

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

# МАВЛЮТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

*XVI Всероссийская молодежная научная конференция*

Том 3



Уфа 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

# **МАВЛЮТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ**

*XVI Всероссийская молодежная научная конференция*

Том 3

Научное электронное издание сетевого доступа

© УГАТУ  
**ISBN 978-5-4221-1643-0**  
**ISBN 978-5-4221-1646-1 (Т. 3)**

Уфа 2022

Мавлютовские чтения : материалы XVI Всероссийской молодежной научной конференции : в 6 томах [Электронный ресурс] / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : УГАТУ, 2022.

Том 3. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – URL: [https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El\\_izd/2022-201.pdf](https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2022-201.pdf)

Содержатся статьи, включенные в программу XVI Всероссийской молодежной научной конференции, состоявшейся в УГАТУ 25–27 октября 2022 г.

### **Организационный комитет конференции:**

#### **Председатель оргкомитета:**

Новиков С. В. – ректор ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ), канд. экон. наук, доцент (г. Уфа, Россия).

#### **Зам. председателя оргкомитета:**

Еникеев Р. Д. – первый проректор по науке УГАТУ, д-р техн. наук, профессор (г. Уфа, Россия);

Агеев Г. К. – проректор по инновационной деятельности УГАТУ, канд. техн. наук, доцент (г. Уфа, Россия).

#### **Члены оргкомитета:**

Вдовина И. В. – и. о. декана ФЗЧС, канд. хим. наук, доцент (г. Уфа, Россия);

Ахмедзянов Д. А. – декан ФАДЭТ, д-р техн. наук, профессор (г. Уфа, Россия);

Ларцева С. А. – директор ИНЭК, канд. экон. наук, доцент (г. Уфа, Россия);

Хусаинов Ю. Г. – директор ИАТМ, канд. техн. наук, доцент (г. Уфа, Россия);

Уразбахтина Ю. О. – декан АВИАЭТ, канд. техн. наук, доцент (г. Уфа, Россия);

Ковтуненко А. С. – и. о. декана ФИРТ, канд. техн. наук, доцент (г. Уфа, Россия);

Разяпов Т. В. – начальник отдела проектных инициатив (г. Уфа, Россия);

Бикбулатова О. Ф. – начальник УИТ (г. Уфа, Россия).

#### **Отв. секретарь оргкомитета:**

Никонова А. И. – аналитик отдела проектных инициатив (г. Уфа, Россия).

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

*Материалы публикуются в авторской редакции*

Ответственный за выпуск *Т. В. Разяпов*

Предпечатная подготовка *Л. А. Вяземская*

Программирование и компьютерный дизайн *О. М. Толкачёва*

*Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.*

Подписано к использованию: 14.10.2022

Объем: 16,2 Мб.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12.

Тел.: +7-908-35-05-007

e-mail: rik@ugatu.su



## СЕКЦИЯ 3.1 ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВИОНИКА

УДК 62-523.8

Д. С. БАГРОВ

*bagrov.dmitrij-s@ugatu.su*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. С. ФЕТИСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

### СИСТЕМА РЕТРАНСЛЯЦИИ РАДИОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ КВАДРОКОПТЕРА

**Аннотация.** В данной статье представлены основные шаги конструирования системы ретрансляции радиосигналов на основе квадрокоптера.

**Ключевые слова:** квадрокоптер, ретрансляция радиосигналов, модуль LRS, дальность связи.

В управлении беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) существует проблема обрыва радиосигнала между летательным аппаратом и аппаратурой управления из-за помех, рельефа местности, особенностей конструкции аппаратуры. Для того, чтобы удлинить каналы связи, используют модули LRS (Long Range System) [1].

Описание работы предлагаемой системы и структурная схема (рис.1): передатчик закрепляется на квадрокоптере и поднимается на высоту 100-200 м. Включается режим удержания, и квадрокоптер зависает в заданной точке. Далее беспилотный самолет производит взлет. Сигнал от аппаратуры попадает в модуль, закрепленный на квадрокоптере, усиливается и передается на пониженных частотах на приемник, установленный в самолете.

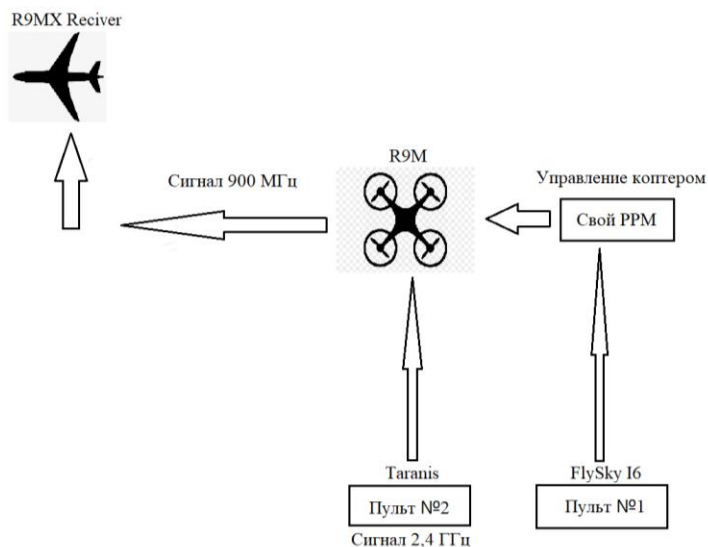


Рис. 1. Структурная схема

С помощью данной системы уменьшается влияние на сигнал рельефа местности и эфирных помех. При этом, существенно увеличивается дальность связи от аппаратуры управления до самолета. Так, вместо 5 км при обычной схеме «Пульт управления – БПЛА», дальность связи достигает 50 и более километров. Есть возможность повышения эффективности передачи за счет поворота узконаправленной антенны передатчика в сторону приемника, а также регулировки высоты расположения самого передатчика. В случае ухудшения связи, можно начать сближение ретранслятора с самолетом, так как заявленная дальность управления квадрокоптером до 1 км. Альтернативными вариантами являются подвеска модулей LRS на деревья, крыши домов, а также размещение их на воздушных шарах [2].

Для расчета компонентов БПЛА был использован он-лайн калькулятор Esalc [3]. С его помощью можно рассчитать такие параметры как: размер рамы, тип аккумулятора, подобрать регуляторы для моторов и сами моторы, а также размер пропеллеров. Изменяя параметры моторов и размер пропеллеров, мы можем добиться оптимального сочетания параметров грузоподъемности и длительности полета (рис. 2).

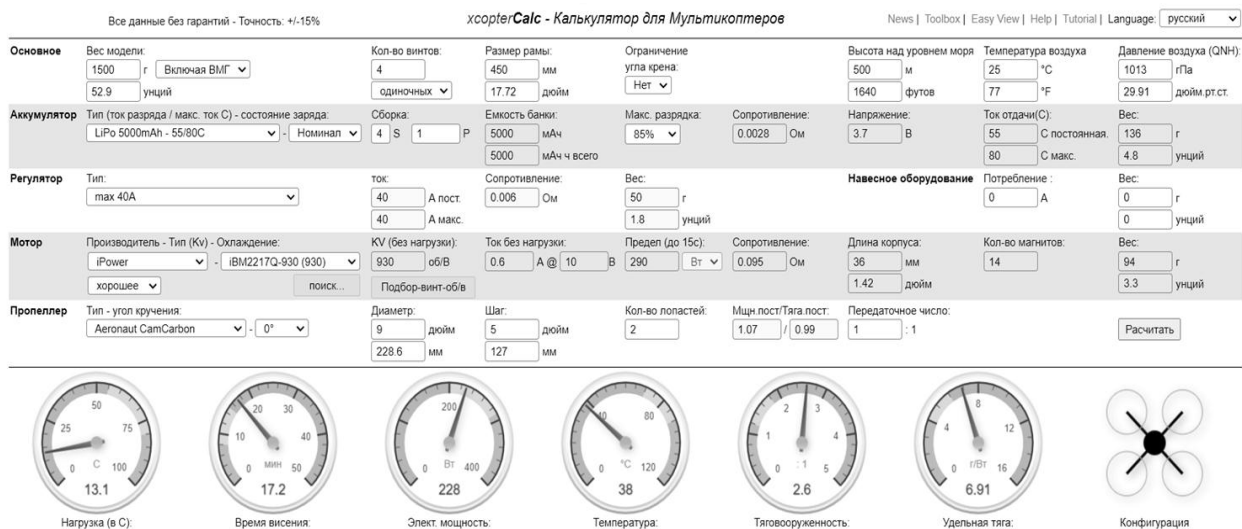


Рис. 2. Расчеты характеристик квадрокоптера

Окончательные рассчитанные параметры квадрокоптера: размер рамы – 450мм, взлетная масса – 1,7 кг, расчетное время висения в воздухе – 30 минут.

Модуль LRS: на рынке уже представлено несколько готовых решений. В разработке используется модуль R9M. Работа модуля осуществляется на пониженных частотах (не 2,4 ГГц, а 900 МГц), за счет чего усиливаются дифракционные свойства волны радиосигнала, а соответственно и увеличивается дальность приема-передачи (рис.3).



Рис. 3. Модуль LRS R9M

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://27rc.ru/forum/viewtopic.php?t=106>
2. [https://www.parkflyer.ru/ru/blogs/view\\_entry/2695/](https://www.parkflyer.ru/ru/blogs/view_entry/2695/)
3. <http://www.ecalc.ch/>

УДК 629.7.05:629.735.7

В. С. БЕКАСОВ

*Vlaserbek@gmail.com*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. С. ФЕТИСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБНАРУЖЕНИЕ ОЧАГОВ ВОЗГОРАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ БПЛА АЭРОСТАТИЧЕСКОГО ТИПА**

*Аннотация.* В работе предложен метод обнаружения возгораний в лесных массивах и промышленных объектах при помощи БПЛА с аэростатической разгрузкой. Проводится сравнение с другими методами обнаружения возгораний. Описывается принцип работы системы обнаружения и приводятся результаты ее первичных испытаний.

### ***Введение***

Несмотря на то, что ежегодно ущерб от лесных пожаров только в Российской Федерации оценивается в среднем в 20 млрд. рублей, надежного решения для предотвращения такого ущерба так и не найдено. От этого стихийного бедствия страдают и другие страны по всему миру, такие как Канада, США, Австралия и Греция [1].

Лучший способ борьбы с пожаром – это его предотвращение. И если на гражданских или промышленных объектах пожары можно предотвратить, соблюдая технику безопасности и обеспечив объекты необходимым оборудованием, то на обширных лесных территориях задача значительно усложняется. Возгорания носят спонтанный характер, их гораздо сложнее обнаружить, а ущерб от набравшего силу огня, может нанести огромный урон. Таким образом поиск способа быстрого и экономически эффективного обнаружения возгораний является важной задачей, решение которой, в условиях ухудшения экологической обстановки на планете становится все более и более насущным.

На данный момент выделяют три подхода к раннему обнаружению возгораний:

- 1) Наземное наблюдение
- 2) Наблюдение при помощи авиации
- 3) Наблюдение со спутников.

Первый способ является самым малоэффективным и архаичным, но простым для реализации. Третий способ является самым перспективным [2], но, на данный момент, способен регистрировать возгорание только после того, как пожар уже имеет место и виден из космоса. Подробное рассмотрение этих методов выходит за рамки данной работы.

Наблюдение с воздуха, остается самым надежным и оперативным способом обнаружить угрозу лесного пожара. Сейчас мониторингом в основном занимаются силы малой авиации, но все чаще в мире применяется практика использования для этих целей беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Использование БПЛА позволяет удешевить и расширить возможности мониторинга.

Тем не менее наблюдение с воздуха является экономически затратным методом. Авиационное топливо, затраты на квалифицированных пилотов и сами летательные аппараты часто приводят к ситуации «экономической нецелесообразности» их использования. БПЛА, как правило, дешевле, а также не требуют сложной инфраструктуры для запуска. Беспилотники самолетного и мультироторного типа все чаще применяются для мониторинга лесных территорий [3, 4]. Ограниченное использование БПЛА на данный момент обусловлено их малым временем нахождения в воздухе и сравнительно небольшой дальностью полета.

В работе рассматриваются перспективы использования БПЛА с аэростатической разгрузкой для обнаружения возгораний и описывается методика предполагаемого использования.

### ***БПЛА аэростатического типа для обнаружения лесных пожаров***

БПЛА аэростатического типа представляют собой беспилотный летательный аппарат, содержащий в своей конструкции оболочку, наполненную легким газом (как правило гелием). Действующая на оболочку со стороны атмосферы архимедова сила, позволяет снизить или полностью скомпенсировать вес лета-

тельного аппарата. Таким образом затраты энергии на поддержание высоты минимальны или отсутствуют. На фоне БПЛА самолетного типа, 40% энергии которых тратится только на поддержание высоты или мультироторных БПЛА энергоэффективность которых вовсе не позволяет использовать их для полетов дальше 10-20 км, аэростатические БПЛА могут претендовать на место самых подходящих для длительных полетов летательных аппаратов.

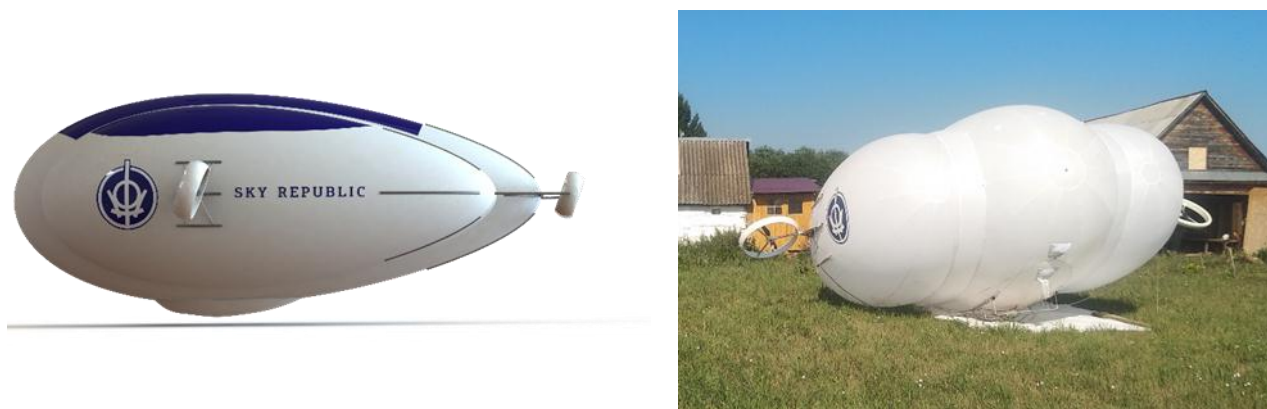


Рис. 1. Гибридный БПЛА «Sky Baby» разработанный автором в рамках проекта «Sky Republic». Компьютерная модель (слева) и реальный прототип (справа)

К главным недостаткам БПЛА аэростатического типа можно отнести низкую погодную устойчивость и сравнительно большие габариты. Так при сильном боковом ветре большинство аэростатов не способны к управляемому полету или вынуждены тратить избыточное количество энергии для выполнения летных задач, что нивелирует их преимущества перед классическими БПЛА. Долгое время эти особенности не позволяли аэростатическим БПЛА претендовать на эффективное использование.

Развитие технологий аккумуляции энергии и солнечной энергетики позволяют говорить о новых перспективах развития летательных аппаратов легче воздуха.

Так автором данной работы, в рамках проекта Sky Republic предложена конструкция беспилотного аэростата, предназначенного для длительных полетов (рис. 1). Предполагается, что оснащение аппарата солнечными панелями позволит значительно увеличить время нахождения в воздухе, особенно в жаркое пожароопасное время года.



Рис. 2. Визуализация предполагаемой работы БПЛА

Так же на борту БПЛА будет находиться система распознавания огня, что позволит регистрировать возгорания без необходимости постоянного участия человека.

Таким образом мониторинг лесных территорий сводится к непрерывному патрулированию автономным БПЛА. В случае обнаружения возгорания, в зависимости от удаленности беспилотника от командного центра, информация о координатах и размерах возгорания передается в службы природоохраны через мобильный или спутниковый интернет или по радиоканалам. Это позволит оперативно отреагировать и предотвратить распространение огня.

На данный момент аппарат находится в стадии испытаний. Испытывается как сам ЛА, так и отдельные аппаратные комплексы. Так например уже создана система на базе ИИ способная обнаружить присутствие огня по видеоизображению.

