от сети или восстанавливать энергоснабжение.

АСКУЭ является результативным средством снижения коммерческих потерь электроэнергии при передаче от производителя к потребителю и дистанционным получением данных с каждой точки измерения. Кроме того, она усложняет несанкционированное энергопотребление, оперативно оповещает о фактах вмешательства в работу приборов учета, упрощает выявление очагов коммерческих потерь в кратчайшие сроки и с минимальными затратами. В этом заключается экономическая эффективность АСКУЭ.

Развитие и внедрение АСКУЭ является прямым следствием Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации, принятой в 2013 году. Одним из ее направлений является переход к цифровой экономике. Цифровой переход в электроэнергетическом комплексе позволяет не только повысить эффективность традиционной энергетической системы, но и открывает новые возможности для вовлечения в процесс устройств и комплексов с регулируемым потреблением, спроектированных с использованием новейших инновационных технологий.

Таким образом, АСКУЭ позволяет обеспечить точность и прозрачность взаиморасчетов между поставщиками и потребителями.

Как правило, внедрение АСКУЭ способствует энергосбережению, благодаря чему окупаемость системы в среднем составляет около года.

Несмотря на очевидные возможности, которые предоставляет АСКУЭ с точки зрения оптимизации учета электропотребления, как и любая автоматизированная система, она имеет ряд недостатков. Среди них можно выделить следующие:

- высокая стоимость монтажа системы;
- риски, связанные с обрывом сети и возможной потерей информации;
- при использовании GSM-протоколов для передачи данных необходимо устанавливать sim-карты в каждый прибор учета, что требует дополнительных ресурсов;
- при размещении счетчиков внутри железобетонных зданий возникает вероятность нестабильности сигналов.

Перечисленные проблемы решены для «умных домов» на базе XNB-протокола [3]. Это энергоэффективный LPWAN-протокол дальнего радиуса действия, который обеспечивает передачу данных на расстояние до 40 км в условиях сложной городской инфраструктуры с минимальными затратами энергии. Особенностью данного протокола является высокая проникающая способность, позволяющая сигналу проникать сквозь препятствия, недоступные для GSM-протоколов. XNB-протокол является полностью технологией отечественного производства, которая не ориентирована на зару-

бежные стандарты и в ближайшем будущем может стать основным протоколом функционирования АСКУЭ.

### Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 28 апреля 1997 года N 426 «Об Основных положениях структурной реформы в сферах естественных монополий» (с изменениями и дополнениями). URL: <https://base.garant.ru/10200911/> (дата обращения: 15.02.2020).
2. Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 года № 1715-р Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/96681/> (дата обращения: 15.02.2020).
3. URL: <https://research-journal.org/technical/sostav-avtomatizirovannoj-sistemy-kommercheskogo-ucheta-elektroenergii/> (дата обращения: 10.02.2020).
4. URL: <https://marketelectro.ru/content/rynok-priborov-ucheta-elektroenergii-tehnologii-i-prognozy> (дата обращения: 09.02.2020).
5. URL: <https://marketelectro.ru/content/rynok-priborov-ucheta-elektroenergii-tehnologii-i-prognozy> (дата обращения: 15.02.2020).

УДК 004.94:004.67

**Е. С. Ходырев**

студент кафедры технологий защиты информации

**Т. Н. Елина** – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

### КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

В настоящее время большое количество данных генерируется из многочисленных источников, и такая тенденция прослеживается во многих сферах. Современная автомобильная индустрия (АИ) пришла к тому, что транспортные средства (ТС) становятся генераторами большого объема данных, который является ключевым, для многих игроков данной отрасли, а в будущем этот объем будет только увеличиваться, чему способствуют рост и удешевление вычислительных мощностей, снижение стоимости передачи информации и увеличение ширины пропускания каналов [1]. В частности, в ТС можно выделить два вида датчиков: 1) обеспечивающих работу ТС (датчики конкретных узлов и агрегатов, температуры и оборотов двигателя, давления масла, скорости ТС, расхода топлива и т. п.); 2) снимающих показания об окружающей среде (температура окружающего воздуха, атмосферное давление, координаты ТС, временная метка) [2]. Помимо этого, данные производятся и дорожной инфраструктурой: информация о мониторинге дорожного движения, сведения о дорожных происшествиях, погодных условиях.

С увеличением объемов данных стоимость их обработки будет повышаться, и основная мотивация участников АИ – сокращение расходов на хранение и обработку данных, улучшение способов автоматизации обслуживания БД, а также возможность освобождение своего персонала от управления данными в соответствующих отделах. Предлагается создание концептуальной модели распределенной платформы данных для автомобильной индустрии (рис. 1), с помощью которой возможно решить проблемы, упомянутые выше, полагаясь на конкретные варианты проектирования сети, инструменты и методы для каждого из этапов обработки данных: сбора, хранения и анализа. В системе должны быть в первую очередь выделены производитель информации и потребитель. Так, в АИ каждое отдельное ТС можно рассматривать как отдельного производителя данных, а потребителем – производителя ТС. Производитель информации может быть ее потребителем.



Рис. 1. Концептуальная модель распределенной платформы данных

Необходимо разработать новую бизнес модель с учетом принципа разделения труда и освободить компании от стека бизнес правил и процессов, реализующих обработку больших данных. Например, пусть крупные производители ТС управляют своими компаниями и улучшают продукцию, а над большими данными работают специализированные на анализе и обработке данных компании, которые будут представлять готовые отчеты производителям. Тогда у производителей ТС не будет нужды организовывать процесс обработки больших данных самостоятельно, возлагая дополнительные задачи на своих сотрудников IT-отделов и выделять большие средства на создание собственной соответствующей инфраструктуры. В данном случае производители ТС будут тратить свои средства непосредственно на обработку данных.

Топология сети платформы данных, изображенная на рис. 2, должна быть разработана таким образом, чтобы платформа могла обрабатывать данные в определенных локальных зонах на уровне районов, областей, регионов и стран с целью разгрузки каналов передачи потоков, данных по распределенной сети, между узлами различных уровней. Платформа должна поддерживать как потоковую передачу и обработку данных, так и предоставлять доступ к их хранению. Основными элементами распределенной сети являются: узлы управления потоками данных (УУ); узлы обработки данных (УО); распределенные базы данных (БД); транспортные средства (ТС), которые являются генераторами данных.

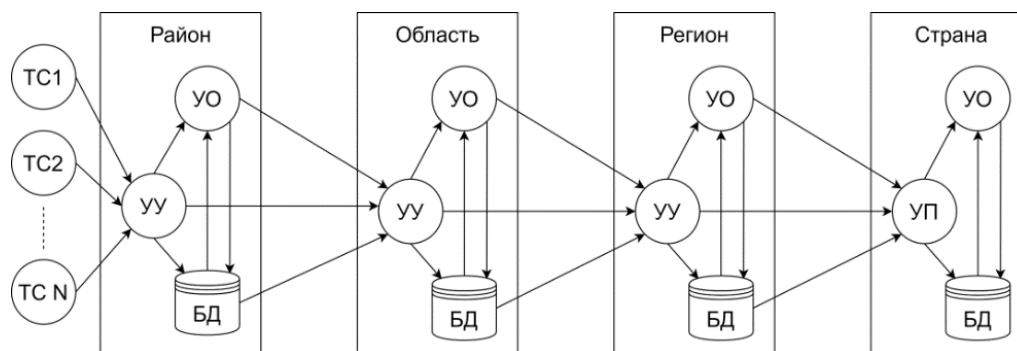


Рис. 2. Топология сети

Платформа должна быть надежной: при проектировании протоколов передачи и управления данными необходимо разработать механизмы, обеспечивающие минимальные потери данных, а также учитывать, что потребители заинтересованы в первую очередь в обеспечении конфиденциальности этих данных, в противном случае последние просто не будут обладать какой-либо ценностью. Отказоустойчивость имеет большое значение для платформы, поскольку она должна обеспечивать работоспособность даже в случае отключения некоторых узлов в результате сбоя оборудования или ПО. Необходимо обеспечить масштабируемость и гибкость платформы данных: платформа должна оставаться работоспособной и доступной, учитывая большой рост объема данных и числа их производителей и потребителей, а также то, что объекты могут быть неоднородными и находиться в различных условиях сети [3]. Поэтому платформу необходимо адаптировать к росту количества источников, подключенных к узлам управления потоками данных, для последующей обработки входящих данных, а также обеспечить функциональную поддержку добавления большого количества узлов, участвующих в обработке входящих данных.

При разработке платформы необходимо решить множество вопросов: каким образом записывать, обрабатывать и представлять данные в автоматическом режиме, какие данные могут использоваться и как их можно комбинировать, обрабатывать, представлять, анализировать и интерпретировать наиболее продуктивным способом.

В заключение следует отметить, что рассмотренная концептуальная модель платформы данных предназначена для решения задач, связанных с большими данными в автомобильной промышленности, но она может быть применена практически в любой области исследований и бизнеса.

### Библиографический список

1. Voland P. Processing and Geo-visualization of Spatio-Temporal Sensor Data from Connected Automotive Electronics Systems // Computational Science and Its Applications ICCSA 2016: 16th International Conference.
2. An automotive diagnostics, fuel efficiency and emission monitoring system using CAN. // Conference: 2017 International Conference on Big Data, IoT and Data Science (BIG DATA).
3. Distributed Data Platform for Automotive Industry: A Robust Solution for Tackling Big Challenges of Big Data in Transportation Science. 1–8. 10.1109/ConTEL.2019.8848542.

УДК 004.622:629.33

**Е. С. Ходырев**

студент кафедры технологий защиты информации

**Т. Н. Елина** – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель**РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ РЕЕСТР ИСТОРИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

В современном мире отсутствует единая система, контролирующая сведения о транспортном средстве (ТС). В большинстве случаев данные хранятся у нескольких заинтересованных сторон, которые при этом не сотрудничают друг с другом, а данные в лучшем случае хранятся в централизованной базе, в худшем – на бумажном носителе. В статье предлагается создание распределенного реестра истории эксплуатации ТС (РРИЭТС) на основе технологии блокчейн с целью создания единого источника достоверной и неизменяемой информации и платформы, необходимой для взаимодействия участников автомобильной индустрии: производителей ТС, автосервисов, страховых компаний, владельцев и водителей ТС, ТС и т. д.

Рынок подержанных автомобилей характеризуется неопределенностью и отсутствием доверия. Доступная информация на рынке асимметрична: продавец обладает большими знаниями о качестве автомобиля, чем покупатель, из-за чего последний не может узнать истинную стоимость и состояние ТС [1]. Покупатели в основном страдают от следующих проблем: состояние ТС хуже, чем указывалось продавцом; ТС получило серьезный ущерб в результате ДТП, который не разглашается. На рынке также распространено мошенничество: скручивание показания одометра, сокрытие факта участия в аварии или утопления ТС, легализация угнанных или незаконно ввезенных в Россию автомобилей под чужие краденые документы либо с копированием данных реально существующей машины [2]. Чтобы справиться с неопределенностью качества, покупатели подержанных автомобилей активно занимаются поиском информации. С помощью РРИЭТС можно автоматизировать отслеживание автомобилей на протяжении их жизненного цикла и предоставлять надежную информацию в любой момент времени, когда это необходимо.