### ***Итоги***

Разработка беспилотных летательных аппаратов аэростатического типа может стать ключевой технологией в решении задачи предотвращения лесных

пожаров. Чем больше научных и инженерных коллективов будет задействовано в разработках на эту тему, тем быстрее человечество сможет обезопасить себя от дальнейшего ущерба со стороны этой стихии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коршунов Н. А., Котельников Р. В. Борьба с лесными пожарами: информационное обеспечение с помощью авиасредств //Пожарная безопасность. – 2008. – №. 1. – С. 125-129.
2. Ильина И. Ю., Саульский В. К. Разработка метода расчета числа спутников и высоты орбит для космической системы обнаружения малоразмерных лесных пожаров //Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ Т. – 2021. – Т. 183. – №. 4.
3. Коршунов Н. А., Котельников Р. В. Борьба с лесными пожарами: информационное обеспечение с помощью авиасредств //Пожарная безопасность. – 2008. – №. 1. – С. 125-129.
4. Новоселова И. С. О повышении эффективности обнаружения лесных пожаров беспилотными летательными аппаратами //Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки. – 2020. – С. 35-37.



УДК 62-523.8

Ф. М. БИКБАЕВ

*fidusbikbaev00@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. А. Ю. ДЁМИН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## АЛГОРИТМ РАБОТЫ КАНАЛА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗОВ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

**Аннотация.** В работе представлен алгоритм работы канала интеллектуальной системы измерения температуры газов газотурбинной установки, обеспечивающий самокалибровку датчика температуры.

**Ключевые слова:** интеллектуальная система измерения температуры; самокалибровка; газотурбинные установки; алгоритм работы канала.

Большинство интеллектуальных измерительных систем основаны на использовании средств микропроцессорной техники и микроконтроллеров в частности [1-4]. Работа подобных систем не возможна без создания алгоритмов и соответствующего программного обеспечения.

На рисунке 1 представлена блок-схема разработанного алгоритма функционирования канала интеллектуальной системы измерения температуры газов газотурбинной установки.

Если время калибровки еще не наступило – докалибровочный режим, то термоэлектрический преобразователь измеряет температуру объекта и генерирует термоэдс  $E_0$ , образцовый элемент измеряет температуру блока калибровки  $T_{бк0}$ ; затем происходит вывод этой информации и запись в базу данных.

Если время калибровки наступило – режим самокалибровки, то включается нагреватель и по истечении некоторого времени температура блока калибровки стабилизируется и далее с помощью микроконтроллера поддерживается постоянной, т.е. происходит термостатирование блока калибровки. После этого микроконтроллером фиксируются установившиеся значения термоэдс термоэлектрического преобразователя  $E_1$  и температуры блока калибровки  $T_{бк1}$ , затем выполняется расчет термоэлектрической способности термопары. Полученное значение термоэлектрической способности  $\alpha$  вводится в уравнение измерения

термопары и одновременно сравнивается с номинальной статистической характеристикой термопары, заложенной в микроконтроллер.

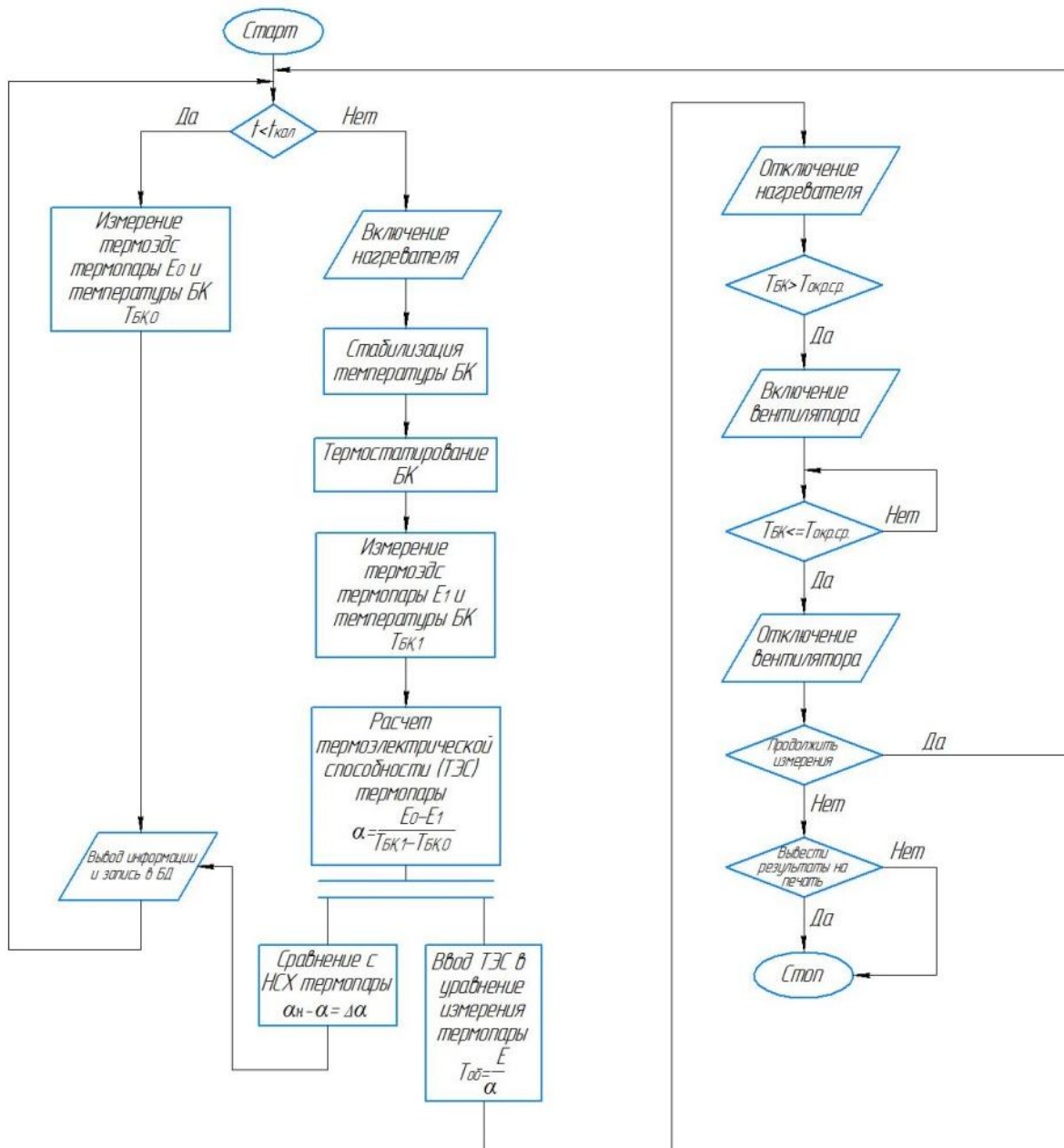


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы канала интеллектуальной системы измерения температуры

Полученное значение  $\Delta\alpha$  выводится на автоматизированное рабочее место испытателя. Начиная с данного момента времени температура объекта автоматически рассчитывается микроконтроллером с учетом скорректированного значения  $\alpha$ . На этом самокалибровка датчика закончена.

После окончания самокалибровки микроконтроллер приводит блок калибровки термопары в исходный, докалибровочный режим, происходит отключение нагревателя и включение вентилятора. Вентилятор охлаждает блок калибровки, в результате чего по истечении некоторого времени температура блока калибровки становится равной температуре окружающей среды. Затем происходит отключение вентилятора и если измерения продолжаются, то термопара измеряет температуру объекта в штатном режиме, а если измерения больше не продолжаются, то предлагается вывести результаты на печать и происходит остановка.

Таким образом, создан алгоритм работы канала интеллектуальной системы измерения температуры газов газотурбинной установки, который позволяет реализовать самокалибровку датчика температуры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент №2624410 РФ Способ измерения высокой температуры неоднородной среды / Сухинец Ж.А., Гулин А.И., Матвеев Д.С., Надршин А.С // Б.И. – 2017. – №19.
2. Патент №2617458 РФ Интеллектуальное средство измерений температуры / Сапожникова К.В., Адриен Ф.Ф.Л., Тайманов Р.Е. // Б.И. – 2017. – №12.
3. Патент №2727564 РФ Самокалибрующийся датчик температуры /Ходунков В.П. // Б.И. – 2020. – №19.
4. В.Н. Пугач, Е.Л. Воронин Преобразователь интеллектуальный с радиомодемом //Информатизация и системы управления в промышленности -№ 3(69)-2017 С.44-45

И. Б. ГИНИЯТОВ

*gilgamb@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. С. ФЕТИСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## КОНЦЕПЦИЯ ВСЕПОГОДНОГО МУЛЬТИКОПТЕРА

**Аннотация.** В работе описываются некоторые подходы по повышению сопротивляемости мультикоптеров неблагоприятным атмосферным воздействиям.

**Ключевые слова:** мультикоптер, БПЛА, погодные условия, ветроустойчивость, влагоустойчивость.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) применяются для решения самых разных задач. Подавляющее большинство БПЛА – это мультикоптеры. Они могут быть использованы, например, для транспортировки грузов, мониторинга местности, кинематографии и т.д. Однако полеты коптеров часто ограничены погодными условиями. Особенно мешают полетам ветер и влажность (в виде осадков – дождя, снега, тумана).

Рассмотрим указанные влияющие факторы по отдельности.

Влияние ветра заключается в давлении воздуха на корпус аппарата, причем сила этого давления может быть больше горизонтальной составляющей вектора силы тяги несущих винтов. Обычно мультикоптеры летают при ветре до 10 м/с [1]. Поэтому важно обеспечить низкие значения парусности всей конструкции БПЛА. Желательно, чтобы влияние ветра было равномерным независимо от его направления и вектора движения аппарата. Это может быть обеспечено за счет применения осесимметричного (с вертикальной осью симметрии) корпуса БПЛА. Таким образом, целесообразно выбрать сферическую форму корпуса. Но часто она не вполне подходит по технологическим соображениям: внутри такого корпуса трудно обеспечить рациональную компоновку узлов. Поэтому можно предложить эллипсоидный корпус с вытянутой в вертикальном направлении длинной осью симметрии (рис.1, а). Возможен также вариант с линзообразной формой корпуса (рис.1, б), однако здесь давление ветра будет

сильно различаться для разных углов тангажа и крена БПЛА. Имеет смысл также минимизировать толщину несущих балок винтомоторных групп – это тоже несколько снизит парусность.

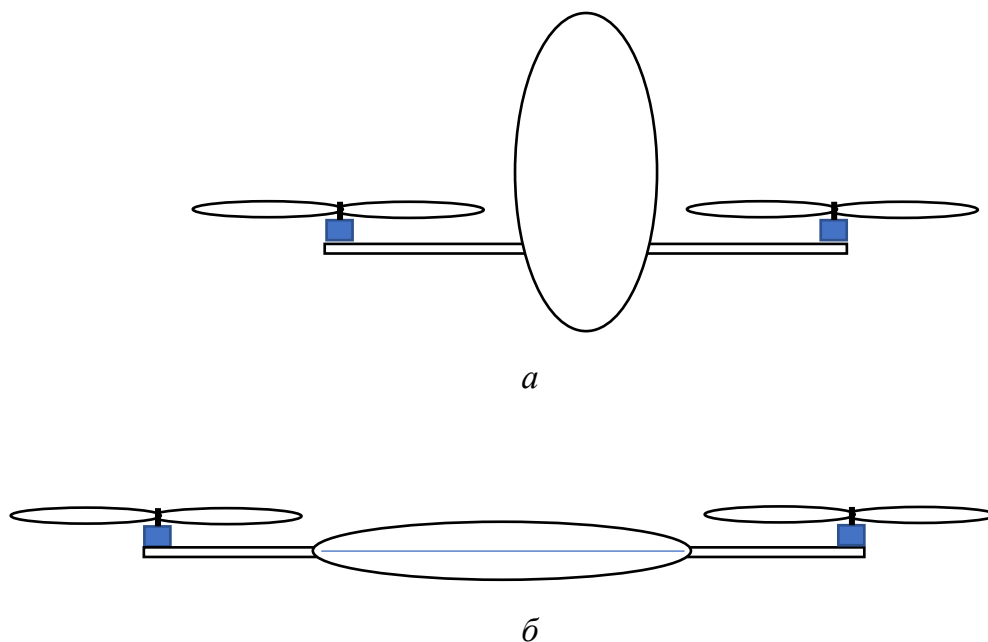


Рис. 1. Возможные варианты компоновок ветроустойчивых мультикоптеров

Для защиты от влаги необходимо изолировать электронные узлы БПЛА, включая провода, полетный контроллер, плату распределения питания, ESC-регуляторы и прочие комплектующие. Для этого обычно применяются гидрофобные жидкости или гели [2]. Можно также использовать компаунды или лаки [3]. Полностью изолировать модули ESC нельзя, т.к. необходимо обеспечить хороший теплоотвод от них. Поэтому целесообразно применить такое решение, когда радиатор ESC выведен наружу и обдувается воздухом от винтов, а остальная часть модуля гидроизолирована.

Влажность атмосферы также существенно влияет на распространение радиоволн. Дальность действия радиоканалов зависит от выбранного частотного диапазона радиопередатчиков и приемников [4]. С этой точки зрения лучше выбирать более длинноволновые диапазоны – например, 433, 868 или 900 МГц.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лучшие квадрокоптеры для ветреной погоды. <https://www.fotosklad.ru/expert/gadgets/article/luchshie-kvadrokoptyery-dlya-vetrenoy-pogody.html>
2. Гидрофобный аэрозоль Liqui Moly 8047. <https://exist.ru/Catalog/Goods/7/223/7E70AB53>
3. Теплопроводный силиконовый компаунд Гермоизол. <https://ufa.vseinstrumenti.ru/rashodnie-materialy/dlya-ruchnogo-instrumenta/dlya-payaki/aksessuary/germoizol/bp-00001015>
4. Макаров А. В., Андреев А. М. Влияние погодных условий на модели передачи данных трафика / Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». – 2021. - № 5. – С. 4-5.

УДК 681.7.01

АЙДАР Д. ИШЕМБЕТОВ, АЙРАТ Д. ИШЕМБЕТОВ

*aydar.ishem@bk.ru, ttt-rrr90@bk.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. Х. ЯСОВЕЕВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОСЕВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ ЗАЗОРОВ**

**Аннотация.** В статье проводится анализ влияния осевого перемещения волоконно-оптического коллектора (ВОК) с различной апертурой относительно фотоприемного устройства (ФПУ) при технологическом монтаже в оптических методах измерения радиальных зазоров (РЗ) в газотурбинных двигателях (ГТД). Приведены рекомендации к оптической системе измерения радиальных зазоров.

**Ключевые слова:** радиальный зазор, измерение перемещений, рабочая лопатка, волоконно-оптический коллектор.

### ***Введение***

В авиационной промышленности круг задач автоматического контроля малых аксиальных перемещений необычайно широк. Проблема повышения точности и производительности процессов контроля объектов, расположенных в труднодоступных местах, в условиях экстремальной эксплуатации (повышенные давления, температуры, воздействия агрессивных сред и т.д.) [1] ставит задачу построения новых измерительных систем.

Рядом исследований установлено [2; 3], что увеличение относительной величины РЗ (величина зазора, отнесенная к средней высоте лопатки) по торцам рабочих лопаток (РЛ) в турбине на 1%, вызывает уменьшение ее КПД на 1-2%, что соответствует возрастанию удельного расхода топлива  $C_{уд}$  на 1,5...2%. Еще большее влияние РЗ наблюдается в компрессоре – при увеличении на 1% происходит возрастание  $C_{уд}$  на 1,5...3%.

Анализ методов измерения малых аксиальных перемещений при экстремальной эксплуатации [4; 5; 6] и по аспекту метрологического обеспечения показывает, что одним из предпочтительных методов является оптический метод измерения РЗ.

Цель настоящей работы – анализ влияния осевого перемещения волоконно-оптического коллектора (ВОК) с различной апертурой относительно фотоприемного устройства (ФПУ) при технологическом монтаже в оптических системах измерения РЗ.

### *Анализ влияния осевого перемещения в оптических системах измерения РЗ*

Процесс измерения РЗ в оптических методах можно представить следующим образом (рис. 1):

1. В первой части от источника излучения по передающему ВОК поток излучения попадает на контролируемый объект (рабочую лопатку);

2. Во второй части измерения входной поток излучения, отражаясь от поверхности контролируемого объекта (рабочей лопатки), попадает в приемный ВОК, по которому далее поток излучения передается на фотоприемные устройства (ФПУ).

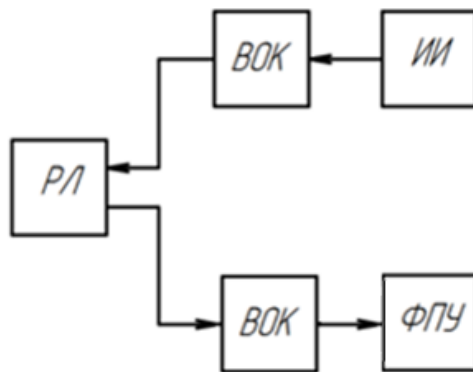


Рис. 1. Структурная схема оптической системы измерения РЗ

На выходе из ВОК поток излучения передается на фотоприемные устройства, в которых оптические сигналы преобразуются в фототоки, пропорциональные интенсивностям излучения.

Рассмотрим значения потока излучения в условных единицах при осевом перемещении волоконно-оптического коллектора относительно фотоприемного устройства:



На рис. 2 приведены зависимости потока излучения на ФПУ в условных единицах от осевого перемещения ВОК на  $d$  угловых градусов при различных значениях  $NA$  оптических волокон ВОК.

Анализ проведен для оптических волокон со следующими числовыми апертурами:  $NA = 0,1$  ( $\varphi=11,48^\circ$ ),  $NA = 0,22$  ( $\varphi=25,42^\circ$ ),  $NA = 0,5$  ( $\varphi=57,37^\circ$ ). По графикам видно, что большее влияние на поток излучения при осевом перемещении оказывает на оптические волокна с меньшей апертурой ( $NA = 0,1$ ). Однако преимуществом использования оптических волокон с меньшей апертурой является то, что поток излучения попадающего на фотоприемное устройство в 3 раза больше относительно оптических волокон с апертурой ( $NA = 0,5$ ) и в 1,6 раза больше относительно оптических волокон с апертурой ( $NA = 0,22$ ).

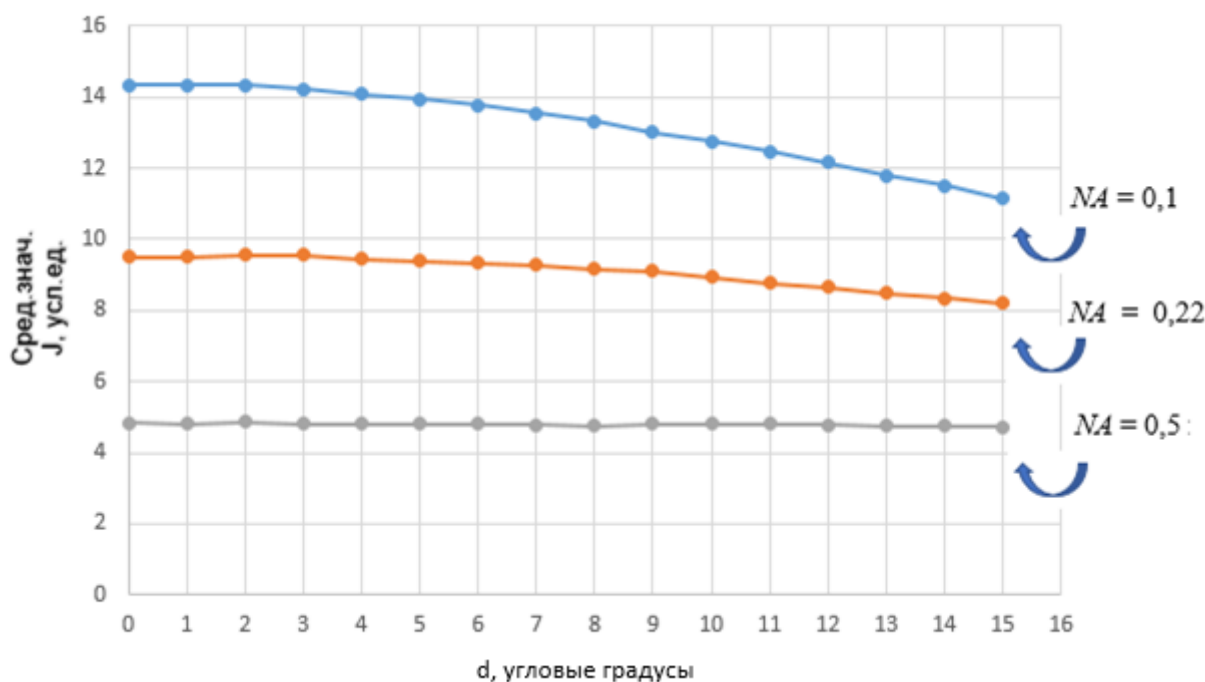


Рис. 2. График зависимости потока излучения на ФПУ от осевого перемещения ВОК

Преимуществом использования оптических волокон с апертурой  $NA = 0,5$  в том, что при осевом перемещении волоконно-оптического коллектора поток излучения попадающего на фотоприемное устройство не изменяется в большом объеме. Для  $NA = 0,5$  потери составляют всего 2%. В то же время

для  $NA = 0,1$  потери составляют 22%, что является весьма высокими показателями. Для  $NA = 0,22$  потери составляют 6% для угла от 0 до 10 градусов.

### **Выводы**

1. Рассмотрены значения потока излучения в условных единицах при осевом перемещении волоконно-оптического коллектора относительно фотоприемного устройства.

2. Проведен анализ оптических потерь при применении различных оптических волокон. По полученным данным можно сделать вывод о том, что при необходимости минимизации потерь следует выбирать оптические волокна с большей апертурой  $NA = 0,5$ , поскольку, чем больше этот угол, тем меньшее влияние оказывает осевое перемещение ВОК. Недостатком в том, что при использовании оптические волокна с большей апертурой ( $NA = 0,5$ ), поток излучения попадающей на фотоприемное устройство в несколько раз меньше относительно оптических волокон с меньшей апертурой ( $NA = 0,1$ ). При конструировании системы измерения РЗ оптическим методом рекомендуется выбирать оптические волокна с апертурой равной  $NA = 0,22$ , поскольку он имеет меньшие потери относительно оптического волокна с апертурой равной  $NA = 0,1$  и в то же время поток излучения, передающего на фотоприемное устройство, в 2 раза больше относительно оптического волокна с апертурой  $NA = 0,5$ .

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. С.Ю. Боровик, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев. Проблемы измерения радиальных зазоров в экстремальных условиях проточной части газотурбинного двигателя и их решение на основе применения одновитковых вихретоковых датчиков // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ. – 2014. – С. 6928–6937.
2. Sobey, A.J. Control of aircraft and missile powerplants [Text] / A.J. Sobey, A.M. Suggs. – New York: Wiley, 1963. – 432 p.
3. Авиационный двигатель ПС-90А: А.А. Иноземцев, Е.А. Коняев, В.В. Медведев, А.В. Нерадько, А.Е. Ряссов; Под ред. А.А. Иноземцева. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 320 с.
4. А.В. Минеев, В.Х. Ясовеев, Анализ средств измерения радиальных зазоров по аспекту метрологического обеспечения // САПР и моделирование в современной электронике. – Брянск, 2018. – С. 183–189.
5. Минеев А.В., Ясовеев В.Х., Вопросы измерений радиальных зазоров авиационных двигателей // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации:

Материалы Международной научно-технической конференции «Шляндинские чтения–2018». – Пенза: Издательство ПГУ, 2018. – С. 55–58.

6. Минеев А.В., Ясовеев В.Х., Классификация способов измерения радиальных зазоров // Проблемы получения, обработки и передачи измерительной информации: материалы I Международной научно-технической конференции / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: РИК УГАТУ, 2017. – С. 119–125.

7. А.А. Иноземцев. Вопросы оптимизации радиальных зазоров ТВД авиационного ГТД / А.А. Иноземцев, С.В. Бажин, М.А. Снитко // Вестник двигателестроения. 2012. – № 2. – С. 149–154.

УДК 629.735

Р. А. КИЛЬМЕТОВ

*pezenkk@gmail.com*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. С. ФЕТИСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТРУДНОДОСТУПНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ КОАКСКОПТЕРА**

*Аннотация.* В работе описывается разработка системы мониторинга труднодоступных объектов на базе БПЛА, построенного по схеме коакскоптера.

*Ключевые слова:* БПЛА, коакскоптер, мониторинг, труднодоступные объекты.

### ***Концепция разработки***

Разработка системы мониторинга труднодоступных объектов осуществляется на базе предложенного два года назад т.н. *коакскоптера* – БПЛА вертолетного типа с двумя соосными винтами, защищенных цилиндрическим корпусом, в нижней части которого расположены управляющие лопасти [1, 2]. Аппарат предназначен для полетов в сильнопересеченном пространстве и может быть использован для видеомониторинга труднодоступных объектов.

### ***Подбор элементной базы***

Для реализации данной системы необходимо подобрать соответствующие компоненты по цене, качеству, совместимости друг с другом, надежности и габаритам.

### ***Видеокамера***

Для обработки видеопотока была выбрана камера Genius FaceCam 1000X которая подключается к блоку анализа видеопотока по интерфейсу USB 2.0.

### ***Блок анализа видеопотока***

Для анализа видеопотока необходимы достаточные вычислительные ресурсы и мощный микрокомпьютер. Необходимо преобразовать цифровую картинку с видеокамеры в аналоговый видеосигнал, который далее можно обрабо-

тать и передать, следовательно на микрокомпьютере должны быть разъемы USB 2.0 и аналоговый видеовыход.

При выборе также принималась во внимание достаточная распространенность платформы и поддержка библиотек для анализа изображений, таких как OpenCV. По данным критериям был выбран микрокомпьютер Raspberry Pi Model B первого поколения [3].

### ***Разработка структурной схемы***

Как было определено выше, в систему мониторинга труднодоступных объектов на базе коакскоптера необходимо включить систему контроля полета БПЛА и систему анализа видеопотока. Исходя из обоснования выбора компонентов, выполняющих описанные выше задачи, была разработана структурная схема, в соответствии с рисунком 1.

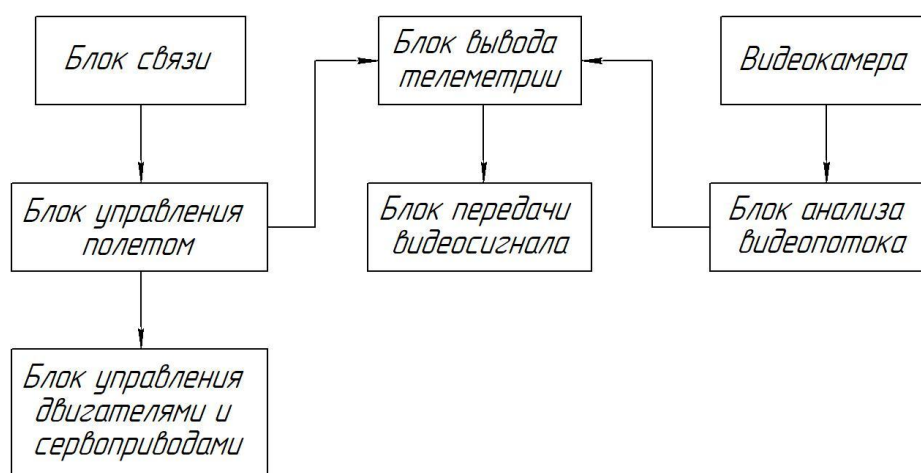


Рис. 1. Структурная схема системы

В общем виде система функционирует следующим образом: с пульта управления оператора БПЛА команды по радиоканалу передаются через бортовой приемник на полетный контроллер БПЛА. Полетный контроллер на основе данных со встроенных датчиков и команд от системы дистанционного радиоуправления вычисляет необходимые углы отклонения аэродинамических поверхностей и необходимую скорость вращения двигателей. Далее полетный контроллер передает вычисленные значения на блок управления двигателями и

сервоприводами, а также все данные с датчиков в блок вывода телеметрии [4, 5].

В то же время видеопоток с видеокамеры поступает на блок анализа видеопотока, в котором распознаются особые сегменты кадра по заданному образцу; они выделяются прямоугольником для внимания оператора. Далее на обработанный видеопоток накладываются данные телеметрии. Блок передачи видеосигнала передает видеопоток на устройство вывода оператора.

### *Алгоритм работы системы*

Был разработан следующий алгоритм работы программы анализа видеопотока (рисунок 2).

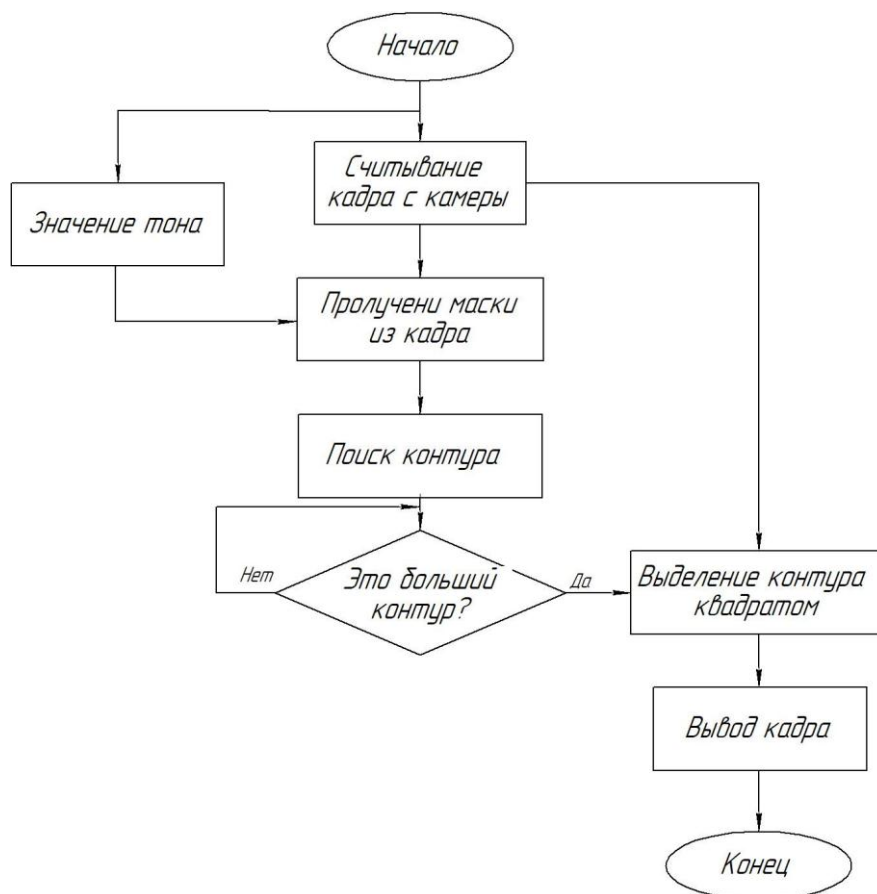


Рис. 2. Алгоритм работы программы анализа видеопотока

Вначале получаем кадр с видеокамеры.

Задаем необходимые границы цветов для поиска контура.

Следующим шагом необходимо преобразовать маску из кадра, для этого переводим значения тона из цветного формата в формат HSV, конвертируем изображение в формат HSV, создаем маску с выбранными границами тона, побитово складываем кадр и преобразованную маску, переводим маску в черно-белый формат.

Далее с помощью библиотеки OpenCV производим поиск контуров в картинке.

После вводим условие нахождения большего контура, при котором будет выведен больший контур из всех найденных.

Выводим проанализированный кадр.

### ***Программный код***

С задачей обработки видеопотока очень эффективно справляется библиотека OpenCV [6].

OpenCV (англ. Open Source Computer Vision Library) — библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом. Широко используется в таких языках как C, C++, Python и Java. Может свободно использоваться в академических и коммерческих целях — распространяется в условиях лицензии BSD [4].

Для написания программного кода использовалась среда разработки Python. В стандартной операционной системе Raspbian для платформы Raspberry Pi, изначально установлен среда разработки Python, также для работы системы необходимо установить библиотеку OpenCV.

### ***Заключение***

Разработанная система мониторинга реализует поставленные задачи и позволяет во многом автоматизировать процесс анализа видеопотока.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фетисов В.С., Кильметов Р.А. Легкий беспилотный летательный аппарат вертолетного типа // Патент № 2727333 РФ на изобретение: Оpubл. 21.07.2020. Бюл. № 21.
2. Труды ЦАГИ. № 559. Соосные воздушные винты. – Изд-во Бюро новой техники НКАП, 1944. – 71 с.
3. Микрокомпьютер «Raspberry Pi Model B» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sparkfun.com/products/retired/11546>
4. Формальский А.М. Управление движением неустойчивых объектов М.: Физматлит, 2012.–232 с.
5. Федосов Б.Т. Управление неустойчивыми объектами [Электронныйресурс]. –URL: [http://model.exponenta.ru/bt/bt\\_152\\_Inv\\_Pend\\_control\\_1.htm](http://model.exponenta.ru/bt/bt_152_Inv_Pend_control_1.htm)(дата обращения 11.04.2019).
6. Официальный сайт библиотеки «OpenCV» [Электронный ресурс]. URL: <https://opencv.org/>



УДК 656.021.8

Р. Р. КОДО, В. С. ФЕТИСОВ

*codorol22@gmail.com*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. С. ФЕТИСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОСАДКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА НА ПАЛУБУ КОРАБЛЯ**

**Аннотация.** В работе представлены идеи по реализации системы автоматической посадки беспилотного летательного аппарата (БПЛА) вертолетного типа на палубу корабля. В разработке используются спутниковые системы глобального позиционирования, методы компьютерного зрения, а также специальное механическое устройство для зацепления и подтягивания БПЛА к палубе.