Технология блокчейн позволяет организациям и объектам, которые не доверяют друг другу и не сотрудничают вместе, достигать соглашения с помощью защищенной от несанкционированного доступа структуры данных в виде общего реестра, содержание которого проверяется и подтверждается протоколом децентрализованного консенсуса большинством его участников, тем самым создается доверие между различными сторонами [3].

На рис. 1 представлена декомпозиция процесса работы РРИЭТС.

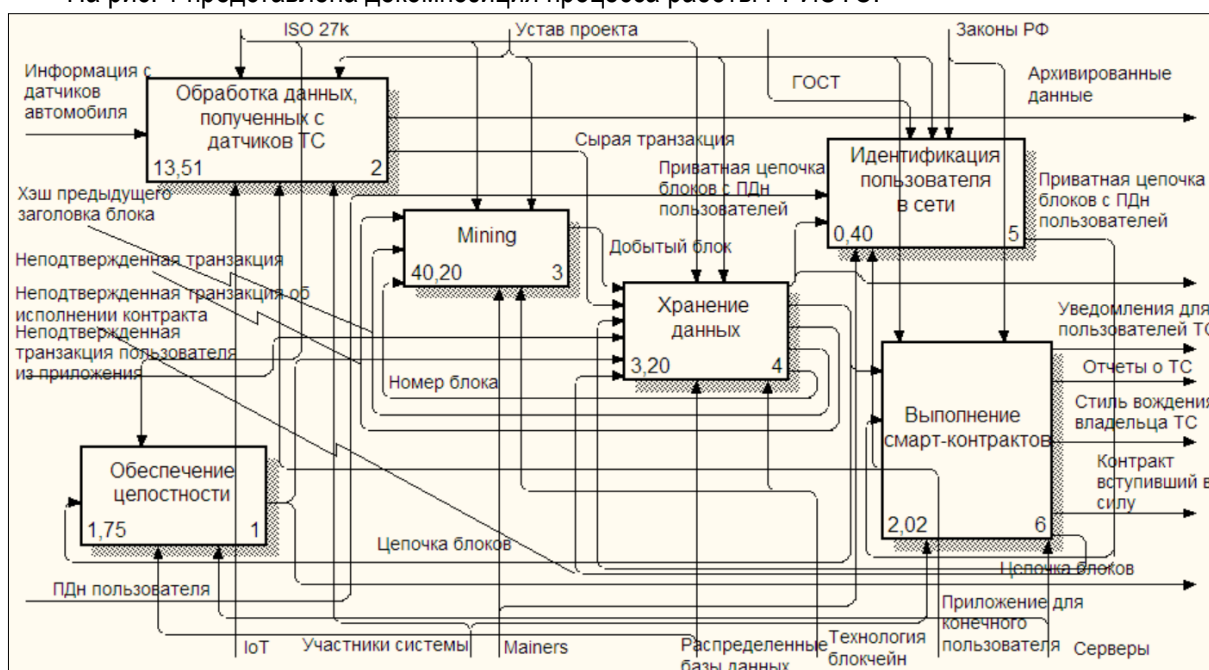


Рис. 1. Диаграмма декомпозиции процесса работы РРИЭТС



Основным информационным наполнением РРИЭТС является:

- Данные, собираемые с датчиков ТС. Частота сбора определяется владельцем ТС.
- Транзакции пользователей-участников данного реестра, сформированные в клиентских приложениях.
- Персональные данные пользователя РРИЭТС, собираемые в момент регистрации пользователя и ТС в реестре.

Перечисленные выше данные хранятся распределено между участниками-узлами в виде подтвержденных транзакций, помещенных в защищенную от несанкционированного доступа структуру данных – блокчейн.

РРИЭТС позволяет решать следующие задачи:

1. Создание систем сопровождения ТС производителем и автосервисами.
2. Создание отчетов о состоянии ТС и истории технического обслуживания.
3. Создание системы уведомлений для водителя ТС.
4. Хранение истории обслуживания и эксплуатации ТС.
5. Проверка VIN номера автомобиля.
6. Определение подлинности узлов ТС.
7. Проверка целостности программного обеспечения ТС.
8. Безопасный обмен информацией между участниками системы.
9. Определение реальной стоимости автомобиля.
10. Определение ценовой политики страховых операций.
11. Обеспечение договорных отношений между участниками.

В данной статье было предложено создание РРИЭТС для защиты и автоматизации контроля истории эксплуатации ТС с помощью технологии блокчейн. Предлагаемая структура направлена на содействие обмену данными и сотрудничеству между заинтересованными сторонами в автомобильной промышленности. Основной целью является повышение прозрачности и доверия на рынках подержанных автомобилей. Хотя предлагаемые подходы направлены на минимизацию воздействия мошенничества с транспортными средствами, они все еще находятся на ранней стадии исследований, и еще предстоит решить ряд проблем, включая механизмы стимулирования участников РРИЭТС, управления доступом к данным, их конфиденциальности и масштабирования.

### Библиографический список

1. *Akerlof G.* The Market for Lemons: Quality Uncertainty and the Market Mechanism. // *The Quarterly Journal of Economics.* Vol. 84, 1970.
2. Что делать, если купил машину-двойника. 24 апреля 2019 года. URL: <https://www.autonews.ru/howto/5cadd6d89a79474f12e1cc06> (дата обращения: 20.02.2020).
3. Big Data in Data-driven Innovation: The Impact in Enterprises' Performance // Conference: 11th Management of Innovative Business, Education & Support systems International Conference 2016.

УДК 629.735

**Л. С. Цветков**

студент кафедры управления в технических системах

**В. Г. Курбанов** – кандидат физико-математических наук, доцент – научный руководитель

## ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ САМОЛЕТА

Задача системы управления полетом самолета заключается в обеспечении пилота средствами безопасного и эффективного управления самолетом на протяжении всего рейса, то есть предоставление хорошей управляемости. Следовательно, спецификация качества управляемости представляет собой логический источник функциональных требований для управления разработкой системы управления [1].

### Обзор систем управления полетом самолета

Рассмотрим системы управления полетом самолета Boeing B737NG и Airbus A320. Оба самолета имеют нормальную аэродинамическую схему и содержат традиционные для такой схемы органы управления полетом.

#### Boeing B737NG

Основная система управления полетом Boeing B737NG включает в себя: руль управления; штурвальную колонку; педали, связанные механически с гидравлическими блоками управления, которые управляют основными поверхностями управления полетом; элероны; руль высоты и руль направления. Система управления полетом питается от гидравлических источников с резервированием; система А и В. Гидравлическая система может управлять всеми основными элементами системы управления полетом. При необходимости элероны и руль высоты могут перемещаться вручную. Руль может управляться резервной гидравлической системой, если давление системы А и системы В отсутствуют.

Вторичная система управления полетом – это устройства высокого подъема, состоящие из закрылков (задняя кромка), закрылков и предкрылков (передняя кромка), питающихся от гидравлической системы В. В случае отказа гидравлической системы В закрылки (задняя кромка) могут управляться электрически. При определенных условиях блок передачи энергии автоматически питает элементы передней кромки. Они также могут управляться с помощью резервного гидравлического давления.

Штурвальная колонка и штурвал соединены через механизмы передачи, которые позволяют пилотам обходить заклинивший элемент управления. Существует жесткая связь между обеими парами педалей руля направления. Рычаг аэродинамического тормоза позволяет вручную или автоматически симметрично привести в действие интерцепторы.

Управление по тангажу осуществляется с помощью двух рулей высоты и подвижного горизонтального стабилизатора (рис. 1а). Управление по крену производится с помощью двух элеронов восьми элерон-интерцепторов (рис. 1б). Управление по рысканью осуществляется только рулем направления (рис. 1в).

Горизонтальный стабилизатор управляется одним электрическим двигателем привода стабилизатора, управляемым либо через выключатели на руле управления, либо на автопилоте. Стабилизатор также может управляться вручную вращением колеса триммера стабилизатора.

Триммер стабилизатора соединен с автопилотом через схему триммера стабилизатора автопилота. Триммер стабилизатора имеет два скоростных режима: высокую скорость с выпущенными закрылками и низкую скорость с убранными закрылками. Если автопилот включен, активация любой пары триммеров стабилизатора автоматически его отключает. Триммер стабилизатора вращается всякий раз, когда электрический триммер стабилизатора приводится в действие.

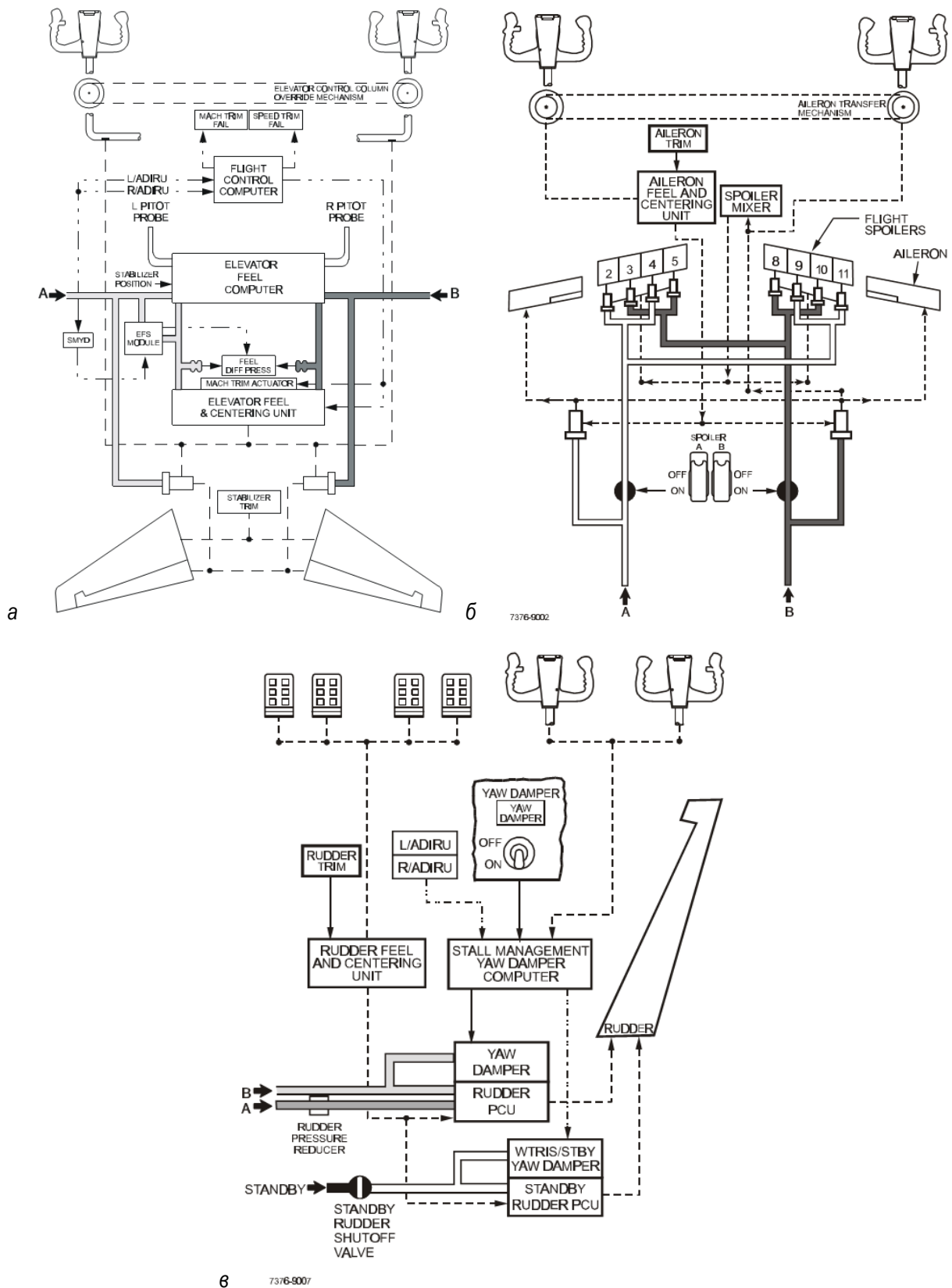


Рис. 1. Система управления полетом самолета по: а – тангажу; б – крену; в – рысканью

Ручное управление стабилизатором осуществляется через тросы, что позволяет пилоту устанавливать положение стабилизатора, вращая колесо триммера. Стабилизатор удерживает позицию благодаря двум независимым блокировочным системам.

В случае если стабилизатор обрезается до конца ограничений привода триммера, дополнительное триммирование доступно с помощью колеса ручного триммера. Если ручной триммер ис-

пользуется для позиционирования стабилизатора за пределы электрического триммера, коммутаторы триммера стабилизатора могут быть использованы для возвращения стабилизатора в электрические пределы отделки.

Система триммеров скорости – это система стабилизации скорости, разработанная для улучшения летных характеристик во время операций с низким весом брутто, кормовым центром тяжести и большой тягой, когда автопилот не включен. Целью системы триммеров скорости является возвращение самолета на заданную скорость, дав команду на стабилизатор в направлении, противоположном изменению скорости.

Модуль определения смещения руля высоты увеличивает давление в гидравлической системе А, повышая чувствительность руля высоты и центрирующего устройства на время. Это увеличивает усилие передней управляющей колонки примерно в четыре раза по сравнению с нормальным давлением. Модуль определения смещения руля активируется, когда нет условия блокировки. Условия запрета: на земле, высота менее 100 футов и при включенном автопилоте.

Управление рысканьем осуществляется с помощью гидравлически управляемого руля управления и цифровой системы демпфера рысканья. Руль направления контролируется с помощью функции демпфирования рыскания через компьютер управления сваливанием/демпфером рыскания.

### Airbus A320

Область управления полетом Airbus A320 разделяется на механическую и электрическую (рис. 2).

Стабилизатор, использующийся в качестве триммера, и руль направления имеют механическое резервирование. Пилот использует ручку управления для управления полетом самолета. Входные данные от пилота считываются компьютером, который перемещает поверхности управления полетом, если это необходимо. Однако при нормальном режиме работы независимо от ввода пилота, компьютеры будут препятствовать чрезмерным маневрам и превышением безопасного диапазон режимов полета по тангажу и крену.

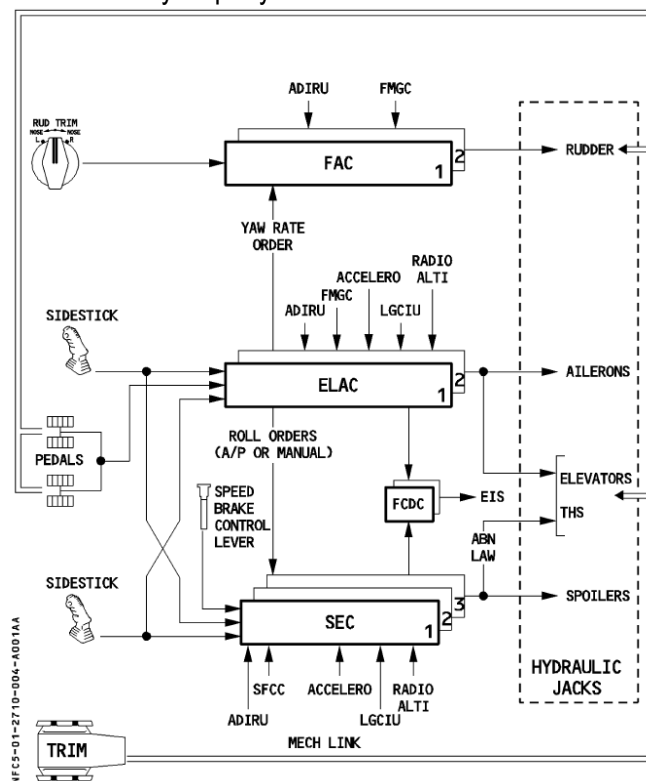


Рис. 2. Система управления полетом самолета Airbus A320

Семь компьютеров системы управления полетом обрабатывают сигналы пилота и автопилота в соответствии с нормальным, упрощенным (защита выключена) и прямым (команды с ручки управления или педалей передается непосредственно на привод рулевых поверхностей (имитация тросового управления)) режимами управления полетом.

Механическое управление доступно для управления тангажом и креном в любое время. Механическое управление триммером тангажа имеет приоритет над электрическим.

Пилот может использовать педали для управления рулем направления. Три независимых сервопривода параллельно подключены к рулю направления.

Демпфирование рысканья и управление поворотом автоматическое. Компьютер вычисляет значение рысканья для координации поворота и демпфирование колебаний рыскания. Отклонения руля направления и педалей ограничено.

При нормальном режиме полета работают следующие защиты безопасного диапазона режима полета: ограничение коэффициента нагрузки, положения по тангажу, угла атаки, скорости.

*Защита от больших углов атаки.* В нормальном режиме, когда угол атаки начинает превышать  $\alpha_{prot}$ , система переключает на режим защиты от больших углов атаки, в котором угол атаки пропорционален отклонению боковой ручки управления. В области от  $\alpha_{prot}$  до  $\alpha_{max}$  боковая ручка задает угол атаки на прямую. Однако угол атаки не превышает  $\alpha_{max}$ , даже если пилот осторожно тянет боковую ручку до упора назад. Если пилот отпустит ручку управления, угол атаки вернется к значению  $\alpha_{prot}$  и будет его поддерживать (рис. 3).

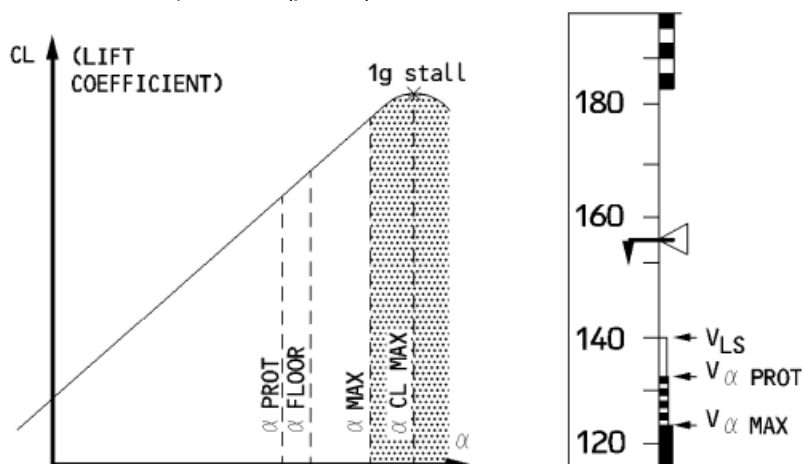


Рис. 3. График изменения подъемной силы в зависимости от угла атаки

*Защита от превышения скорости.* Воздушное судно автоматически восстанавливает заданное значение скорости. В зависимости от состояния полета (высокое ускорение, низкий угол крена) защита активируется на метке или выше. Когда она активирована, то триммер тангажа не доступен. Положительная статическая спиральная устойчивость выставляется на 0, поэтому если отпустить руку управления, то самолет всегда вернется к углу крена равному  $0^\circ$ . Предел угла крена уменьшен с  $67$  до  $45^\circ$ . Когда скорость становится выше отметки, приоритет пикирования с помощью ручки управления постепенно уменьшается, и постоянная команда на кабрирование включается для помощи с восстановлением нормального состояния полета.

Защита от превышения скорости деактивируется, когда скорость воздушного судна становится ниже отметки, где восстанавливается нормальный режим управления. Также автопилот выключается, когда высокоскоростная защита активирована.

Искусственная стабилизация низких скоростей заменяет защиту угла атаки. Она доступна для любых конфигураций закрылков и предкрылков стабилизация активна при скорости на  $5\div 10$  узлов выше значения скорости сваливания в зависимости от веса самолета и конфигурации предкрылков и закрылков.

Защита по углу крена. Если пилот отпустит ручку управления при угле крена большим, чем  $33^\circ$ , угол автоматически вернется к  $33^\circ$ . Если значение будет выше  $33^\circ$ , то система удерживает зна-

чение крена при нейтральном положении ручки управления. Если пилот отклонит ручку на максимальный угол, угол крена сместится до  $67^\circ$ , что является максимальным смещением угла крена.

Если защита угла атаки или защита от высоких скоростей включены, то угол крена может сместиться только до  $45^\circ$ , если пилот отклонит ручку управления на максимум. Если защита от высоких скоростей включена, то система поддерживает положительное значение спиральной статической стабильности для угла крена равному  $0^\circ$ , поэтому если пилот отпустит ручку воздушное судно всегда к углу крена равному  $0^\circ$ .

Когда защита по углу крена активирована, то автотриммирование выключено. Если угол крена превышает  $45^\circ$ , автопилот выключается и индикатор пропадает. Индикатор возвращается, когда угол крена принимает значение меньше  $49^\circ$ . Защита по углу крена не работает [3].

### Заключение

Системы управления полетом Boeing B737 NG и Airbus A320 позволяют получить сопоставимые результаты для обеспечения безопасности полета. В случае выхода из нормальных режимов поведение систем начинает различаться.

Преимущества Boeing B737 NG заключаются в том, что у него в случае отказа системы управления не меняются приемы управления, то есть пилот сохраняет возможность воздействия на органы управления; имеется жесткая механическая связь между командными рычагами обоих летчиков; сохраняется управляемость даже при полном отказе гидро- и электросистем.