**Ключевые слова:** БПЛА, автоматическая посадка, палуба, компьютерное зрение, лебедка.

В настоящее время беспилотные летательные аппараты широко применяются во многих областях. Существует множество задач для БПЛА на море и прибрежных территориях, в которых предполагается базирование, взлеты и посадки на судно. К таким задачам относятся мониторинг айсбергов, береговой мониторинг, мониторинг дикой природы и многие другие. Наиболее приспособлены для этого аппараты с вертикальным взлетом-посадкой – вертолеты и мультикоптеры. Однако точная посадка вертолета или мультикоптера на палубу корабля – довольно сложная задача, из-за движений палубы, вызванных океанскими волнами [1]. В этой статье, помимо традиционного использования для посадки БПЛА систем глобального позиционирования, таких как ГЛОНАСС или GPS, речь пойдет о теоретическом подходе к внедрению системы автоматической посадки на палубу корабля на основе компьютерного зрения беспилотника [2]. Подход, представленный в этой статье, предусматривает разбиение процесса посадки на 3 этапа: 1) сближение с кораблем с помощью определения координат в ГЛОНАСС/GPS; 2) обнаружение и идентификация посадочной платформы на палубе с помощью компьютерного зрения БПЛА; 3) вертикальная посадка с применением подтягивающего троса.

На первом этапе БПЛА заходит в зону нахождения корабля и зависает на высоте 5-10 м над предполагаемой посадочной платформой. При этом ограниченная точность определения координат с помощью ГЛОНАСС/GPS (с погрешностью порядка 1-5 м) не позволяют выполнить точную посадку. Но на этом этапе подключаются бортовые камеры и методы компьютерного зрения для обнаружения и отслеживания точного местоположения посадочной платформы для управления маневрами БПЛА. Компьютерное зрение позволяет осуществлять автономную посадку не только на неподвижные, но и на движущиеся цели.

Известны технические решения для обнаружения цели с использованием и других датчиков, таких как лидары, оптические ИК-датчики или ультразвуковые датчики. Хотя были получены интересные результаты, эти подходы не вполне подходят для решаемой задачи. Ультразвуковые и инфракрасные датчики чувствительны к состоянию поверхности цели и окружающей среды, а лидары, хотя обеспечивают очень точную оценку расстояний, довольно громоздки и дороги для применения в БПЛА.

Для реализации подсистемы компьютерного зрения выбран вариант с одной камерой. В качестве видеобработчика будет использован микрокомпьютер Raspberry Pi (Рис.1). Благодаря последнему изображению, снятые бортовой камерой, обрабатываются для извлечения информации о местоположении посадочной платформы, вырабатываются необходимые инструкции для полетного контроллера, управляющего движением БПЛА. В Raspberry Pi установлены необходимые подпрограммы [3] для обработки изображений, используются библиотеки OpenCV и Dronekit для взаимосвязи с полетным котроллером на языке Python.



Рис. 1. Raspberry Pi

Важнейшим узлом авионики БПЛА является полетный контроллер. Это устройство - центр управления полетом БПЛА, которое обеспечивает его полет, управляя газом, тангажом, креном и рысканьем. В качестве него можно использовать, например, популярный полетный контроллер Pixhawk (Рис.2).



Рис. 2. Полетный контроллер Pixhawk 4

Он имеет в своем составе или подключается к различным датчикам, позволяющим стабилизировать БПЛА и получать определенные важные данные для реализации системы. В частности, к нему будет подключен GPS-приемник M8N (Рис.3), с помощью которого БПЛА получает информацию о собственных координатах.



Рис. 3. Модуль GPS

Помимо этого, на БПЛА размещены: моторизованная лебедка со сматываемым тросом, на конце которого подвешен небольшой груз (шар); УЗ-высотомер для контроля высоты полета; датчики касания, позволяющие определить момент первого касания БПЛА о палубу. Все эти элементы взаимодействуют друг с другом, как показано на Рис. 4, 5.



Рис. 4. Структура системы

Что касается платформы, она будет оснащена модулем GPS, который будет передавать ее местоположение в начале операции. Кроме того, на палубе установлена площадка, в центре которой расположена воронкообразная впадина, на дне которой смонтировано захватное устройство для приема и захвата спускаемого грузика. Вокруг воронки расположено маркированное кольцо с контрастным рисунком. Также на площадке есть специальные метки для определения продольного направления и ориентации аппарата по курсу.

Автоматическая посадка БПЛА на палубу начинается с получения данных о местоположении корабля по GPS. БПЛА направляется к нему. После зависания аппарата над судном на высоте 5-10 м включается подпрограмма распознавания маркировочного кольца. Это может быть сделано с помощью стандартных программ из библиотеки OpenCV. Вычисленные видеобработчиком смещения координаты центра кольца относительно центра кадра циклически передаются в полетный контроллер, который формирует команды на средства управления движением так, что аппарат позиционируется над центром кольца.

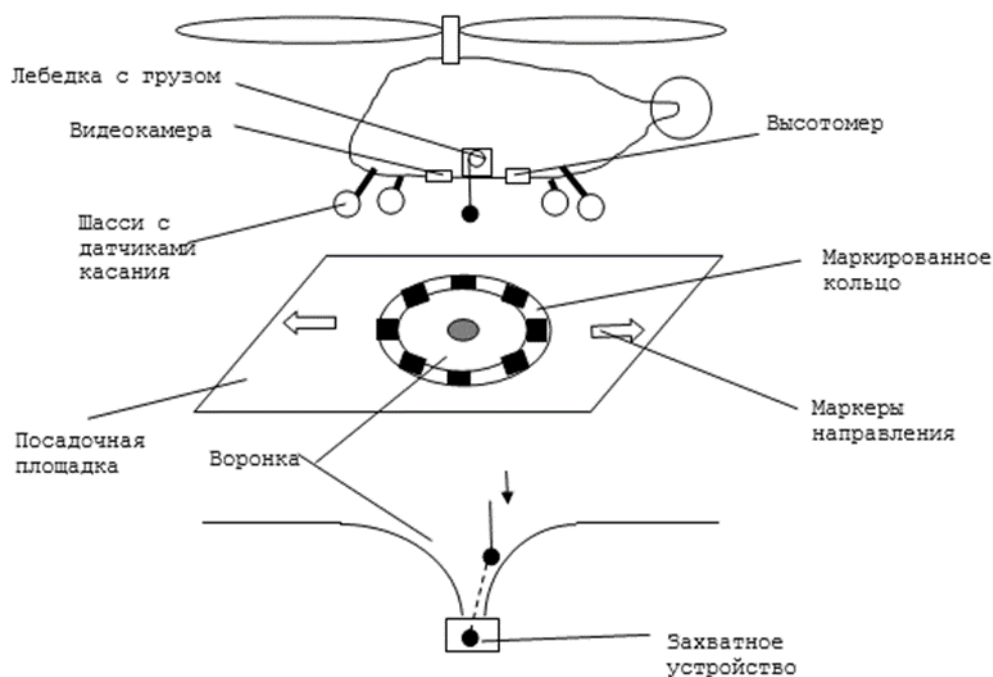


Рис. 5. Схема взаимодействия компонентов системы

Далее производится спуск на безопасную высоту (порядка 1-2 м) и опускание грузика на лебедке. При этом, несмотря на нестабильность уровня палубы, расстояние между аппаратом и палубой с помощью сигналов высотомера полетный контроллер поддерживает постоянным. Грузик попадает в воронку и захватывается специальным устройством. С этого момента тяга несущего винта несколько увеличивается для исключения провисания троса и включается лебедка на сматывание. Подтягивание аппарата происходит пока какая-либо точка шасси не коснется палубы. После этого тяга винта плавно уменьшается и аппарат садится на палубу остальными точками. Весь алгоритм показан на Рис.6.

### ***Заключение***

Предложено техническое решение автоматической посадки БПЛА вертолетного типа на палубу корабля. В разработке используются спутниковые системы глобального позиционирования, методы компьютерного зрения, а также специальная бортовая лебедка для зацепления и подтягивания БПЛА к па-

луге, что обеспечивает точную и надежную посадку БПЛА на палубе без риска его повреждения при качании палубы.

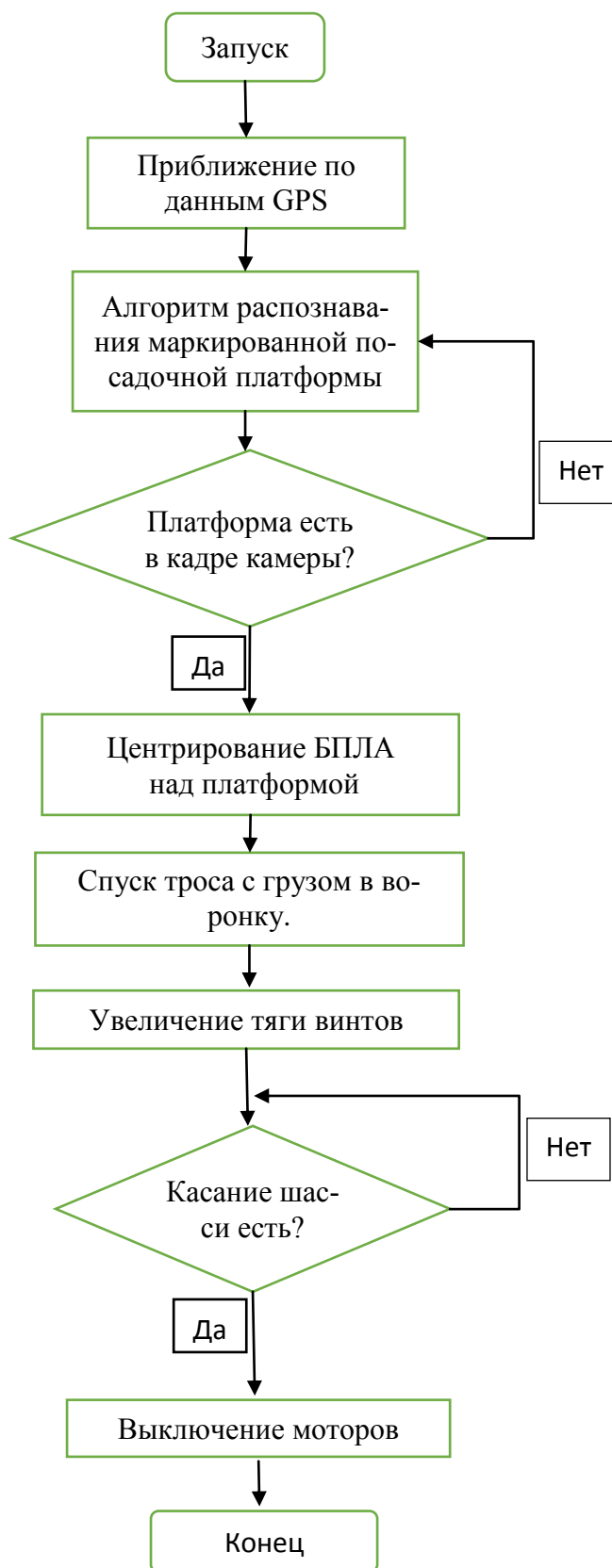


Рис. 6. Алгоритм работы системы

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liyang Wang , Xiaoli Bai , Quadroter Autonomous Approaching and Landing on a Vessel Deck, 12-26-2017
2. Sanchez-Lopez, J.L., Pestana, J., Saripalli, S., Campoy, P.: An approach toward visual autonomous ship board landing of a vtol uav. J. Intell. Robot. Syst. 74(1–2), 113–127 (2014)
3. Companion Computers [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ardupilot.org/dev/docs/companion-computers.html>

УДК 62-523.8

К. О. НОВИКОВА

*novikova.ko@ugatu.su*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. С. ФЕТИСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ПЛАТФОРМА С ДИСКРЕТНО ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ ШИРИНОЙ КОНТАКТНЫХ ПОЛОС ДЛЯ ЗАРЯДКИ КВАДРОКОПТЕРОВ**

**Аннотация.** В статье рассматривается один из вариантов зарядки квадрокоптеров на автоматической зарядной станции. Приводится контактный вариант реализации зарядной платформы, в которой ширина контактных полос может адаптироваться под типоразмер аппарата.

**Ключевые слова:** квадрокоптер; автоматическая зарядная станция; дискретно перестраиваемая ширина полос.

В современном мире все чаще применяются различные виды беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для решения широкого круга задач. Наиболее популярным концептом БЛА является квадрокоптер. Они решают не только задачи мониторинга, но и транспортные, монтажные, сервисные и многие другие задачи. Однако у БЛА есть недостаток: время их функционирования ограничено и требует перезарядки. Задача увеличения времени полета является актуальной в настоящее время.

Решить данную проблему можно при использовании автоматических зарядных станций [1]. В частности, такая станция может быть реализована на базе платформы с параллельными полосовыми электродами [2]. Такая платформа содержит множество лежащих в одной плоскости контактных площадок, представляющих собой плоские параллельные металлические полосы, разделенные узкими диэлектрическими прокладками. Половина полос подключена к «плюсу» зарядного источника, а другая половина – к «минусу», причем их полярности чередуются. Пусть на борту квадрокоптера имеется 4 бортовых посадочных электрода, расположенных на концах опорных стоек аппарата таким образом, что их точки касания с наземными электродами лежат в вершинах квадрата со стороной, равной ширине полосы. Каждый из бортовых электродов подключен через специальное диодно-распределительное устройство к положительному и



отрицательному выводу зарядного контроллера, связанного с бортовой аккумуляторной батареей. Благодаря такому решению, при посадке бортовые электроды не будут иметь одну и ту же полярность: как минимум один из них будет иметь полярность, отличную от других, а значит, корректное подключение к наземному зарядному источнику будет обеспечено при любом расположении БЛА на платформе.

Чтобы платформа могла принимать БЛА разных типоразмеров, ширина полосы платформы должна быть адаптируемой к типоразмеру БЛА.

Идея такой адаптации состоит в следующем. Пусть имеется узкая полоса с некоторым базовым значение ширины, допустим 50 мм, для которой отдельно может устанавливаться полярность подключаемого зарядного источника. Набор таких полос, разделенных узкими диэлектрическими промежутками, образует посадочное поле, которое в зависимости от типоразмера заходящего на посадку аппарата может переформатироваться, а именно: чередование полярностей может происходить через 1, 2, 3, 4 и т.д. полос, соответственно оптимальная межэлектродная база (для квадрокоптера) будет меняться в соответствии с рядом 50, 100, 150 мм и т.д. (рис. 1).

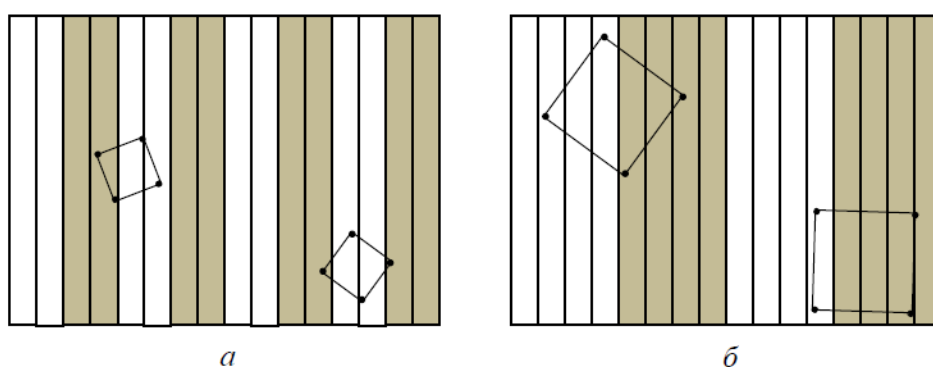


Рис. 1. Платформа с чередованием полярности:  
*а* – через 2 полосы; *б* – через 4 полосы

Фактически несколько подряд расположенных полос с одной полярностью равносильны одной сплошной полосе.

Коммутация полос на определенный полюс зарядного источника может выполняться либо автоматически, либо вручную. Последний вариант был ре-

лизован в экспериментальной платформе, в которой коммутация полос задается пользователем с пульта управления (рис. 2, 3) [2, с.149-152].