Недостатки же заключаются в том, что механическая проводка управления не позволяет добиться лучших массогабаритных показателей; система не полностью контролирует действия летчика из-за чего возможны выходы на опасные режимы полета.

Преимущества Airbus A320 проявляются в том, что отсутствие механической проводки позволяет сделать систему более оптимальной по массогабаритным показателям, что полностью реализует алгоритмы защиты; улучшено управление и комфортность за счет более совершенной системы управления; система умнее и быстрее, полностью контролирует действия летчика и защищает от непреднамеренных действий.

Недостатки заключаются в том, что у Airbus A320 высокая трудность обеспечения достаточной надежности; система требует более внимательного отношения к подбору элементной базы и более глубокого анализа работоспособности наземного персонала: при переходе из нормального режима в прямой меняется динамика системы, что требует изменения методов управления (в нормальном режиме при управлении по крену задаются скорость крена, а при прямом задается отклонение рулевой поверхности).

Для исправления недостатков систем управления полетом нужно разработать систему, которая совмещает преимущества обеих систем и исключает недостатки.

### Библиографический список

1. *Tischler M.* Advances in aircraft flight control, Taylor & Francis, London, 1996.
2. Boeing B737NG flight crew operation manual. Flight control. URL: <http://www.smartcockpit.com/plane/BOEING/B737NG.html> (дата обращения: 19.12.2019).
3. A320 flight crew operation manual. Flight control. URL: <http://www.smartcockpit.com/plane/AIRBUS/A320.html> (дата обращения: 19.12.2019).

УДК 62-529

**С. Д. Чернышев**

студент 2 курса\*

\*ФГБОУ ВО Ульяновский государственный технический университет

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОМОЩЬЮ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА**

Первый микропроцессор «Intel 4004» был создан 15 ноября 1971 года компанией Intel. С тех пор цифровые системы стали очень быстро развиваться, а область получила огромную популярность. Благодаря созданию и применению в электроприводе IGBT транзисторов, микропроцессоров, интеллектуальных силовых модулей IPM, высокопроизводительных микроконтроллеров системы появилась возможность регулировать активные процессы оборудования [2].

Сегодня микроконтроллеры имеют функцию прямого цифрового управления, которая выделяется от других улучшенной архитектурой и структурой команд. Эта функция осуществляется за счет применения специальных отдаленных устройств, находящихся на кристалле микроконтроллера и не нуждающихся во вспомогательном средстве сопряжения. С помощью записанного кода микроконтроллеры могут сразу же рассчитать большую часть стандартных задач, контролирующих динамические системы. Сейчас существует множество подходов цифрового регулирования новых электроприводов, вот последние из них [1]:

- реализация высокоскоростных каналов вывода на частотах до 20–50 кГц;
- высокоточная кратковременная обработка входных многоканальных последовательностей импульсов с целью сопряженности с обширной группой датчиков обратных связей, например индуктивных, импульсных и т. д.;
- производство специальных отдаленных устройств специального назначения класса «квадратурных декодеров» для пропуска обычных сигналов датчиков обратных связей, особенно оптический датчик положения;
- использование нового многофункционального набора счетчиков/таймеров, которые имеют каналы сравнения/захвата;
- автоматический синхронный запуск процессов АЦП с работой некоторых отдельных устройств, а именно ШИМ-генераторов; существенная работа скорости (до 100 нс на канал) аналого-цифровых преобразователей, автоконвейеризация процессов преобразования в АЦП по нескольким каналам (до 16);
- идентификации положения/скорости и силовые ключи с функцией прямого управления;
- присутствие функции скоростного ввода в частотах вплоть до 100 кГц и более;
- управление приводами с помощью разработанного микроконтроллера с двойным менеджером событий по системе: «Инвертор – двигатель – устройство, основанное на переключении источника постоянного напряжения с изменением полярности напряжения», «Активный выпрямитель – инвертор – двигатель», а также для контроля привода с двумя двигателями;
- наличие функций прямого управления момента и токового регулирования;
- производство стандартных многоканальных ШИМ-генераторов с функцией прямого цифрового регулирования ключами устройства, преобразующего постоянный ток в переменный, центрированной и векторной ШИМ-модуляции, активных выпрямителей;
- объединение процессора событий и многоканального ШИМ-генератора в единое многофункциональное устройство – менеджер событий.

Вышеупомянутые подходы для цифрового управления электропривода с бурным прогрессом микропроцессорной техники дают начало для создания и внедрения новейших устройств и использования новых математических методов для объединения систем регулирования электроприводами.

**Библиографический список**

1. Козаченко В. Ф. Микроконтроллерные системы управления электроприводами: современное состояние и перспективы развития / Кафедра автоматизированного электропривода МЭИ. М., 2014. 15 с.
2. Щелкунов Н. Н., Дианов А. П. Микропроцессорные средства и системы. М.: Радио и связь, 1989. 288 с.

УДК 681.5.017

**Д. Э. Шитов**

студент кафедры управления в технических системах

**А. Л. Ляшенко** – доктор технических наук, доцент – научный руководитель

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ФИЛЬТРАЦИИ СУСЛА НА ПИВОВАРЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

### 1. Описание процесса фильтрации затора

Фильтрация затора – это процесс максимально эффективного отделения сусла от пивной дробины. На этом этапе затор (смесь дробленых зернопродуктов, подготовленный заранее) перекачивают в фильтр-чан (рис. 1), где отделяют нерастворившуюся дробину и неохмеленное сусло. В дне чана имеются круглые или продольные отверстия, а также отверстия для слива. Твердые частицы из затора остаются на дне и образуют фильтр для сусла.

Процесс сцеживания состоит из трех этапов: мэш-аута, рециркуляции и промывания. Мэш-аут заключается в нагреве затора до 76 °С, что останавливает ферментативные реакции и сохраняет в сусле сбраживаемые сахара, а также делает сусло менее вязким, облегчая дальнейшую работу.

Затем осуществляется рециркуляция сусла и формируется фильтрующий слой, при помощи которого от сусла естественным образом отделяются частицы зерна, что делает сусло более прозрачным.

Как только сусло очистится, оставшуюся дробину, состоящую из шелухи и частиц, образовавшихся в процессе затирания, необходимо промыть. Промывание дробины осуществляется теплой водой, чтобы получить из дробины как можно больше сахаров для сусла. После промывания дробину, как правило, перерабатывают в корм для скота и свиней либо используют при производстве хлеба.

По завершению фильтрации неохмеленное пивное сусло отправляется на кипячение, осветление и последующие процессы, необходимые для приготовления финального продукта.

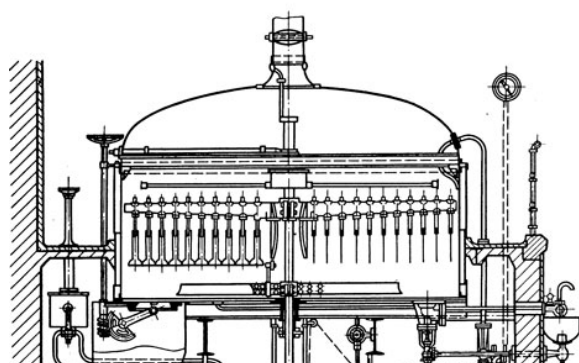
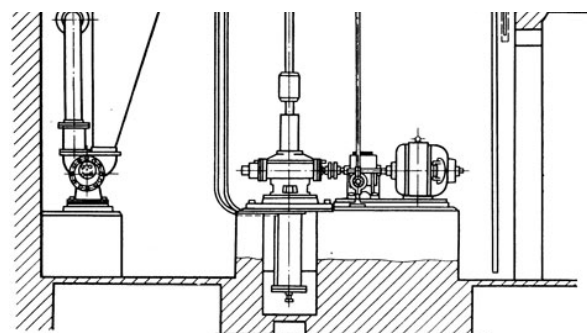


Рис. 1. Схема фильтрационного чана



### 2. Создание системы управления нагревом

Цель работы заключается в создании системы управления нагревом фильтр-чана для поддержания одинаковой температуры. Для этого необходимо:

1. Создать математическую и дискретную модели чана
2. Рассчитать регулятор
3. Промоделировать получившиеся модели с регулятором

#### 2.1. Математическая и дискретная модели фильтр-чана

Уравнение теплопроводности для цилиндрической системы координат:

$$\frac{\partial T(x,r,\varphi,t)}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right),$$

где  $x$  – координата высоты;  $r$  – координата радиуса;  $\varphi$  – координата угла;  $a$  – коэффициент температуропроводности.



Для создания дискретной модели тепловых полей мысленно разделим цилиндрический объект на равные сектора по радиусу, углу и высоте.

Далее распишем каждый отдельный элемент уравнения теплопроводности в дискретной форме:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = \frac{T(x, r-1, \phi) - 2T(x, r, \phi) - T(x, r+1, \phi)}{\Delta r^2}$$

$$\frac{1}{r} \left[ \frac{\partial T}{\partial r} \right] = \frac{1}{r} \left[ \frac{T(x, r+1, \phi) - T(x, r, \phi)}{\Delta r} \right]$$

$$\frac{1}{r^2} \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} \right] = \frac{1}{r^2} \left[ \frac{T(x, r, \phi-1) - 2T(x, r, \phi) - T(x, r, \phi+1)}{\Delta \phi^2} \right]$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T(x-1, r, \phi) - 2T(x, r, \phi) - T(x+1, r, \phi)}{\Delta x^2}$$

Учтем, что наш объект представляет собой полый цилиндр с двумя средами: стальные стенки и внутренняя полость, в которой происходит фильтрация продукта. Запишем уравнения условий на границе разделов двух сред:

$$\lambda_n \frac{T(x, r-1, \phi) - T(x, r, \phi)}{\Delta t} = \lambda_c \frac{T(x, r, \phi) - T(x, r+1, \phi)}{\Delta t},$$

где  $\lambda_n$  – коэффициент теплопроводности продукта;  $\lambda_c$  – коэффициент теплопроводности стали.

$$a_c \frac{\partial T(x, 11, \phi, t)}{\Delta r} = 0,$$

где  $a_c$  – коэффициент температуропроводности.

$$T(x, 11, \phi, t) = T(x, 10, \phi, t).$$

Воспользовавшись программной средой Delphi 7, напомним программу, которая построит график изменения температуры в точке с координатами [3, 5, 6] (рис. 2).