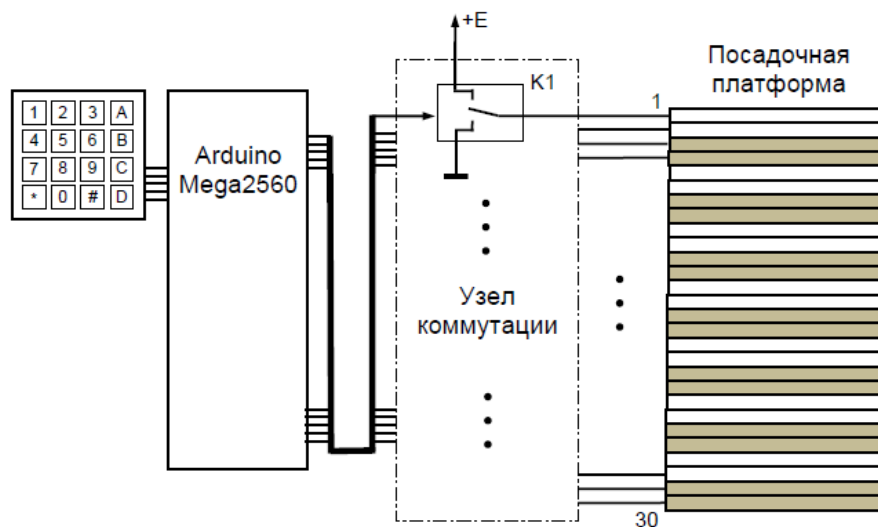


Рис. 2. Схема управления платформой с дискретно перестраиваемой шириной полос

Основной частью этого пульта является контроллер *Arduino Mega2560*. Ручная установка количества элементарных полос, через которое происходит смена полярности, задается с клавиатуры. Контроллер задает полярность 30 элементарных полос с помощью узла коммутации, в котором собраны управляемые переключающие реле (K1 по рис. 2), подключающие к каждой полосе либо положительный полюс источника питания E, либо землю.

Каждый БЛА, приземляющийся на платформу для зарядки, должен иметь на борту диодно-распределительное устройство (диодный коллектор) и зарядный контроллер, который обычно содержит в своем составе балансер.

Более гибкую и универсальную систему управления подключением полос к тому или иному полюсу зарядного источника можно получить, если в нее будет включена наземная подсистема определения наличия бортовых электродов на полосах и сопряженная с этими посадочными электродами бортовая подсистема выдачи при посадке сигнала присутствия. В такой системе коммутация полос происходит уже не регулярным образом, а произвольно, т.е. отдельно взятая элементарная полоса может иметь любую полярность в зависимости от расположения аппарата на платформе после посадки.



Рис. 3. Экспериментальный образец платформы:  
*а – общий вид; б – бортовые контакты БЛА; в – пульт управления*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aboumrad A., Haun J., McGinnis A., Wu N., An Automatic Platform for Landing and Charging of UAVs to Extend UAV Operations. 2020 16th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), 2020, pp. 343-347.
2. Фетисов В. С., Ахмеров Ш. Р. Системы подзарядки электрических беспилотных летательных аппаратов с вертикальным взлетом-посадкой на основе посадочных платформ с плоскопараллельными открытыми контактными площадками // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2015. № 7. С. 41–49.
3. Фетисов В.С., Артемьев А.Е., Муфаззалов Д.Ф. Автоматические сервисные станции для обслуживания электрических беспилотных летательных аппаратов. – М.: Инновационное машиностроение, 2017. – 253 с.

УДК 629.7, 614.84

А. В. ОВЧИННИКОВ, И. И. АБДУЛГУЖИН

*ilnazabdulguzhin@yandex.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. С. ФЕТИСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ПАТЕНТНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ТЕМАТИКЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРОТИВОПОЖАРНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Аннотация.** В работе проводится краткий обзор патентов по тематике тушения пожаров в высотных зданиях с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Предлагается решение, позволяющее сохранять положение центра тяжести БПЛА при одиночных пусках огнегасящих снарядов из многоствольной пусковой установки.

**Ключевые слова:** БПЛА, система пожаротушения, противопожарные снаряды.

Часто при тушении пожаров на верхних этажах высотных зданий или в других труднодоступных местах (например, в промышленных зонах, куда подъезд спец.техники невозможен) традиционные методы тушения огня с подачей воды или других огнетушащих жидкостей по шлангам не работают. Специальные краны и выдвижные лестницы помогают доставлять огнетушащую жидкость лишь до определенной степени, а высотность зданий с годами все увеличивается.

Возможным альтернативным способом тушения огня на верхних этажах зданий является доставка в очаг возгорания специальных огнегасящих снарядов с наземных установок для стрельбы. Огнегасящие снаряды, попадая в очаг возгорания, разрываются и распыляют огнегасящее вещество. При этом, так же как в других артиллерийских системах, перед выстрелом выполняется кинематический расчет и наведение [1].

Для быстроты транспортировки и развертывания система доставки огнегасящих снарядов может располагаться на автомобильной платформе [2].

По принципу действия системы запуска огнегасящих снарядов могут быть выполнены на основе обычных артиллерийских или реактивных пусковых установок. Известны также устройства запуска огнегасящих снарядов на основе пневматической катапульты [3] и на основе электромагнитной катапульты [4].

Известны многоствольные системы с огнегасящими снарядами, которые могут быть расположены на земле, автомобиле или вертолете. В одной из таких систем [5] каждый ствол содержит по несколько снарядов, запускаемых последовательно. Такие системы обладают большой производительностью.

Собственно огнегасящий снаряд, например, согласно [6], может представлять собой баллон обтекаемой ракетобразной формы, заполненный в основном огнегасящим веществом. В носовой части снаряда расположен активатор, вырабатывающий электрический импульс при столкновении с целью. Этот импульс воздействует на детонатор, расположенный внутри снаряда в хвостовой части. Детонатор подрывает пороховой заряд, что приводит к мгновенному распылению огнегасящего вещества.

По сравнению с запуском с земли, способы и устройства доставки огнегасящих снарядов с беспилотных летательных аппаратов обладают определенными преимуществами: они точнее, позволяют на любой высоте и с любой стороны подойти к очагу возгорания и после возможного обследования прицельно запускать огнегасящие снаряды.

Системы доставки огнегасящих снарядов могут быть расположены и на пилотируемых летательных аппаратах. Но это оправдано только в случае тушения крупномасштабных пожаров на больших территориях (например, в случае лесных пожаров). Для тушения возгораний в городских высотных зданиях более приемлемы именно БПЛА, т.к. по сравнению с пилотируемыми самолетами и вертолетами они гораздо дешевле, могут работать в опасных условиях без риска для экипажа, обладают гораздо меньшим временем подготовки и развертывания.

В подавляющем большинстве случаев для тушения пожаров в высотных зданиях более удобны небольшие БПЛА вертолетного типа – вертолеты или мультикоптеры, которые благодаря их относительной компактности можно легко и быстро доставить к месту пожара и которые обладают способностью зависать в заданной точке.

Известно много различных устройств и систем для тушения пожаров на базе малых БПЛА вертолетного типа. Например, известно довольно простое устройство [7] на базе мультикоптера, в нижней центральной части которого расположено грузосбрасывающее устройство, внутри которого закреплен огнегасящий снаряд (бомба). После зависания над очагом возгорания мультикоптер получает по радиоканалу команду на сброс. Грузосбрасывающее устройство освобождает бомбу, которая после попадания в очаг возгорания, разрывается и распыляет огнегасящее вещество. Данное техническое решение ввиду своей простоты имеет очень низкую стоимость реализации. Однако оно малопродуктивно и имеет существенное ограничение в применении, поскольку огнегасящая бомба может быть сброшена только вертикально.

Другой известное техническое решение с пожарным БПЛА вертолетного типа [8] способно обеспечить гораздо большую производительность, поскольку здесь БПЛА несет сразу несколько огнегасящих бомб, которые подвешены с помощью электроуправляемых замков в нижней части рамы (фюзеляжа) и распределены таким образом, что при полной загрузке их подвеска не изменяет положение центра тяжести аппарата в горизонтальной плоскости. Прицеливание и контроль результата осуществляется с помощью видеокамеры, направленной вниз. Электроуправляемые замки срабатывают на отцеп бомб по радиокомандам с земли. Как и в предыдущем примере, здесь возможен только вертикальное перемещение бомб. После сброса первой группы бомб возможна коррекция положения БПЛА. Однако сброс должен производиться только по определенным правилам (группами по 2-3 бомбы в определенной последовательности), а именно так, чтобы не происходило смещения центра тяжести аппарата в горизонтальной плоскости. В противном случае изменение положения центра тяжести будет приводить к чрезмерному расходу энергии бортового источника питания, т.к. система автоматической стабилизации положения аппарата будет компенсировать смещение центра тяжести за счет усиленной работы отдельных

винтомоторных групп. Следовательно, произвольный запуск снарядов по одному в такой системе невозможен или крайне нежелателен.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому авторами техническому решению является БПЛА вертолетного типа [9], который кроме силовой установки с одной или несколькими винтомоторными группами, имеет на борту несколько направленных вперед горизонтально расположенных стволов с огнегасящими снарядами и электроуправляемыми запускающими устройствами, контроллер управления пуском снарядов, видеотехнический модуль, полетный контроллер и модуль приема-передачи данных.

Вход контроллера пуска снарядов связан с видеотехническим модулем, а его выходы – с электроуправляемыми запускающими устройствами. Видеотехнический модуль и полетный контроллер связаны с модулем приема-передачи данных, посредством которого осуществляется обмен информацией с наземной станцией управления. По радиокомандам с земли посредством полетного контроллера, который управляет перемещением и пространственным положением аппарата, БПЛА подводят близко к очагу возгорания. При этом все стволы со снарядами направлены в сторону очага возгорания. Туда же направлены объективы видеотехнического модуля, включающего в себя камеры видимого и инфракрасного участков спектра, а также дальномер. Видеотехнический модуль передает информацию в контроллер управления пуском снарядов, где видеоинформация и сигналы дальности до объекта обрабатываются, вычисляются координаты центра очага возгорания и такое положение этого центра в кадре, при котором необходимо производить пуск снарядов (с учетом траектории движения снаряда из конкретного ствола). Как только центр очага попадает в рассчитанный сегмент кадра, контроллер управления пуском снарядов вырабатывает последовательные сигналы запуска, поступающие на соответствующие электроуправляемые запускающие устройства. Видеоинформация через модуль приема-передачи данных также поступает на наземную станцию управления оператору, который может управлять процессом в ручном режиме. Выпущенные

снаряды разрываются в очаге возгорания, распыляя огнегасящее вещество. Таким образом, данный БПЛА позволяет осуществлять прицельный запуск огнегасящих снарядов в горизонтальном направлении, что важно для тушения пожаров в высотных зданиях.

Однако рассмотренный БПЛА имеет недостаток, заключающийся в том, что при произвольном пуске снарядов после опорожнения отдельных стволов происходит смещение центра тяжести аппарата. Если рассматривать поперечное сечение БПЛА, проходящее через его центр тяжести, то до пуска снарядов центр тяжести находится на вертикальной линии симметрии. Если смещение центра тяжести происходит вверх или вниз, то это не критично. Но смещение центра тяжести влево или вправо будет приводить к более напряженному режиму работы силовой установки БПЛА, т.к. система автоматической стабилизации положения аппарата будет стремиться компенсировать смещение центра тяжести и возможный крен за счет усиленной работы отдельных винтомоторных групп (для мультикоптера) или циклического увеличения шага несущего винта (для вертолета). В результате неизбежен ускоренный разряд источника питания или ускоренный расход топлива, и как следствие, сокращение времени работы БПЛА. Таким образом, произвольный запуск снарядов по одному в такой системе, также как в предыдущем примере [8], невозможен или крайне нежелателен. Учет рассмотренного эффекта особенно важен для малоразмерных БПЛА, в которых массогабаритные параметры самого БПЛА сравнимы с массогабаритными параметрами пусковой установки с огнегасящими снарядами.

Авторы предлагают усовершенствовать описанный БПЛА с помощью применения специального устройства, позволяющего предотвратить боковые смещения центра тяжести БПЛА.

Это достигается за счет того, что стволы с огнегасящими снарядами в количестве более четырех помещены в единый модуль запуска с внешним корпусом цилиндрической формы таким образом, что для поперечного сечения этого модуля соблюдается вращательная осевая симметрия 4-го порядка [10] относи-



тельно продольной оси корпуса, центры поперечных сечений снарядов лежат на прямых, которые проходят через центр поперечного сечения корпуса и углы между которыми кратны  $45^\circ$ , корпус модуля запуска механически связан с сервоприводом, управляющий вход которого связан с соответствующим выходом контроллера управления пуском снарядов, который выполнен с возможностью формирования сигналов запуска отдельных снарядов согласованно с сигналами поворота корпуса модуля запуска вокруг оси симметрии на  $\pm 90^\circ$  с дискретностью  $45^\circ$ .

На рис.1 схематично показан один пример поперечного сечения модуля запуска и последовательность пуска снарядов.

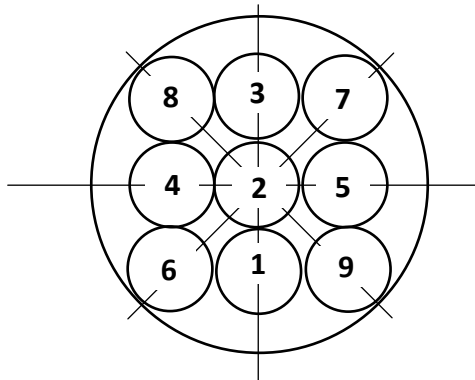


Рис. 1. Поперечное сечение модуля запуска

Для того, чтобы не происходило бокового смещения центра тяжести, должен реализовываться, например, следующий алгоритм работы:

- 1) пуск снарядов 1, 2, 3; быстрый поворот против часовой стрелки на  $90^\circ$ ;
- 2) пуск снарядов 4, 5; быстрый поворот по часовой стрелке на  $45^\circ$ ;
- 3) пуск снарядов 6, 7; быстрый поворот против часовой стрелки на  $90^\circ$ ;
- 4) пуск снарядов 8, 9.

При такой схеме запусков снаряды можно запускать по одному без боковых смещений центра тяжести.

Таким образом, предложен легкий БПЛА вертолетного типа для тушения пожаров в высотных зданиях, у которого пуски противопожарных снарядов не смещают центр тяжести в боковых направлениях, и, как следствие, не приводят

к более напряженному режиму работы силовой установки и сокращению времени работы БПЛА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент Китая CN102914217В.
2. Патент Китая CN102580278В.
3. Патент России RU2291730С1.
4. Патент Китая CN111366036В.
5. Патент США US6860187В2.
6. Патент США US7896092В2.
7. Патент Южной Кореи KR102271938В1.
8. Патент Китая CN107161328В.
9. Патент Китая CN212332970U.
10. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/667390>

УДК 681.325.5

С. А. ПОТАПОВ  
*itachi1-9@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. С. ФЕТИСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОТОКОЛА CAN И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В БОРТОВЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

**Аннотация.** В данной статье подробно описываются методы определения ошибок при передаче данных на базе протокола CAN. Рассматриваются сферы применения протокола CAN. Приводится оценка его актуальности в наши дни.

**Ключевые слова:** надежность, протокол CAN, система сбора информации.

CAN (*Controller Area Network*) – это промышленный стандарт передачи данных широковещательного типа. В сети, реализованной на протоколе CAN, все узлы принимают весь трафик, передаваемый по шине. Для обращения к определенному узлу в CAN-контроллерах предусмотрена аппаратная фильтрация принимаемого сообщения [1].

При трансляции данных на шину также транслируются параметры отправляемых данных. Благодаря полю арбитража, в котором содержится идентификатор, приемник определяет адресацию транслируемых данных. При совпадении идентификатора трафика на шине и идентификатора приемника узел принимает и обрабатывает полученное значение, при несовпадении – приемник получает, но игнорирует трафик на шине. Следует отметить, что идентификатор также определяет приоритет транслируемых данных если два или более, узла пытаются отправить данные.

Идентификатор представляет собой 11-битное значение для базового CAN или 29-битное значение для расширенного CAN, изображенного на рис. 1 и рис. 2, которое состоит из последовательности доминантных (0) и рецессивных (1) значений. Если узел обнаруживает доминантный уровень, когда сам посылает рецессивный уровень, он немедленно прекращает передачу и вместо этого становится приемником.

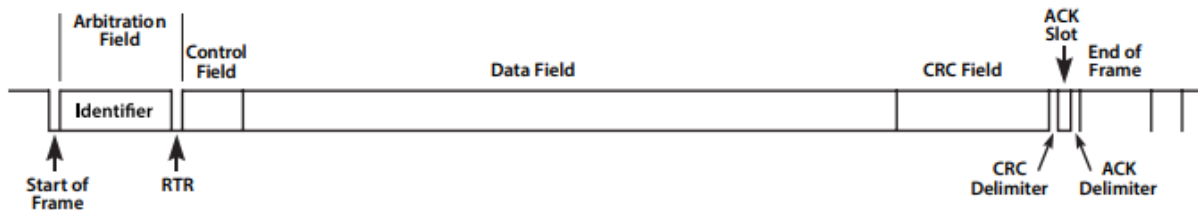


Рис. 1. Базовый формат кадра данных

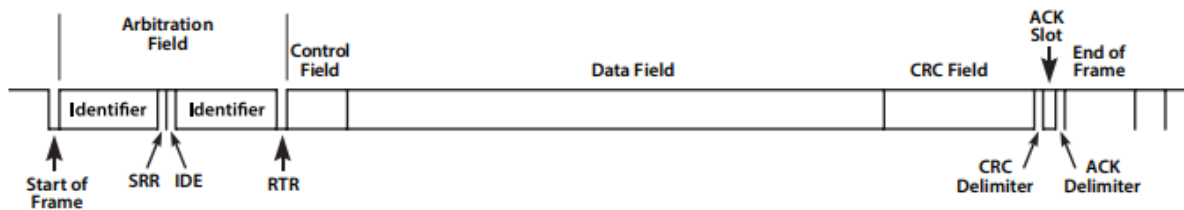


Рис. 2. Расширенный формат кадра данных [2]

Надежность CAN обусловлена многочисленными процедурами проверки ошибок. Протокол CAN включает в себя пять методов проверки ошибок:

- 1) контрольная сумма;
- 2) бит подтверждения;
- 3) формат сообщения;
- 4) проверка заполнения;
- 5) бит ошибки.

Проверка на ошибки осуществляется слотами CRC и ACK, которые проиллюстрированы на рис.1 и рис. 2. CRC держит 15-битную последовательность, контрольную сумму и один рецессивный бит CRC-разделителя. Полином, состоящий из значений предыдущих полей: «стартовый бит», «поле арбитража», «поле управление», «поле данных», делится на сгенерированный полином. Остаток от этого полиномиального деления и есть последовательность CRC, передаваемая по шине. Бит ACK или бит подтверждения, который приемник отправляет доминантным битом, в случае если сообщение получено правильно в верном формате.

CAN также проверяет формат отправляемых данных. У всех отправляемых/принимаемых сообщений есть гарантированные биты с известными значениями, например, CRC-разделитель.

Формирование сообщения на шине происходит с проверкой заполнения. При передаче сообщения соблюдается условие, что если 5 последовательных битов имеют одно и то же значение (только доминантное или рецессивное), то 6-й гарантировано будет противоположного значения. В случае если 6 бит подряд имеют одинаковые значения, узел регистрирует данное сообщение как ошибку. Однако данный механизм проверки ошибок отключается, когда идет трансляция идентификатора.

Каждый узел, который осуществляет передачу данных, контролирует шину данных. Это значит, что передатчик сравнивает отправленное значение бита с текущим состоянием шины. В случае неисправности, значение отправленного бита и состояние шины будут отличаться, что расценивается узлом как ошибка [3].

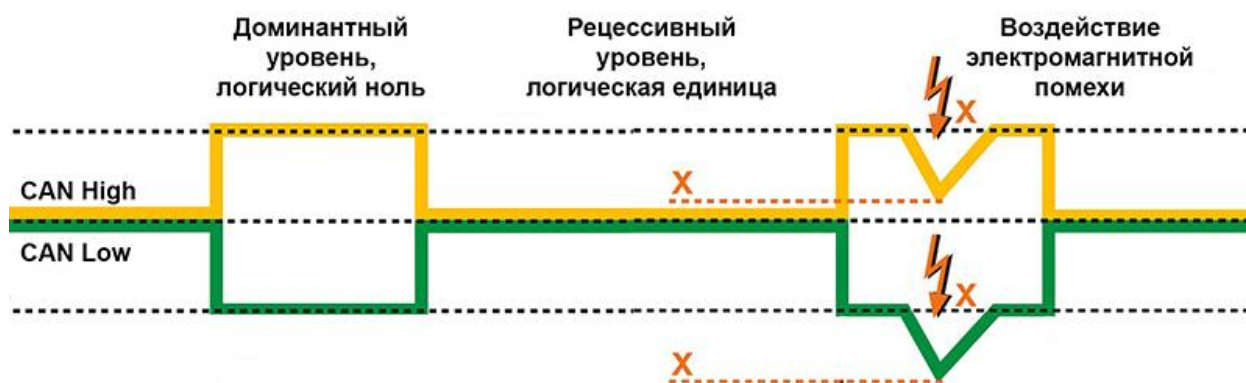


Рис. 3. Иллюстрация воздействия внешних условий

Кроме надежности обусловленной многочисленными процедурами проверки ошибок, важную роль играет способ подключения и передачи информации. Контроллеры CAN подключаются через витую пару, где используются 2 провода CAN\_H и CAN\_L. Интерес представляет то, что при получении сигнала CAN учитывает не значение уровня напряжения, а разницу между каналами CAN\_H и CAN\_L. Такая дифференциальная схема подключения защищает ли-

нию передачи информации от внешних воздействий, например, от электромагнитных полей, и позволяет использовать данный протокол в сложных внешних условиях (рис. 3).

Благодаря таким преимуществам, как высокая устойчивость к помехам, надежный контроль ошибок передачи и приема данных и возможности работы в режиме жесткого реального времени, CAN-протокол находит применение в различных областях: в промышленной автоматике, в автомобильной промышленности, в военной промышленности.

Рассмотрим примеры применения CAN в бортовых авиационных системах, где он является неотъемлемой частью системы передачи данных:

1. Блок МН104 является центральным блоком концентратором, который выполняет функцию центрального медиа сервера (хранения аудио, - видео архива), а также коммутатора спутниковой связи, с системой АВСА-О, ВСС, цифровой видеокамерой, МТО (ССЛЮ) для выдачи параметров контроля, синхронизации системы по времени (функция хронометра) [4];

2. Блок МН105 выполняет функцию салонного сервера, архив которого автоматически синхронизируется с архивом блоком МН104;

3. Бортовой вычислительный модуль (БВМ) SXC-MB-04 предназначен для управления спутником и содержит следующий набор устройств [5]:

- слот установки процессорного модуля Raspberry CM3 с соответствующей системой электропитания;
- автономный контроллер системы ориентации и стабилизации (опционально);
- энергосберегающий микроконтроллер управления датчиками;
- гироскоп и магнитометр;
- блок управления электромагнитными катушками;
- датчик температуры;
- таймер реального времени с резервным источником питания;
- система энергопитания;

– система централизованного программирования и отладки программ.

4. АБК(ТБДР.468214.01) – авиационный бортовой компьютер предназначен для выполнения следующих функций:

– подключение, диагностику и визуализацию состояния всех сенсоров по CAN-интерфейсу;

– подключение, диагностику, визуализацию состояния и управления всеми исполнительными механизмами ВС по CAN-интерфейсу и питанию;

– подключение, диагностику, визуализацию состояния и управление приемо-передающей аппаратуры по CAN-интерфейсу и питанию;

– подключение, диагностику, визуализацию состояния и управления всеми подключаемыми модулями типа TCAS, KLN, аварийный передатчик по соответствующим интерфейсам;

– подключение, диагностику, визуализацию состояния и управления всеми подключаемыми модулями полезной нагрузки по соответствующим интерфейсам (CAN, RS232/485, Ethernet);

– архивирование на собственном носителе резервной копии лога телеметрии ВС;

– диагностику баллистической системы спасения.

Применение CAN-протокола увеличивается в самых разнообразных приложениях. Если в начале разработки данный протокол использовался в автомобилестроении, то в настоящее время ему находят применение как в промышленности, благодаря отказоустойчивости и способностью эффективно обрабатывать кадры сообщений на многоузловой шине, так и в коммерческих беспилотных летательных аппаратах – дронах. CAN-протокол успешно вытесняет некоторые интерфейсы, благодаря своим преимуществам и его применение не теряет актуальности на современном рынке.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Википедия. Controller Area Network [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Controller\\_Area\\_Network#%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B8%D0%BC%D1%83%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0\\_%D0%B8\\_%D0%B](https://ru.wikipedia.org/wiki/Controller_Area_Network#%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B8%D0%BC%D1%83%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0_%D0%B8_%D0%B)

- D%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%BA%D0%B8, свободный. – (Дата обращения: 06.10.2022).
2. KVASER. CAN Protocol Tutorial – PDF. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kvaser.com/resource/can-protocol-tutorial-pdf/>, свободный. – (Дата обращения: 18.09.2022).
3. Texas Instruments. Introduction to the Controller Area Network (CAN). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf?ts=1662175028733>, свободный. – (Дата обращения: 01.10.2022).
4. Gigabaza.ru Оборудование, предусмотренное к установке на самолет мс-21. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gigabaza.ru/doc/195361-p2.html>, свободный. – (Дата обращения: 11.10.2022).
5. Спутникс. Бортовой вычислительный модуль. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sputnix.ru/ru/priboryi/pribory-cubesat/bvm>, свободный. – (Дата обращения: 11.10.2022).
6. CAN интерфейс. Control Area Network. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ahdl-altera.narod.ru/ru/can.htm>, свободный. – (Дата обращения: 05.10.2022).



УДК 520.6

Э. Ф. САФИНА

*elyaaasaf@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. А. МУХАМАДЕЕВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ЗВЕЗДНЫЙ ДАТЧИК

**Аннотация.** С ростом технического прогресса, интерес к космическому пространству стал возрастать и появилась возможность его изучения. В первую очередь встал вопрос о преодолении земной атмосферы и земного притяжения. После решения этих задач встал вопрос об ориентировании в космическом пространстве. Так появились звездные датчики. Но если тогда это было необходимо, чтобы просто не «потеряться» и вернуть аппарат на землю, то в настоящее время для стоит вопрос об освоении космоса и построением звездной карты. Усовершенствование средств ориентации необходимо не только в научных целях, но и стратегических, гражданских. Поэтому эта задача не теряет свою актуальность.

**Ключевые слова:** звездный датчик; ПЗС матрица, КМОП матрица, астроориентация, космические аппараты, спутники.

Первые спутники и даже межпланетные станции летали неориентированными. Передача данных на Землю велась по радиоканалу, и несколько антенн, чтобы спутник был на связи при любом положении и любых кувырканиях, весили гораздо меньше, чем система ориентации.

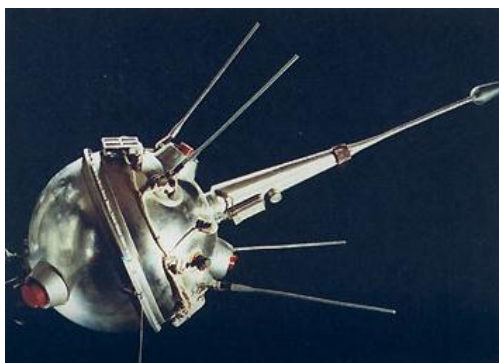


Рис. 1. Луна-2, первая станция, достигшая поверхности Луны. Четыре антенны по бокам обеспечивают связь при любом положении относительно Земли

Без ориентации в космосе было довольно тяжело, во-первых неизвестно куда аппарат полетит, во-вторых неизвестно куда приземлиться и в-третьих, если стоит вопрос о направленном полете, например на Луну или к Солнцу, то без навигации было не обойтись.

К середине XX века фотоэлементы стали вещью привычной и освоенной, поэтому первые датчики были сделаны на их основе. Маяком для таких датчиков стало Солнце. Его яркий свет попадал на фоточувствительный элемент и позволял определять направление. Существуют различные схемы работы современных солнечных датчиков, внизу таких датчиков находится фоточувствительная матрица.

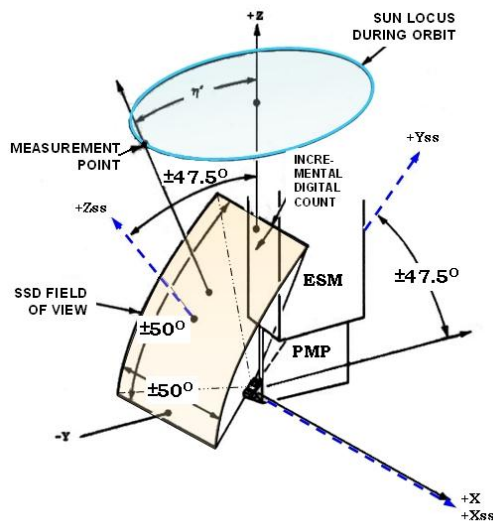


Рис. 2. Солнечный датчик с изогнутой матрицей

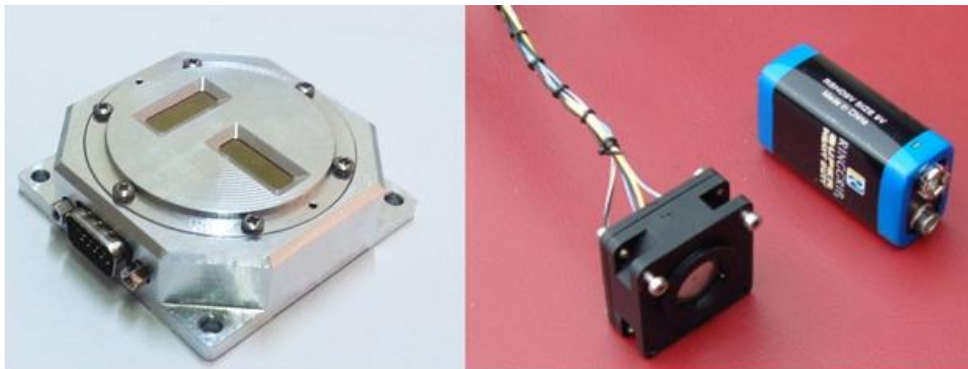


Рис. 3. Современные солнечные датчики

Со временем с развитием технологий одно лишь солнечного датчика для покорения космоса стало недостаточно, т.к. ориентация была только по одной оси, не работал в тени Земли или другого небесного тела, был подвержен помехам от Земли, Луны и т.п. Но смотря на недостатки использовался на корабле

«Восток», также солнечные датчики востребованы на межпланетных станциях, т.к. могут работать вне орбиты.

Для дальнейшей навигации нужен был еще один яркий объект, который вместе с осью на Солнце даст нужную ориентацию. Таким объектом стала звезда Канопус — она вторая по яркости в небе и находится далеко от Солнца. Первым аппаратом, который использовал звезду для ориентации, стал «Маринер-4», стартовавший к Марсу в 1964 году.

Современные звездные датчики используют матрицу фотоэлементов, работают в паре с компьютером с каталогом звезд и определяют ориентацию аппарата по тем звездам, которые видны в поле их зрения.



Рис. 4. Современный звездный датчик

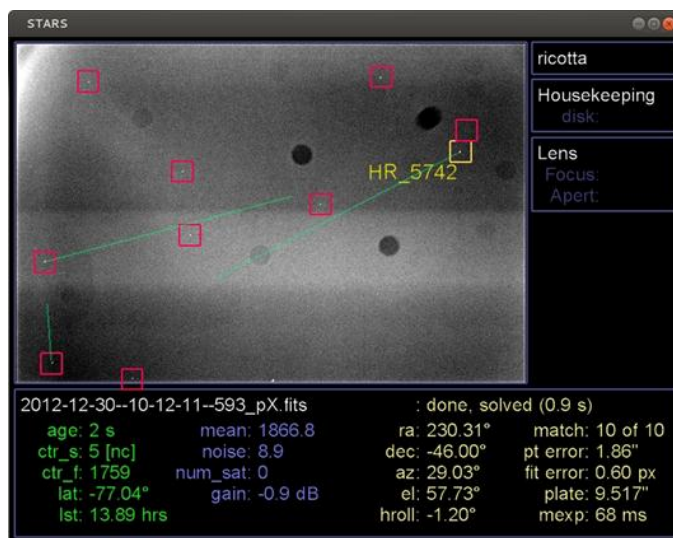


Рис. 5. Схема работы

Типичный современный звездный датчик состоит из оптической системы (объектива), матричного приемника излучения (ПЗС или КМОП) и блока электроники. Отечественные производители чаще всего выпускают датчики на основе ПЗС, а зарубежные на основе КМОП. Сейчас их чаще всего выполняют комбинированного типа, вместе с гироскопами для большей стабилизации. Характеристики звездных датчиков зависят в основном от параметров объектива и приемника излучения.

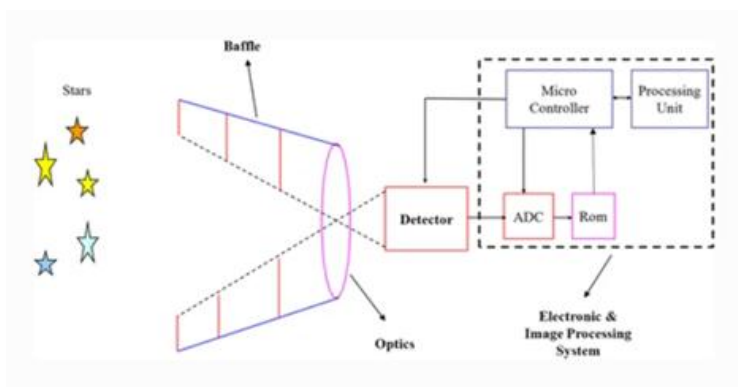


Рис. 6. Схема звездного датчика

Поэтому звездные датчики можно разделить на 2 категории, те которые используют ПЗС матрицы и КМОП матрицы. Звездные датчики на ПЗС матрицы используются там, где нужно качественное изображение, следовательно и более точная навигация, это различные телескопы и корабли, КМОП используются для микро- и наноспутников, где большую роль имеет скорость обработки информации.