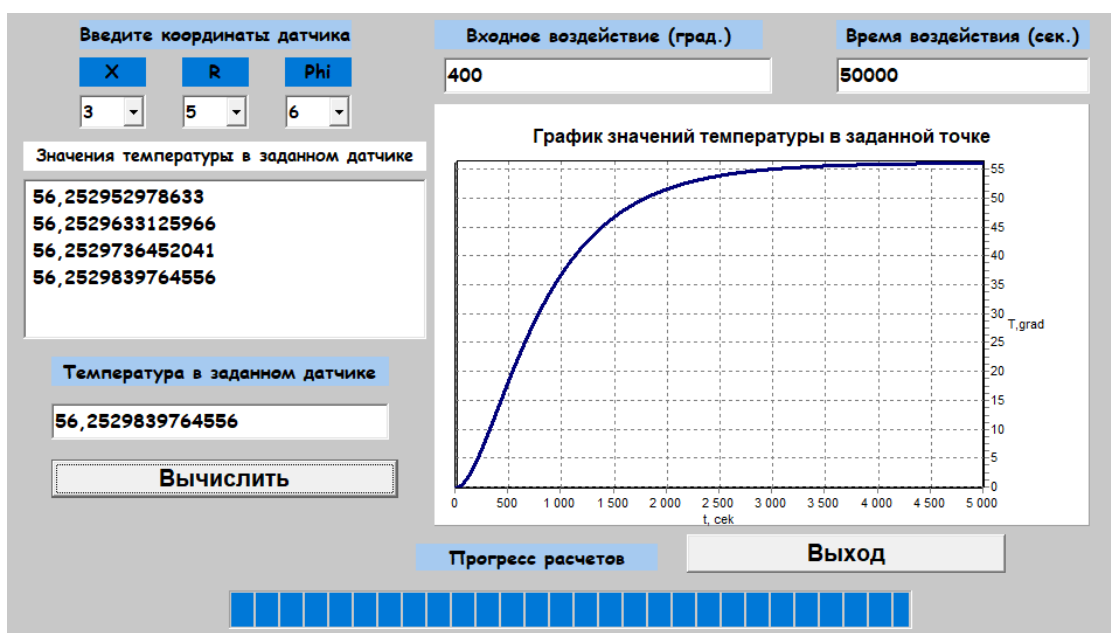


Рис. 2. Программа на Delphi 7 с графиком переходного процесса

## 2.2. ПИ-регулятор

По полученному графику переходного процесса составим передаточную функцию, которая совпадает с инерционным звеном первого порядка:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1} e^{-\tau p} = \frac{0.14}{1500p + 1} e^{-47.5p}.$$

Определив области допустимых значений настроек регулятора, выберем следующие коэффициенты:  $k_p = 20$ ;  $k_u = 0.01$ . Далее построим полученную систему управления в среде MatLab Simulink (рис. 3, 4).

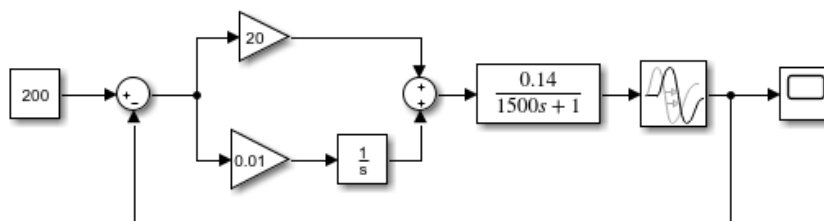


Рис. 3. Схема СУ с ПИ-регулятором

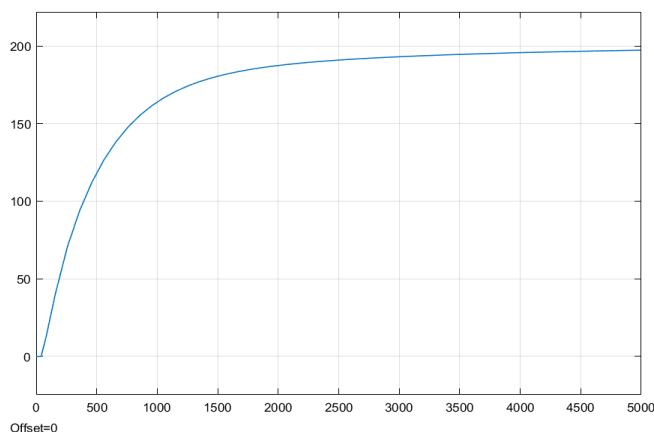


Рис. 4. График переходной функции с ПИ-регулятором

## 3.3. Результаты моделирования

Изменив часть кода в среде Delphi 7, добавив туда ПИ-регулятор, в той же точке с координатами [3, 5, 6] график переходного процесса теперь имеет следующий вид (рис. 5).

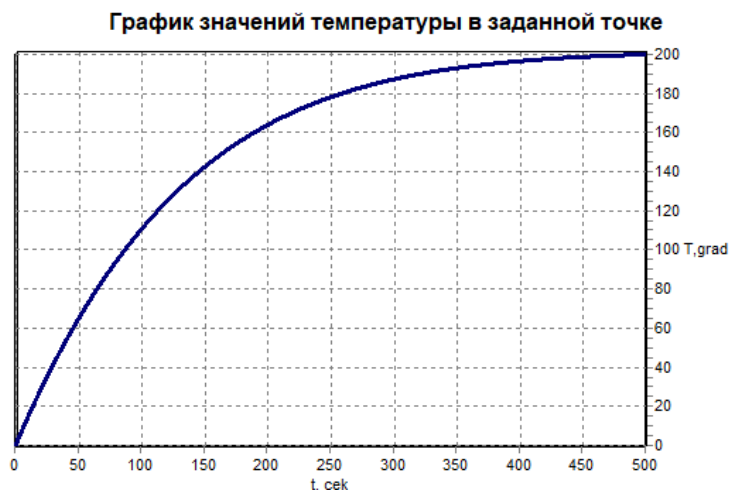


Рис. 5. График передаточной функции СУ с регулятором в среде Delphi 7

В итоге у нас получилась система, которая может поддерживать заданную на входе температуру, что нам и требовалось.

#### **Библиографический список**

1. *Главачек Ф., Лхотский А.* Пивоварение – Прага: Пищевая промышленность, 1977. С. 624.
2. Моделирование систем управления: учебник. СПб.: ГУАП, 2019. 61 с.

УДК 62-187.2

**А. Ю. Шленский**

студент кафедры управления в технических системах

**Д. О. Якимовский** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

### ПРИВОД ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

В современной промышленности большое распространение получили приводы линейного перемещения (ПЛП). ПЛП используются в различном гидравлическом оборудовании, промышленном оборудовании и особенно в станках с числовым программным управлением.

Приводы линейного перемещения предназначаются для преобразования вращательного движения вала электродвигателя в продольное перемещение. Наиболее важными характеристиками ПЛП являются величина минимального перемещения (точность) и скорость перемещения штока (подачи). Эти факторы помогают определить тип используемого привода в том или ином оборудовании и механизме. Современное станкостроение постоянно повышает требования к точности перемещения и быстродействию ПЛП, поэтому задача повышения точности и повышения скорости перемещения является главной.

Увеличение точности координатного позиционирования позволит увеличить качество обрабатываемых деталей, производимых на станках с числовым управлением, а увеличение скорости линейного перемещения – сократить время холостого и рабочего ходов, тем самым повысив производительность оборудования.

Исходя из вышесказанного можно поставить задачу разработки такого привода линейного перемещения портала станка с числовым программным управлением, который увеличит точность координатного позиционирования, а также скорость его линейного перемещения.

Для примера за основу для модернизации был выбран ПЛП оси Y станка торговой марки CNC-motors модель VX-2515. Выбор данного ПЛП обусловлен тем, что при большом рабочем поле 2500 x 1500 мм он имеет низкую скорость перемещения портала, которая ограничена 3000 мм в мин., но при этом имеет невысокую точность позиционирования 0,025 мм. Главными проблемами данного станка являются невысокая точность координатного позиционирования и низкая скорость линейного перемещения.

Поставим задачу разработки привода линейного перемещения, который позволит обеспечить скорость перемещения портала фрезерного станка до 10 000 мм/мин., обеспечит точность координатного позиционирования 0,01 мм, а также обеспечит силу давления 7,8 Н\*м. За основу для модернизации принять привод линейного перемещения оси Y станка VX-2515.

В качестве решения проблемы увеличения точности координатного позиционирования предлагается интегрировать понижающий редуктор, а для увеличения скорости линейного перемещения – использовать реверсивную систему привода с неподвижным ходовым винтом. Использование реверсивной схемы объясняется тем, что в качестве приводной механики использована шариковая пара с диаметром ходового винта 20 мм, шагом резьбы 5 мм и длиной 3000 мм, которая ограничена 600 об./мин, так как при более высоких оборотах ходового винта возникает вибрация [1].

Для того чтобы внедрить привод линейного перемещения имеющего реверсивную компоновку и понижающий редуктор, необходимо произвести расчеты исходя из скоростных и точностных требований заказчика.

Так как точность координатного позиционирования напрямую зависит от углового шага двигателя, а использовать шаговый двигатель с меньшим угловым шагом не рекомендуется, поскольку падает крутящий момент, следовательно, двигатель с меньшим угловым шагом рассматривать не будем.

Замена ШВП на винт с меньшим шагом не представляется возможной, так как для винта диаметром 20 мм не существует шага меньше 0,5 мм.

Характеристика	Номинальный диаметр винта и шаг резьбы		
	Классификация шага ШВП 2005-2010		
	Стандартный	Скоростной	Высокоскоростной
Шаг, мм	5	10	20
	5,08	15	40
	6		

На рис. 1 представлены основные параметры шарико-винтовой пары.

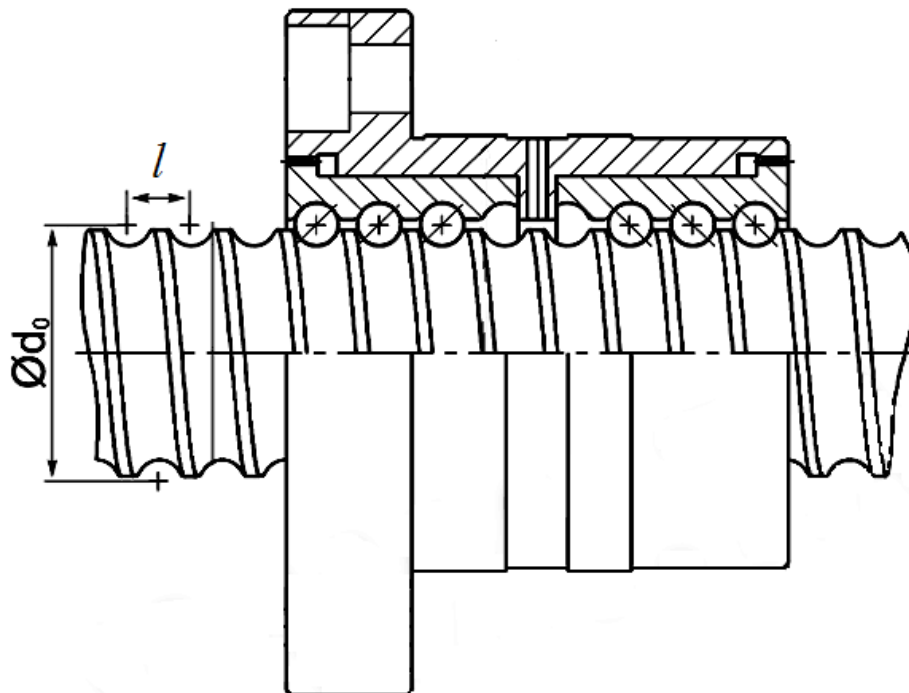


Рис. 1. Параметры шарико-винтовой пары:  $l$  – шаг винта;  $\Phi d_0$  – диаметр винта

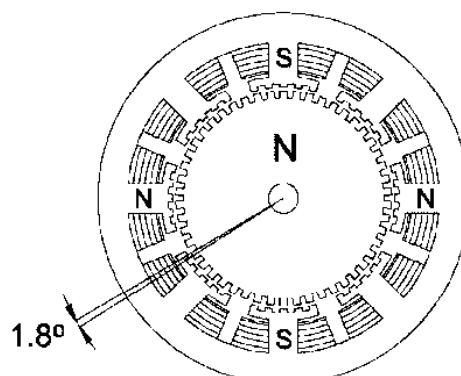
Поэтому необходимо внедрить понижающий редуктор между двигателем и шарико-винтовой парой с коэффициентом редукции  $U_{ред} = 1:5$ . Редуктор выступает как делитель углового шага приводного двигателя.