Функционирование звездного датчика происходит следующим образом. Оптическая система – объектив ЗД – строит изображение участка звездного неба на ПЗС-приемнике, расположенном в фокальной плоскости. Приемник некоторое время накапливает излучение, а затем передает получившееся изображение на обработку.

Блок электроники ЗД или бортовая система управления КА должны проделать над полученным изображением следующие действия:

- произвести поиск изображений звезд на изображении фрагмента неба;

- для найденных звезд получить оценки координат их центров на ПЗС-матрице и оценки блеска;
- произвести отождествление конфигурации звезд в поле зрения ЗД со звездами из бортового каталога с учетом помех;
- определить углы ориентации ЗД и оценить их погрешности;
- сделать прогноз входа и выхода звезд из поля зрения.

В результате этой процедуры мы получаем трехосную абсолютную ориентацию ЗД (и, следовательно, аппарата, на котором он установлен), определенную относительно инерциальной системы координат, связанной со звездами. Объем необходимых вычислений очень сильно зависит от предварительной информации об ориентации ЗД.

Современные задачи космической навигации требуют создания нового поколения систем звездной ориентации со следующими характеристиками:

- точность определения ориентации 0.1–0.01»;
- время обновления навигационной информации 10–100 мс;
- определение координат и угловых скоростей при скоростях вращения ЛА до 15–30°/с (не все эти требования должны реализовываться в едином устройстве), которые на 1–2 порядка лучше реализованных в производимых сегодня изделиях.

Кроме технических характеристик, уменьшения размера, я считаю, что нужно заниматься обновлением навигационного каталога, так как в будущем возможна ситуация, что звезда «погибнет» или «родиться», а это не зафиксированно в каталоге. Для достижения этой цели нужны телескопы, которые бороздят космическое пространство и обновляют информацию.

В перспективе в будущем разработать систему с применением искусственного интеллекта, которая будет синхронизироваться с несколькими такими телескопами, тогда каталог навигации будет обновляться сам, автоматически. Повышение точности ориентирования, повышает качество освоения и изучения космического пространства, что важно как в научных и стратегических целях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кононович Э. В., Мороз В. И. Общий курс астрономии.— М.: Едиториал УРСС, 2004.
2. М. Е. Прохоров, А. И. Захаров, А. В. Миронов, Ф. Н. Николаев, М. С. Тучин. Современные датчики звездной ориентации // Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберг.
3. Р. В. Бессонов, Е. В. Белинская, Н. Н. Брысин, С. В. Воронков, А. Н. Куркина, А. А. Форш,. Звездные датчики ориентации в астроиерциальных системах летательных аппаратов. - Институт космических исследований РАН, Москва.
4. Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов: сборник трудов / под ред. Г.А. Аванесова серия «механика, управление и информатика» Институт космических исследований РАН, Москва, 2019.-400с

УДК 681.78

Э. Ф. САФИНА

*elyaaasaf@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. А. МУХАМАДЕЕВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ПИРОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЛОПАТКИ ГТД

**Аннотация.** Температура газа перед турбиной является одним из важнейших параметров, характеризующих тягу газотурбинного двигателя (ГТД) и его теплонапряженность. Наиболее теплонагруженными элементами двигателя являются сопловые и рабочие лопатки. Рабочая лопатка – наиболее уязвимая деталь конструкции двигателя. Она подвергается воздействию высоких температур, коррозии, эрозии, большим динамическим (со стороны газового потока) и статическим нагрузкам из-за высоких скоростей вращения. Кроме того, лопатка испытывает значительные температурные напряжения при переходных режимах: запуск-приемистость-дресселирование. Для создания и эксплуатации высокотемпературных двигателей с предельными характеристиками необходимо наличие аппаратуры для измерения и поддержания температуры рабочих лопаток на заданном уровне с высокой точностью.

**Ключевые слова:** лопатка ГТД, пирометр, интенсивность излучения.

Наиболее широкое применение для измерения температуры поверхности лопатки нашли кабельные и пленочные термопары. Термопарный метод характеризуется большими ошибками измерения, связанными с искажением температурного поля измерителем и способом его установки; нарушением естественных условий теплообмена поверхности лопатки с газом. Кроме этого, значительные погрешности вносят отклонение термоЭДС материала, шумы токосъемника, неточность определения температуры холодного спая. Оценка температуры рабочих лопаток в процессе эксплуатации ГТД, а также ее регулирование осуществляется косвенным методом – по температуре выходящих газов за турбиной. Данный метод не отражает истинную температуру охлаждаемых рабочих лопаток, имеет значительные погрешности.

Решением данной проблемы является использование бесконтактных методов измерения температуры. Приборы для бесконтактного измерения температуры различных тел, основанные на измерении мощности их теплового излучения преимущественно в диапазонах инфракрасного измерения и видимого света, называются пирометрами.

Свойства нагретых тел такие, как яркость и радиация, используются для измерения температуры пирометрами излучения, которые по принципу действия подразделяются на яркостные (оптические), фотоэлектрические и радиационные.

1. Оптические пирометры могут измерять температуру выше 800 °С. Принцип их действия основан на сравнении яркости излучения объекта с яркостью нити излучения которой известно. Луч света от нагретого объекта по объективу попадает в прибор. Далее по окуляру наблюдатель видит и сравнивает яркость объекта с яркостью нити температурной лампы.

Сравнение производят в монохроматическом свете, который создает специальный светофильтр. Нить накаливается от аккумулятора, накал регулируют реостатом. Температуру определяют милливольтметром пирометра, который имеет градуировку в градусах соответственно накалу нити.

Пирометр состоит из объектива 1, направленного на объект измерения ОИ, светофильтров 2 и 6, диафрагм 3 и 5, лампы накаливания 4, окуляра 7, ИП – миллиамперметра, отградуированного в значениях яркостной температуры  $T_j$ , источника питания Б и реохорда R, включенных в цепь питания нити лампы накаливания 4. Объектив 1 наводят на ОИ и наблюдают за изображением нити на фоне ОИ. Изменяя реохордом R ток в цепи нити, добиваются ее исчезновения на фоне ОИ. Это произойдет, когда яркость нити будет равна яркости ОИ. По шкале ИП определяют яркостную температуру нити, а следовательно, и ОИ. По формуле при известном  $V_x$  рассчитывают истинную температуру ОИ.

$$\frac{1}{T_j} - \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{c_2} \ln \frac{1}{\epsilon_\lambda}, \quad (1)$$



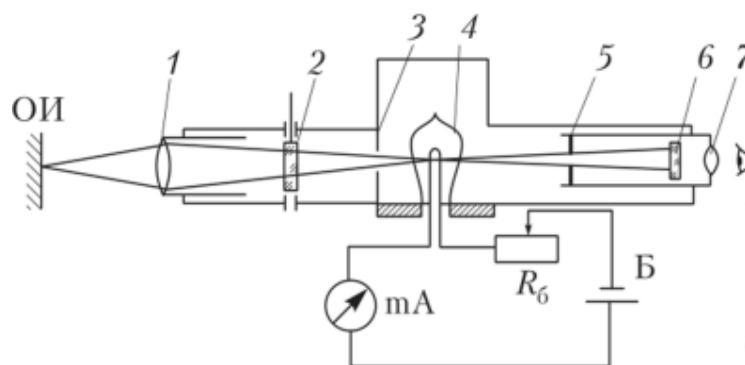


Рис. 1.

2. Цветовые пирометры и иногда называются мультиспектральными или пирометрами спектрального отношения. По сравнению с оптическими и радиационными пирометрами они более современные. Работа приборов этой группы основывается на сравнении (сопоставлении) спектральной энергетической яркости контролируемого тела с двумя заранее выбранными и известными длинами волн в видимой части спектра. Они определяют температуру объекта по отношению сигналов, которые поступают от двух приемных устройств, работающих на разных длинах волн. Такой принцип измерения позволяет избавиться от целого ряда недостатков, присущих, в частности, радиационным приборам. Принципиальная схема цветового пирометра показана на рисунке 2.

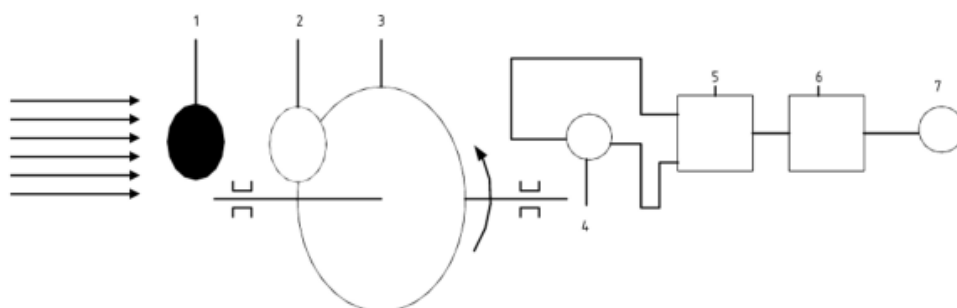


Рис. 2. 1 – защитное стекло; 2 – объектив; 3 – обтюратор с красным и синим светофильтрами; 4 – фотоэлемент; 5 – усилитель; 6 – логарифмическое устройство; 7 – милливольтметр

3. Радиационные пирометры воспринимают излучение во всем спектральном диапазоне. Они измеряют температуру от 50 до 2000 °С и выше. В них в качестве приемников излучения используются ТЭП или ТПС. Измерение температуры радиационными пирометрами основано на улавливании теплового

излучения объекта и фокусировании его на термочувствительном элементе. Для фокусирования излучения используются либо собирательные линзы, либо вогнутые зеркала.

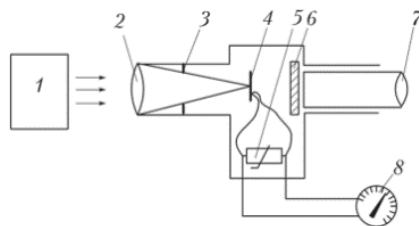


Рис. 3. Излучение от объекта 1 фокусируется линзой 2 объектива через диафрагму 3 на концах термобатареи 4, собранной из последовательно соединенных ТЭП. Наведение на объект 1 осуществляется окуляром 7 через красный светофильтр 6. В качестве вторичного прибора 8 используется милливольтметр или потенциометр, которые градуируются в значениях радиационной температуры  $T_p$ . Для компенсации изменения температуры свободных концов ТЭП параллельно им подсоединяют катушку 5 из медной проволоки. Класс точности — 1,0; 1,5

Наиболее совершенными и надежными средствами бесконтактного измерения температуры следует считать радиационные приборы. Но и они имеют целый ряд принципиальных ограничений и недостатков. В настоящее время пользователи все чаще и чаще отдается предпочтение пирометрам спектрального отношения, более дорогим, чем радиационные, но более совершенным и менее уязвимым по отношению к внешним воздействиям, в связи с этим повышается контроль температуры рабочих лопаток ГТД, что в свою очередь обеспечивает безопасных полет.

Достоинства радиационных пирометров:

- Радиационные пирометры, очевидно, проще пирометров спектрального
- Более высокая, разрешающая способность.
- Радиационные пирометры вне конкуренции при измерении температур ниже 300...400С, и при работе в узких спектральных диапазонах.

Но метод радиационной пирометрии обладает рядом существенных недостатков:

- зависимость результатов измерений от излучательной способности объекта.

- результаты измерения зависят от расстояния до измеряемого объекта,
- результаты измерения зависят от формы объекта,
- результаты измерения зависят от запыленности и загазованности промежуточной среды,
- результаты измерения зависят от наличия защитных стекол,
- результаты измерения зависят от наличия непрозрачных объектов в поле зрения пирометра,
- результаты измерения зависят от боковых засветок при работе с крупноразмерными объектами,
- результаты измерения зависят от переотражений измеряемым объектом излучения сильно нагретых объектов, расположенных рядом.

Рассмотрим преимущества и недостатки пирометров спектрального отношения.

– имеют два приемника, чувствительных на разных длинах волн, и определяют температуру по отношению сигналов от этих приемников. Такой принцип измерения температуры позволяет избавиться от всех вышеперечисленных недостатков, свойственных радиационным пирометрам. Зависимость сигнала от расстояния одинакова для обоих приемников пирометра спектрального отношения, поэтому на отношение сигналов она не влияет, и у пирометров спектрального отношения нет зависимости результатов измерений от расстояния. Одинаково влияет на сигналы с обоих приемников, оставляя неизменным их отношение, и форма измеряемого объекта, и запыленность, загазованность промежуточной среды.

– Пирометры спектрального отношения нечувствительны к наличию небольших непрозрачных объектов в поле зрения пирометра, и нечувствительны к наличию перед пирометром защитных стекол (например, стекол смотровых окон в вакуумных камерах).

– На их измерения не сказываются боковые засветки от крупноразмерных объектов, т.к. эти засветки одинаковым образом увеличивают показания обоих

приемников, при этом отношение сигналов по-прежнему остается неизменным.

Недостатки пирометров спектрального отношения:

– Высокая цена.

– Результат измерения пирометра спектрального отношения зависит не столько величины излучательной способности или от ее изменения от объекта к объекту, сколько от спектральной зависимости длины волны  $\varepsilon = f(\lambda)$ .

На рисунке приведены спектральные зависимости излучательной способности  $\varepsilon(\lambda)$  для 5 металлов: Fe, Ni, Cu, Ag, Co. Отметим, что они характеризуют большинство металлов и их сплавов. Из рисунка 4 видно, что все зависимости имеют однотипный характер – с ростом длины волны спектральная излучательная способность  $\varepsilon(\lambda)$  снижается. Это приводит к тому, что сигнал длинноволнового приемника пирометра спектрального отношения оказывается заниженным по сравнению с коротковолновым. По этой причине показания пирометра спектрального отношения оказываются завышенными нередко более чем на 10%.

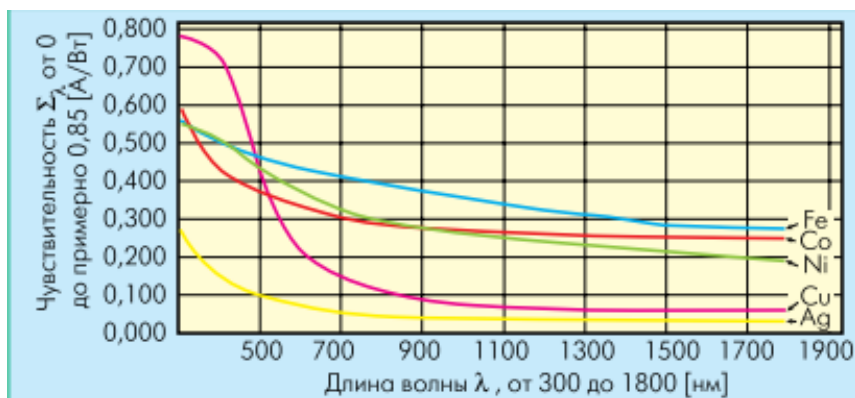


Рис. 4.

Поэтому необходимо внедрить корректирующий узел для увеличения точности данных пирометров.

Тогда структурная схема такого пирометра спектрального отношения приобретет следующий вид:

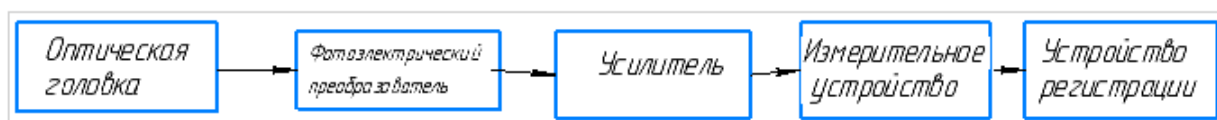


Рис. 5. Структурная схема пирометра спектрального отношения

В перспективе развития пирометры спектрального отношения будут доминировать. Так как точность измерительного устройства, позволит обезопасить полет самолета, что является очень немало важным, так же это позволит в создании новых двигателей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Анализ чувствительности ОПП для измерения температуры лопаток турбины ГТД» Андреева Т.П. канд. техн. наук УНПП «Молния» 19.05.03
2. Брамсон М.А. Справочные таблицы по инфракрасному излучению нагретых тел. Т.1. М., «Наука», 1964, 322 с.
3. Бабиков А.А., Захаренко В.А. Пирометр спектрального отношения. Омский научный вестник. Выпуск № 4, 2008. - 3 с.
4. «Вестник УГАТУ» - Оптический пирометр в системе термометрирования ГТД, Токарев В.П. 2008 г. 191-196 стр.
5. Иванов Ю.В., Мицкевич И.А. и Осипов Ю.В. Радиационный пирометр, 1982. 128 с.