Определяем дискретность схемы с использованием понижающего редуктора [2].

Количество шагов на один оборот вала шагового двигателя:

$$N_{шаг} = \frac{360^\circ}{\theta} = \frac{360^\circ}{180^\circ} = 200 \text{ шт.},$$

где:  $\theta$  – угловой шаг двигателя.



Находим угол поворота гайки ШВП:

$$\theta_{\text{ШВП}} = \frac{\theta}{U_{\text{ред}}} = \frac{1,8^\circ}{5} = 0,36^\circ$$

Находим количество шагов двигателя, необходимых для совершения одного оборота тихоходного вала:

$$N_{\text{шаг}} = \frac{360^\circ}{\theta_{\text{ШВП}}} = \frac{360^\circ}{0,36^\circ} = 1000$$

Находим перемещение гайки ШВП2005 за один шаг:

$$l_{\text{шаг}} = \frac{l}{N_{\text{шаг}}} = \frac{5}{1000} = 0,005 \text{ мм,}$$

где:  $l$  – шаг винта ШВП.

В связи с тем, что при использовании понижающего редуктора в паре с ШВП200, сильно снижается скорость линейного перемещения, возникает задача повышения скорости линейного перемещения.

Поскольку требуемая величина минимального шага должна быть  $l_{\text{шаг}} \leq 0,01$  мм, возможно применение ШВП с большим шагом ШВП2010.

Находим перемещение гайки ШВП2010 за один шаг:

$$l_{\text{шаг}} = \frac{l}{N_{\text{шаг}}} = \frac{10}{1000} = 0,01 \text{ мм,}$$

где:  $l$  – шаг винта ШВП.

### Вывод

Данная компоновка с использованием редуктора позволяет получить дискретность 0,01 мм на шаг шагового двигателя.

Так как скорость движение рабочего органа (портала станка) ограничена предельной частотой оборотов ходового винта ШВП, для того, чтобы увеличить максимальную скорость перемещения, необходимо использовать компоновку привода с использованием «обратной ШВП». При этом для передачи вращения от двигателя к гайке ШВП нужна установка редуктора между двигателем и ШВП. На рис. 2 изображена схема привода линейного перемещения где:

1 – шаговый двигатель, 2 – жесткая муфта, 3 – быстроходный вал редуктора, 4 – шестерня быстроходного вала, 5 – разрезное зубчатое колесо, 6 – люфтовывбирающее устройство, 7 – тихоходный вал, 8 – корпус редуктора, 9 – радиально-упорные подшипники, 10 – радиальные подшипники, 11 – крышки подшипников тихоходного вала, 12 – крышка подшипника быстроходного вала, 13 – крышка быстроходного вала, 14 – упорное кольцо, 15 – гайка ШВП, 16 – винт ШВП, 17 – рама портала, 18 – рельсовая направляющая, 19 – каретки, 20 – жесткие опоры ходового винта, 21 – кабель питания и управления шаговым двигателем.

Главным достоинством такой системы является то, что скорость перемещения ограничена максимальными оборотами двигателя. Отсюда следует, что увеличить скорость перемещения можно двумя способами:

- 1) заменой шарико-винтовой пары 2005 на шарико-винтовую пару 2010;
- 2) заменой шагового двигателя с частотой оборотов 3000 об./мин. на шаговый двигатель с большей частотой оборотов.

В табл. 2 представлены технические характеристики ШВП2010.

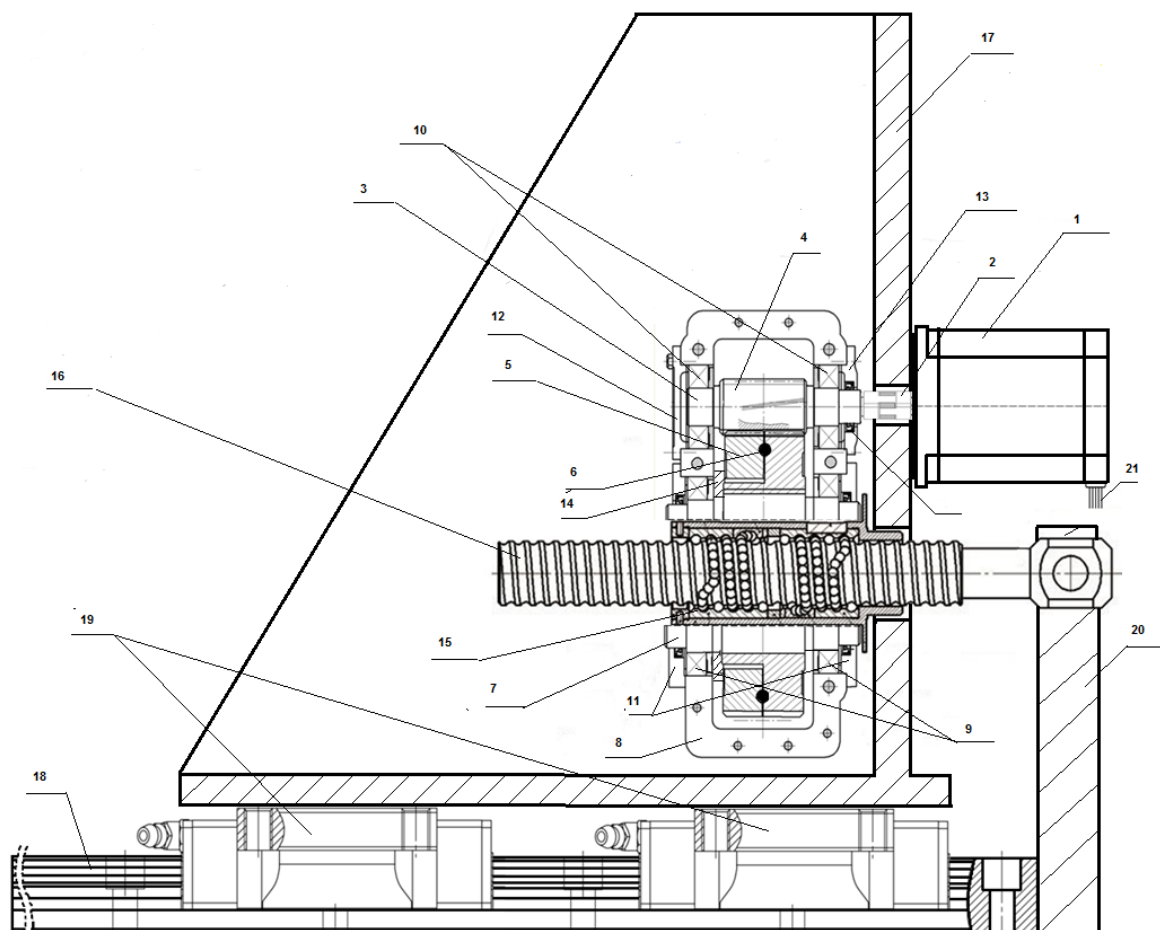


Рис. 2. Схема привода линейного перемещения с использованием «обратной ШВП»

Таблица 2

## Технические характеристики ШВП2010

Характеристика	Величина
Класс точности	C1
Диаметр винта, мм	20
Шаг ходового винта, мм	10
Длина ходового винта, мм	3000
КПД, %	95

Максимальная частота вращения гайки ШВП:

$$n_{\max \text{ ШВП}} = \frac{V_{\max}}{l} = \frac{10000}{10} = 1000 \text{ об./мин.},$$

где:  $V_{\max}$  – максимальная скорость перемещения.  $l$  – шаг винта ШВП.

Частота вращения вала двигателя:

$$n_{\text{врдв}} = n_{\max \text{ ШВП}} * U_{\text{ред}} = 1000 * 5 = 5000 \text{ об./мин.}$$

Для обеспечения заданной скорости движения портала необходимо использовать двигатель с частотой вращения:  $n_{\text{врдв}} \geq 5000 \text{ об./мин.}$

Исходя из полученных данных делаем вывод, что штатный шаговый двигатель станка ВХ 2515 не подходит. Его максимальная частота вращения 3000 об./мин, а для обеспечения требуемой скоро-

сти перемещения необходим шаговый двигатель с частотой вращения 5000 об./мин, следовательно, подбираем ближайший по частоте оборотов и крутящему моменту стандартный шаговый двигатель Festo EMMS-ST-28-L-SE. Шаговый двигатель выбран в соответствии с [3].

### **Вывод**

1. Предложена и обоснована концепция использования привода с компоновкой типа «обратная ШВП» для увеличения точности координатного позиционирования и увеличения скорости линейного перемещения.

2. Выполнены предварительные расчеты, подтверждающие работоспособность предлагаемого привода линейного перемещения для станка с числовым программным управлением.

### **Библиографический список**

1. Технический справочник шарико-винтовых передач HIWIN.
2. *Анурьев В. И.* Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 1, 6-е изд., 1982.
3. Технический справочник шаговых двигателей Stepper motors EMMS-ST 2018.



УДК 621.548

**А. В. Щербинин**

студент кафедры электромеханики и робототехники

**В. В. Булатов** – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Для ВЭУ (ветроэнергетических установок) с мощностью до 10 кВт в основном применяют электрохимическое аккумулирование с последующим преобразованием энергии постоянного тока в энергию переменного тока (220 В / 50 Гц). В некоторых ситуациях совместно с автономными ветроэнергетическими установками применяют дизель-генераторные установки для резервирования [1].

Стоит обратить внимание на зависимости между скоростью ветра и мощностью ветроколеса.

Кинетическую энергию  $\mathcal{E}$  потока ветра со скоростью  $v$  можно вычислить по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{m \cdot v^2}{2},$$

где масса потока ветра  $m = \rho \cdot V$ ;

где  $\rho$  – плотность воздуха при определенных погодных условиях;  $V$  – объем воздуха, масса которого равна  $m$ .

$$V = L \cdot A,$$

где  $L$  – длина объема в направлении потока ветра;  $A$  – площадь поперечного сечения, рассматриваемого потока ветра.

Мощность рассматриваемого потока ветра будет равняться:

$$P_0 = \frac{\mathcal{E}}{\tau} = \frac{\rho \cdot L \cdot A \cdot v^2}{2 \cdot \tau}.$$

Принимая во внимание тот факт, что  $L/\tau = v$ , получается следующее выражение:

$$P_0 = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2}.$$

Далее можно определить удельную мощность потока ветра:

$$\frac{P_0}{A} = \frac{\rho \cdot v^3}{2}.$$

На рис. 1 рассмотрена нелинейная зависимость удельной мощности потока ветра от скорости ветра. В расчетах принята плотность воздуха  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ . Такая величина свойственна для сухого воздуха при температуре 20 °С.

Для расчета мощности потока ветра, которая передается ветроколесу нужно воспользоваться формулой:

$$P = C_p \cdot P_0 = C_p \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 / 2,$$

где  $P$  – мощность на валу ветроколеса;  $C_p$  – коэффициент, который отражает, какую часть мощности потока ветра использует ветроколесо.

Площадь, ометаемая ветроколесом:

$$A = \pi \cdot R^2,$$

где  $R$  – длина лопасти ветроколеса.

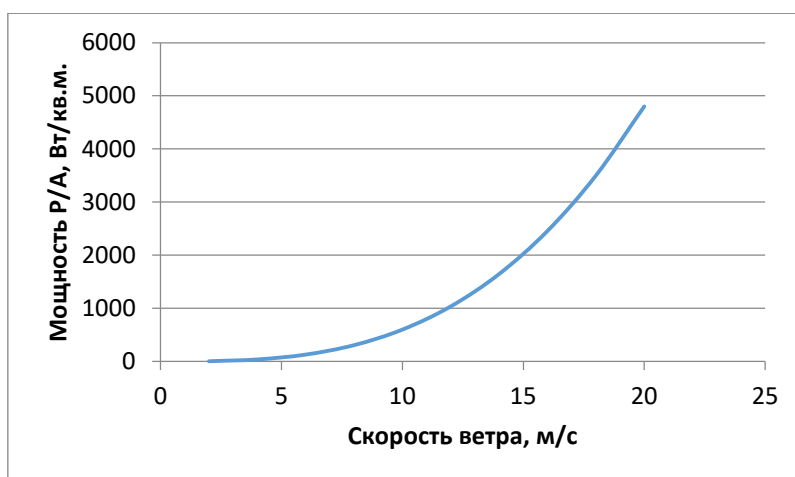


Рис. 1. Зависимость удельной мощности потока ветра от скорости ветра

Выходная мощность на валу ветроколеса:

$$P = C_p \cdot P_0 = C_p \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V^3 / 2.$$

Одной из наиболее значимых характеристик ветроколеса является его быстроходность  $Z$ :

$$Z = R \cdot \omega / V,$$

где  $\omega$  – угловая скорость;  $V$  – скорость потока ветра.

Зачастую угловую скорость выражают в виде числа оборотов минуту –  $n$ .

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60.$$

Зададим тип ветрогенератора – горизонтальный, трехлопастной.

Для данного типа ветрогенераторов номинальная быстроходность составляет 4,2.

Максимальный коэффициент преобразования энергии ветра  $C_{pm}$  вычисляется следующим образом:

$$C_p = 0.41117 - 0.01417 \cdot n_n.$$

Так как выбран трехлопастной тип ветрогенератора, то:

$$C_{pm} = 0.366.$$

Номинальная мощность на валу ветроколеса будет равна:

$$P_i = C_{pm} \cdot \pi \cdot \rho \cdot R^2 \cdot V_i^3 / 2.$$

Для начала проектирования ветроэнергетической установки чаще всего хватает следующего набора данных: режим нагрузки (зависимость мощности, которую ВЭУ должна вырабатывать для потребителя, от времени) и ветровой потенциал района, где планируется монтаж ветроэнергетической установки. Однако вопрос выбора параметров ветроэнергетической установки сильно осложняется из-за того, что в течение дня и в течение года скорость ветра изменяется по случайному закону. В связи с этим на начальной стадии проектирования задают «проектную» скорость ветра на основе метеорологических исследований, а также некоторую «проектную» выходную мощность ветроэнергетической установки [2].

$$R = [2 \cdot P_i / (C_{pm} \cdot \pi \cdot \rho \cdot V_i^3)]^{0.5}.$$

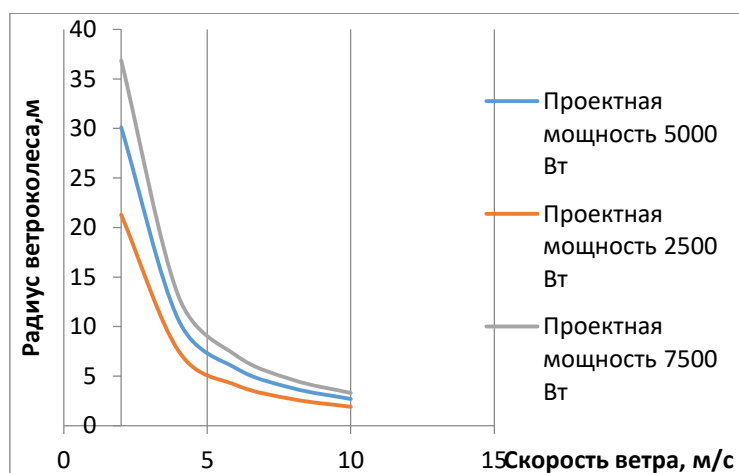


Рис. 2. Зависимость радиуса ветроколеса от скорости ветра

Любая мощная энергосистема способна принять какую угодно мощность, которую выработает ветроэнергетическая установка, не обращая внимания на схему исполнения установки. Прочность материала лопастей достаточно существенно ограничивает скорость их концевых частей и тем самым ограничивает мощность, которую может выработать ветроколесо.

В настоящее время многие страны мира могут позволить себе производить ветроэнергетические установки. Во многом это связано сразу с несколькими факторами, такими как: несложная технология производства, достаточно невысокий объем производства, высокий спрос на такую продукцию в большинстве развитых стран [3].

#### Библиографический список

1. Рьманов А. Ю. Интегрирование ветровой энергетики в энергетическую систему // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2008. С. 49–57.
2. Бубенчикова Т. В. Выбор электрогенераторов для ВЭУ // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. С. 43–50.
3. Чудинов Д. М. Уровень развития ветроэнергетики в мире // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2017. С. 34–39.

УДК 004.95:005

**А. Д. Юницкая**

студентка кафедры технологий защиты информации

**Т. Н. Елина** – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

### **СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ ВАРИАНТА РЕКОНСТРУКЦИИ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ**

В настоящее время системы поддержки принятия решений используются во многих сферах производственной деятельности. Принятие решений об инвестировании должно подкрепляться технико-экономическим обоснованием предлагаемого проекта, а также анализом альтернативных предложений.

Целью применения автоматизированных систем мониторинга и технического диагностирования (АСМД) является обеспечение заданного уровня надежности при производстве, передаче и распределении электроэнергии за счет эффективного использования ресурсов и управления производственными активами на основе баланса затрат, рисков и производительности активов.

АСМД предназначены для сбора, обработки, передачи и хранения информации о диагностических показателях, в том числе формирования заключения о текущем и прогнозируемом техническом состоянии оборудования.

Представленный проект посвящен разработке программного обеспечения для технико-экономического обоснования применения систем мониторинга на цифровой подстанции (ЦПС). В рамках проекта были определены:

- критерий технико-экономической целесообразности применения АСМД (срок окупаемости);
- алгоритм расчета технико-экономической целесообразности применения АСМД;
- перечень исходных данных для расчета технико-экономической целесообразности применения АСМД;
- требования и рекомендации к определению технико-экономической целесообразности применения АСМД.

В процессе проектирования учитывались результаты анализа научно-технической литературы, нормативных, технических, локальных нормативных актов, организационно-распорядительных, информационных и иных документов, а также результаты отраслевых научно-исследовательских работ в области АСМД электросетевого оборудования.

Для реализации проекта была осуществлена автоматизация расчетов и разработан интерфейс приложения для удобства пользователя (рис. 1). В качестве СУБД выбран MSSQL Server и разработано приложение, реализующее доступ к данным, в среде разработки Visual Studio 2017.

Для определения технико-экономической целесообразности применения систем мониторинга цифровой ПС необходимо рассчитать выгоду от:

- предотвращения отказов оборудования;
- увеличения допустимых перегрузок;
- сокращения объема недоотпущенной электроэнергии;
- недопущения загрязнения окружающей среды;
- недопущения причинения вреда населению;
- суммарную ежегодную.
- А также срок окупаемости АСМД:
- без учета инфляции;
- с учетом инфляции.

Окончательным выводом для принятия решения будет являться сопоставление рассчитанного срока окупаемости с целевым значением.

Form3

## Проект

Номер

Дата

Рис. 1. Ввод данных

Показатели

## Показатели

Название:

Исходные данные

Кл. у.е	Эр.л. руб	Зн. у.е	Значение
<input type="text" value="2,5"/>	<input type="text" value="5000"/>	<input type="text" value="205,5"/>	
<input type="text" value="0,11"/>	<input type="text" value="20"/>		
<input type="text" value="60"/>	<input type="text" value="0,02"/>		

Рис. 2. Расчет данных

Form5

## Вывод

	Полученные значения	Целевые значения
Срок окупаемости с учетом инфляции (лет)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Срок окупаемости без учета инфляции (лет)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Рис. 3: Форма для просмотра выводов

Таким образом, разработанная система оценки экономической эффективности реконструкции цифровой ПС помогает менеджеру принимать обоснованные решения, опираясь на несколько показателей и основываясь на анализе нескольких проектов.

**Библиографический список**

1. Концепция «Цифровая трансформация 2030». URL: [https://www.rosseti.ru/investment/Kontsepsiya\\_Tsifrovaya\\_transformatsiya\\_2030.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/Kontsepsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf) (дата обращения: 15.12.2019).
2. Создание базы данных. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/relational-databases/databases/create-a-database?view=sql-server-2016> (дата обращения: 20.12.2019).
3. Подключение к базе данных. URL: <https://metanit.com/sharp/mvc/5.2.php> (дата обращения: 20.12.2019).
4. Руководство по языку C#. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/> (дата обращения: 20.12.2019).

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Абрамов Д. И.</b> РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ БЮДЖЕТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ .....	3
<b>Алексеева В. Н.</b> ЭНЕРГИЯ ЧЕРНЫХ ДЫР .....	7
<b>Аминев Р. Н., Балгазин И. И.</b> ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДЕМПФЕР В ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	10
<b>Аминев Р. Н., Балгазин И. И.</b> ЭЛЕКТРОМОТОР-КОЛЕСО ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ .....	12
<b>Андришко А. А.</b> АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ.....	14
<b>Асфар Д. Б., Худайбердина А. Р., Жеребко С. О., Виноградов М. М.</b> ДЕТЕКТОРЫ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН, ОСНОВАННЫЕ НА ПРЯМОМ МЕТОДЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	17
<b>Асфар Д. Б., Худайбердина А. Р., Жеребко С. О., Виноградов М. М.</b> КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ФИКСИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН .....	21
<b>Балгазин И. И., Зиганшин Т. Р.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ БИФИЛЯРНОЙ КАТУШКИ, ВКЛЮЧЕННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО .....	23
<b>Беликов М. А.</b> ПРОБЛЕМЫ И РИСКИ VR/AR-ТЕХНОЛОГИЙ В БИЗНЕСЕ .....	28
<b>Белошова Д. П.</b> ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ В СФЕРЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ.....	30
<b>Беляева А. В.</b> ВЛИЯНИЕ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	32
<b>Бобович Т. А.</b> СОВРЕМЕННЫЕ УЧЕБНЫЕ ЦЕНТРЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СФЕРЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ И МИРА .....	36
<b>Бобрышов А. П., Кузьменко В. П., Квас Е. С.</b> АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ СПОСОБОВ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ ПРОВЕРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	39
<b>Бобрышов А. П., Солёный С. В., Солёная О. Я.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТВОДОВ И РАДИАТОРОВ ОТВОДА ТЕПЛА МАЛОМОЩНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ .....	43
<b>Богданов В. Д., Бурдин Р. А., Комендантов А. Ю., Давудян А. У.</b> К РАСЧЕТУ ГРЕБНОГО ВИНТА ОБРАТИМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СУДНА.....	47
<b>Богданов В. Д., Бурдин Р. А., Комендантов А. Ю., Давудян А. У.</b> СИСТЕМА ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ КОЛЬЦЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ. ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ НАГРУЗОК .....	50
<b>Богданов В. Д., Бурдин Р. А., Комендантов А. Ю., Давудян А. У.</b> СПОСОБЫ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА.....	53
<b>Быков А. Н., Семенов А. В.</b> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕПЛИЦЕЙ .....	57
<b>Васильев И. А., Старостина М. Н.</b> ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В УСТРОЙСТВЕ СЕТЕВЫХ НАСОСОВ .....	61
<b>Васин М. А.</b> ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ .....	63
<b>Выграновская А. В., Приходский А. А., Рысин А. В., Квас Е. С.</b> ГИБРИДНЫЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ.....	68
<b>Гарафутдинов Д. Р.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕТОКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ТАКТИЛЬНОМ ИНТЕРФЕЙСЕ.....	73
<b>Гарматий Н. И., Шишков К. О., Павлюков Д. А., Худайбердина А. Р., Исаков К. С.</b> ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕРАБОТАННОГО ПЛАСТИКА В АДДИТИВНЫХ УСТАНОВКАХ.....	75

<b>Гарматий Н. И., Шишков К. О., Павлюков Д. А., Худайбердина А. Р., Исаков К. С.</b> ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТИКОВЫХ 3D-ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ .....	80
<b>Гарматий Н. И., Шишков К. О., Павлюков Д. А., Худайбердина А. Р., Исаков К. С.</b> СИСТЕМА ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ .....	86
<b>Гарматий Н. И.</b> АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ .....	90
<b>Гизатуллина Л. Р.</b> МЕТОДЫ И ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ .....	96
<b>Горлач А. Р., Горлач Я. А.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ VISSIM И MATLAB/SIMULINK.....	99
<b>Григорьев А. В.</b> МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИНВЕРТОРА С ШИМ .....	102
<b>Григорьев А. В.</b> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКОВ .....	106
<b>Григорьев Г. К., Рыбаков И. М.</b> КЛАССИФИКАЦИИ И ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ .....	109
<b>Гриднев С. Р.</b> РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА В ГАЗОХОДЕ ПАРОВОГО КОТЛА.....	112
<b>Дементьев К. В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА .....	119
<b>Дмитриев А. В., Калайда П. А.</b> ОБЗОР СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ УМНОГО ДОМА.....	125
<b>Добрынин Д. А.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБУЧАЕМОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ РОБОТОВ .....	128
<b>Евшин К. А.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПАРОВОГО КОТЛА .....	135
<b>Захватов В. И.</b> МНОГОВАРИАНТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ.....	141
<b>Кадыркаева М. Р.</b> РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗОНАТОРОВ НА СОВРЕМЕННЫХ АНАЛИЗАТОРАХ ЦЕПЕЙ.....	144
<b>Керс А. Е.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ .....	147
<b>Клепцов Р. А.</b> ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ БИЗНЕСА.....	150
<b>Коньшеев А. В.</b> РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В КОСМОСЕ .....	153
<b>Коробкина В. С.</b> ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ СОЦИАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ .....	158
<b>Красиков А. А.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА НА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ .....	163
<b>Куделин А. С.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ВИЗУАЛЬНЫХ ОБРАЗОВ .....	166
<b>Лагутина А. В.</b> СОЗДАНИЕ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ. АНАЛИЗ ОПЫТА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ .....	172
<b>Лазерко В. А., Кукушкин Д. В.</b> ОСНОВНЫЕ ВЕХИ РАЗВИТИЯ ПОЗДНИХ ГЕНЕРАТОРОВ ТЗВ .....	178
<b>Логунов Д. В.</b> РАЗРАБОТКА БЫСТРОГО АЛГОРИТМА ЛОГИЧЕСКОГО СЛЕДСТВИЯ В ИСЧИСЛЕНИИ ВЫСКАЗЫВАНИЙ .....	183



<b>Малатынская Е. Ю.</b> АНАЛИЗ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИИ синхронного генератора с аксиальной магнитной системой.....	185
<b>Медведев А. А.</b> ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ.....	189
<b>Медведев М. В.</b> АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ SCADA СИСТЕМЫ.....	193
<b>Медведь Т. С.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ МОРСКИХ ВОЛН ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	199
<b>Медведь Т. С.</b> ПОПЛАВКОВЫЙ ВОЛНОВОЙ ГЕНЕРАТОР В РЕЗОНАНСНОМ РЕЖИМЕ.....	201
<b>Мезенцева Д. А.</b> ОПИСАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ВЫЗОВОВ, СТОЯЩИХ ПЕРЕД ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СЕКТОРОМ РОССИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ.....	204
<b>Морозов А. П.</b> ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОГО СУВЕРЕНИТЕТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	207
<b>Назаренко Ф. А., Статкевич А. В.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТИПОВ КАМЕР, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ.....	211
<b>Назаров В. В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАВЫСОКИХ КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ.....	214
<b>Наумов В. А., Фатыхов Ю. А., Агеев О. В.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РЫБЫ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВИБРОПЛОСКОСТИ ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА.....	217
<b>Никитина Н. М.</b> КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ КОНКУРЕНТНО-РЫНОЧНОЙ СРЕДЫ В РЕГИОНЕ.....	220
<b>Оборина Д. Ю.</b> О ПРОБЛЕМАХ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В BIG DATA.....	224
<b>Петров Э. В., Юрченко В. О.</b> РАЗРАБОТКА МАКЕТА РАЗМЫКАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПРИВОДОМ НА ОСНОВЕ ВЗРЫВАЮЩЕГОСЯ ПРОВОДНИКА.....	227
<b>Плиткин В. А.</b> МЕТОД ОДНОВРЕМЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ ВИДЕОПОТОКА.....	234
<b>Попков Д. Е., Городецкая А. В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ПОМОЩИ WIRELESS BRIDGE.....	237
<b>Попков Д. Е., Городецкая А. В.</b> РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ.....	239
<b>Потапов В. А., Русан С. И., Сиваченко Л. А.</b> ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЦЕПНЫХ ВИБРОУДАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ.....	241
<b>Пьянкова Л. М.</b> АНАЛИЗ МЕТОДОВ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ.....	244
<b>Резанов Д. А.</b> ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК.....	246
<b>Семенов А. И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ И НЕСИНУСОИДАЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ СЕТИ.....	250
<b>Сапронова Е. А.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСМОТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.....	255
<b>Сердечная Е. А.</b> ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ С НЕИЗМЕРЯЕМЫМ ВЫХОДОМ.....	258
<b>Сотник Д. П.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ЗАТИРАНИЯ СОЛОДА НА ПИВОВАРЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	261
<b>Старощук Д. И.</b> МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В РОБОТОТЕХНИКЕ.....	264
<b>Степаненко Е. В.</b> АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК.....	267

---

<b>Сулейманова Ф. Д., Трошин А. А.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА .....	271
<b>Таволжанский А. В.</b> ПОДАВЛЕНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ В СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ОТКЛОНЕНИЮ.....	274
<b>Фахрутдинова А. В.</b> ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ РОССИИ.....	277
<b>Федоров А. А.</b> ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ФЕРМ.....	283
<b>Ферштадт М. И.</b> ЗАРЯДНЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ.....	288
<b>Ходин А. В.</b> АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ .....	292
<b>Ходырев Е. С.</b> КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ.....	296
<b>Ходырев Е. С.</b> РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ РЕЕСТР ИСТОРИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА .....	298
<b>Цветков Л. С.</b> ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ САМОЛЕТА .....	300
<b>Чернышев С. Д.</b> РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОМОЩЬЮ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА.....	305
<b>Шитов Д. Э.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ФИЛЬТРАЦИИ СУСЛА НА ПИВОВАРЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ .....	306
<b>Шленский А. Ю.</b> ПРИВОД ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ .....	310
<b>Щербинин А. В.</b> РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	315
<b>Юницкая А. Д.</b> СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ ВАРИАНТА РЕКОНСТРУКЦИИ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ.....	318

Научное издание

**ЗАВАЛИШИНСКИЕ ЧТЕНИЯ'2020**

Молодежная секция

Сборник докладов  
15–18 апреля 2020 г.

ISBN: 978-5-8088-1503-2



9 785808 815032

Ответственные за выпуск:  
доктор технических наук, профессор *В. Ф. Шишлаков*; *А. В. Статкевич*  
Редактор *Е. В. Торопова*  
Компьютерная верстка *А. Н. Колешко*

---

Подписано к печати 28.08.20. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 18,8. Уч.-изд. л. 20,0. Тираж 150 экз. Заказ № 251.

---

Редакционно-издательский центр ГУАП  
190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67