## СЕКЦИЯ 3.3 БИОМЕДИЦИНСКИЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ

УДК 616.1

В. Д. АГАПОВ

*vagapov1999@gmail.com*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. А. В. МЕСРОПЯН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

### ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ СОСУДОВ

**Аннотация.** Данная статья посвящена обзору метода тепловизионного отображения нарушения кровоснабжения в различных отделах конечностей. Рассматриваются тепловизионные картины распространенных заболеваний периферических сосудов, а также проблемы и их возможные решения при использовании тепловизионной диагностики.

**Ключевые слова:** тепловизионная диагностика; нарушение кровотока; сосудистые заболевания.

#### ***Введение***

Сосудистые заболевания конечностей, они же заболевания периферических сосудов, – это нарушение кровоснабжение, обусловленное недостаточным притоком или оттоком крови в сосудах разных типов и размеров. Причины заболевания могут быть различны, но итоги часто сводятся либо к ишемии, либо к отеку и расширению сосудов с нарушением циркуляции крови. Хотя болезни подобного рода и не являются потенциально смертельными, как аналогичные болезни сердца или мозга, но могут к ним привести или существенно ухудшить качество жизни человека. В России точной статистики по всем заболеваниям конечностей нет, но существуют примерные цифры в некоторых исследованиях, касающихся заболеваний вен и артерий. Согласно ним, процент заболевания среди рабочей части населения не менее 1,5 [1].

Наиболее распространенными среди заболеваний периферических сосудов являются:

1. Варикоз
2. Тромбоз и посттромботическая болезнь;

3. Атеросклероз;
4. Диабетическая ангиопатия нижних конечностей;
5. Артерииты;
6. Ангиотрофоневроз (Болезнь Рейно).

Каждая из этих болезней приводит к отличным друг от друга патологиям, но из-за общей черты, нарушения циркуляции крови, может быть обнаружена с помощью тепловизора.

Тепловизор фокусирует инфракрасное излучение, которое является основным источником теплопотери, соответственно, с его помощью можно видеть, где нарушен кровоток. Множество сосудов, патологии которых обычно и можно наблюдать при сосудистых заболеваниях, расположены относительно близко к поверхности кожи, что позволяет хорошо видеть инфракрасную картину. Помимо этого, тепловизоры широко распространены, относительно доступны и портативны, из-за чего их и используют в подобного рода исследованиях.

### ***Тепловизионная картина***

Большая часть болезней из вышеперечисленного списка проявляется в ногах, чаще всего это варикоз и облитерирующий атеросклероз, тепловая картина которых позволяет хорошо увидеть очаги развития болезней (см. рис. 1).

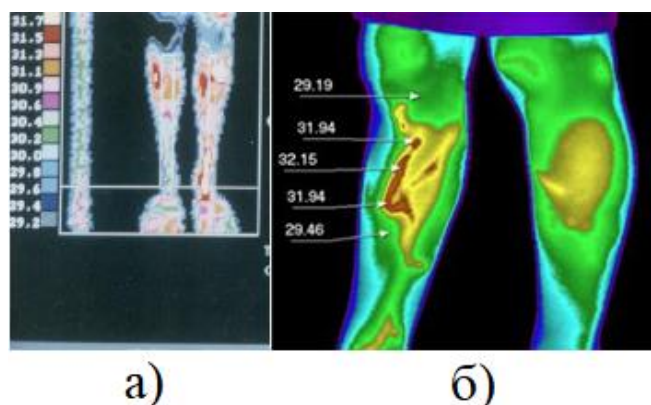


Рис. 1. Тепловая картина, полученная тепловизором:  
*а – атеросклероз [2]; б – варикоз [3]*

Атеросклероз проявляется в виде несимметричности термографического признака на двух ногах (повышение температуры примерно на 1 °С ниже верхней трети голени), что обусловлено компенсацией коллатеральными артериальными путями. Может наблюдаться и обратная картина, когда происходит декомпенсации при сильной закупорке сосудов, а температура ниже пораженного участка может снижаться вплоть до теплоампутации [2].

Варикоз наблюдается в виде локального повышения температуры, вызванного отеком из-за застоя крови, при этом отек и градация цвета тем сильнее, чем больше давление крови в данной области.

Артерииты обладают схожей с атеросклерозом тепловой картиной из-за аналогичного утолщения стенок артерий, но уже по причине их воспаления, а не нарушения обмена веществ. Разница существует лишь в локализации болезни – артерииты поражают мелкие и средние артерии дистальных отделов конечностей, таких как нижняя часть голени, стопы и кисти рук, хотя очаг болезни может находиться выше, как показано на рис. 2.



Рис. 2. Облитерирующий эндартериит:  
*а – поражение левой ступни; б – закупорка подколенной артерии (КТ);  
в – нормальный кровоток (КТ) [4]*

В подобных случаях, даже если удастся локализовать очаг болезни, то точно рассмотреть конкретный закупоренный сосуд. В этом случае стоит прибегнуть к таким методам, как УЗИ, МРТ или КТ, снимки которого показаны на рис. 2, б и в.



При болезнях, поражающих исключительно сосуды ступней или кистей рук, возможно провести диагностику методом термографической оценки разных пальцев или участков сегмента, как это проводилось при диагностике феномена Рейно в работе [5] (рис. 3). Для этого у группы больных и контрольной группы высчитывали разницу температур между большими пальцами и самыми холодными пальцами.

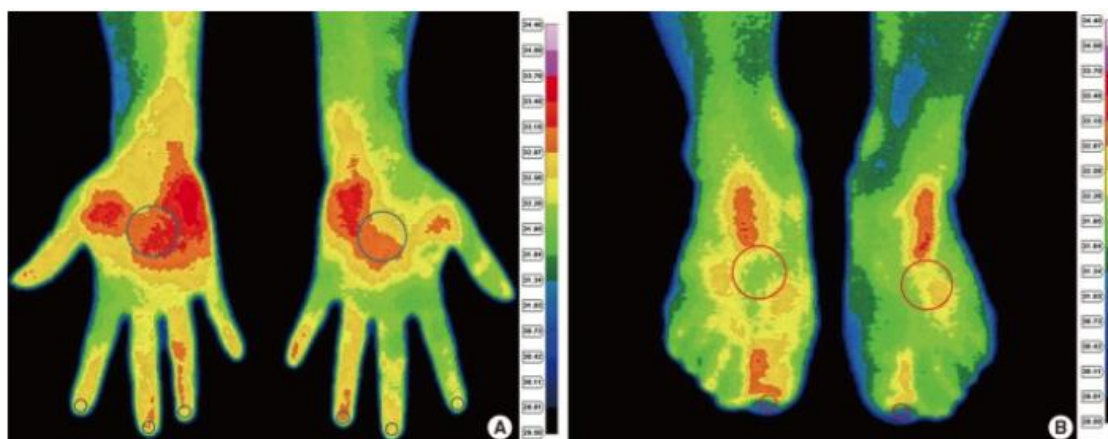


Рис. 3. Термографические изображения ладоней (А) и тыльной стороны стоп (В) [5]

Полученные в результате расчетов усредненные значения показали, что у людей, больных феноменом Рейно, выше как средний показатель, так и разброс температуры, что говорит в пользу самостоятельного применения тепловизора для подтверждения подобного рода диагнозов.

При использовании достаточно чувствительного тепловизора также возможно воспринимать температурные микроколебания сосудистого русла, обусловленные различными механизмами регуляции, вроде дыхания, пульса, активности самих стенок сосудов и т.д. Спектральный анализ таких колебаний позволяет оценить состояние самого сосудистого тонуса в дополнение к визуальной тепловизионной картине. Минусом в таком случае становится дороговизна подходящего тепловизора и сложный математический анализ, для проведения которого может уже понадобиться сторонняя аппаратура [6].

## *Заключение*

Инфракрасная термография позволяет устанавливать зону и характер циркуляторных и обменных процессов посредством регистрации собственного излучения человека без прямого контакта с кожей пациента и внесения артефактов измерений. Тем не менее, на данный момент его роль скорее вспомогательная и имеющая собственные ограничения. Следует использовать метод тепловизионной диагностики в кооперации с другими методами, использующими иные электромагнитные волны, а в некоторых – другие, более точные и дешевые способы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харазов А.Ф., Каляев А.О., Исаев А.А. Распространенность симптомной ишемии нижних конечностей в Российской Федерации. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2016;(7): 58-61
2. Применение тепловидения в диагностике облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей // СМЖ. 2012. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-teplovideniya-v-diagnostike-obliteratedyuschih-zabolevaniy-arteriy-nizhnih-konechnostey> (дата обращения: 10.09.2022).
3. Термография: эффективный и безопасный метод функциональной диагностики URL: <https://yunost.by/blog/termografiya-effektivniy-i-bezopasniy-metod-funktsionalnoy-diagnostiki> (дата обращения: 11.09.2022).
4. Артериальные тромбозы и эмболии [Электронный ресурс], URL: <https://ppt-online.org/329064> (дата обращения: 12.09.2022)
5. Lim, Mie & Kwon, Seong-Ryul & Jung, Kyong-Hee & Joo, Kwoon & Park, Shin-Goo & Park, Won «Digital Thermography of the Fingers and Toes in Raynaud's Phenomenon» [Электронный ресурс] // Journal of Korean medical science. - 2014. URL: [https://www.researchgate.net/publication/261772582\\_Digital\\_Thermography\\_of\\_the\\_Fingers\\_and\\_Toes\\_in\\_Raynaud's\\_Phenomenon](https://www.researchgate.net/publication/261772582_Digital_Thermography_of_the_Fingers_and_Toes_in_Raynaud's_Phenomenon) (дата обращения: 12.09.2022)
6. Подтаев С. Ю., Мизева И. А., Смирнова Е. Н. Диагностика функционального состояния микроциркуляции на основе термометрии высокого разрешения // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2012. №3-4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-funktsionalnogo-sostoyaniya-mikrotsirkulyatsiina-osnove-termometrii-vysokogo-razresheniya> (дата обращения: 12.09.2022).

УДК 616.1

В. Д. АГАПОВ

*vagapov1999@gmail.com*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. А. В. МЕСРОПЯН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## УСТРОЙСТВА ТЕПЛОВОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ КОНЕЧНОСТЕЙ

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются и сравниваются устройства теплового отслеживания состояния сосудов конечностей. Описываемые устройства позволяют получить различными способами измерения либо температуру определенных интересующих точек, либо полную тепловую картину сегмента конечности.

**Ключевые слова:** терморегуляция; ИК камера; тепловизор; термометрия высокого разрешения.

### ***Введение***

Кровоснабжение органов и тканей обеспечивается притоком и оттоком крови по сосудам кровеносной системы человека. В зависимости от направления течения крови, диаметра русла сосуда и удаленности от сердца, сосуды называются по-разному. По направлению они классифицируются как артерии, вены и сосуды, обеспечивающие микроциркуляцию между ними, при том, последние являются самыми маленькими и, в зависимости от направления кровяного русла, называются артериолами, венулами и капиллярами.

Сосудистые заболевания могут быть связаны как непосредственно с крупнейшими сосудами у сердца – аортой и легочной веной, так и с микрососудами. В отличие от крупных, глубоко залегающих сосудов, сосуды микроциркуляторного русла залегают ближе к поверхности кожи, особенно на дистальных отделах конечностей, что обусловлено не только транспортом веществ, но и функцией терморегуляции. Этот факт позволяет оценивать состояние кровеносной системы конечности посредством измерения выделяемого тепла различными методами.

В зависимости от метода измерения восприятие теплового излучения кожи разделяется на контактное и бесконтактное. К контактными относятся тер-

мометрические устройства и сенсоры, которые преобразуют значения зависящих от изменения теплового излучения характеристик в нужные посредством формул. Бесконтактными являются устройства, воспринимающие излучение в узком инфракрасном диапазоне посредством фотодатчика и преобразующие значения ИК показателя в температурные.

### ***ИК-термометрия***

Инфракрасные устройства, применяемые в медицине, представлены пирометром, ИК камерой и тепловизором. Пирометры предназначены для измерения температуры поверхности тела в определенном диапазоне, в который может не входить измеряемый диапазон температуры конечностей ввиду низкой температуры дистальных отделов конечности. К тому же, диапазон измерения имеет достаточно высокую погрешность измерения в 0,2-0,3 °С и низкую разрешающую способность, что неприемлемо при оценке состояния терморегуляции, где разница в доли градуса между конечностями может означать нарушение кровоснабжения одной из них.

ИК камеры и тепловизоры, применяемые в медицине, являются более точными и удобными устройствами и обладают на порядок большей разрешающей способностью по температуре, чем пирометр, поэтому и являются наиболее применяемыми в сосудистой диагностике. Высокая разрешающая способность, – в данном случае способность разделять два участка кожи с минимальной разницей в температуре, необходима не только для более точного определения области нарушения кровотока, но и для учета микроколебаний температуры, связанных с сокращением-растяжением стенок сосудов [1].

ИК-камера способна выдавать хорошую контрастную картину, обычно достаточную для исследования нарушения терморегуляции, проводимых с помощью специальных тестов. К примеру, в работе [2] проводится холодовой тест, а в статье [3] окклюзионная проба – и в обоих случаях используется ИК-

камера компании Flir (только в первом случае SC5000, а во втором - SC3000).  
Пример получаемой картины можно представить на рисунке 1.

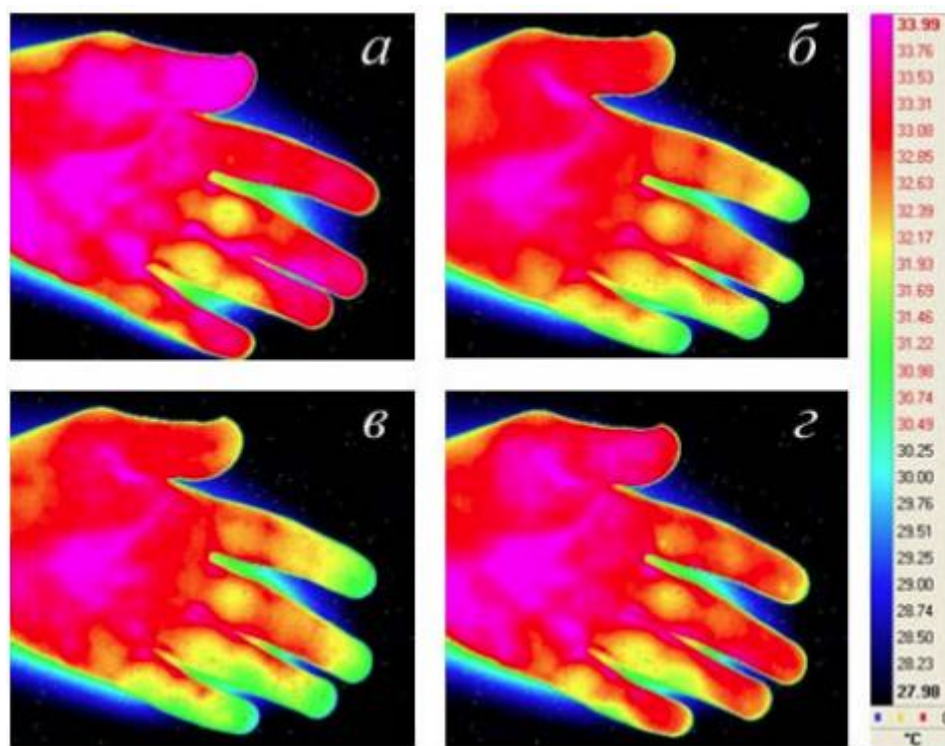


Рис. 1. Тепловизионная диагностика инфракрасной камерой Flir SC5000  
во время холодогов теста:

*а – до начала охлаждения; б – через 2 минуты после начала охлаждения; в – через три минуты после начала охлаждения (максимальное охлаждение); г – через 3 минуты после окончания теста [2]*

Тепловизор, как и ИК камера, часто используется и без применения тестов, чтобы увидеть область закупорки сосуда или повышенную температуру на каком-то участке (см. рисунок 2). Для этого достаточно иметь хорошую контрастность и чувствительность в диапазоне сотых долей градуса.

Устройство тепловизора структурно довольно легко представить. В первую очередь ИК излучение улавливает фокусирующая линза, затем оно воспринимается фотосенсором и обрабатывается блоком обработки изображения, а полученная картина выводится на дисплей. В случае использования дорогих моделей вместо одной линзы используется объектив, фокусировкой и калибровкой которого занимается блок обработки изображения, а у фоточувствительной матрицы есть охлаждение, из-за чего чувствительность может быть в 2 раза лучше, чем у неохлаждаемых устройств [4].

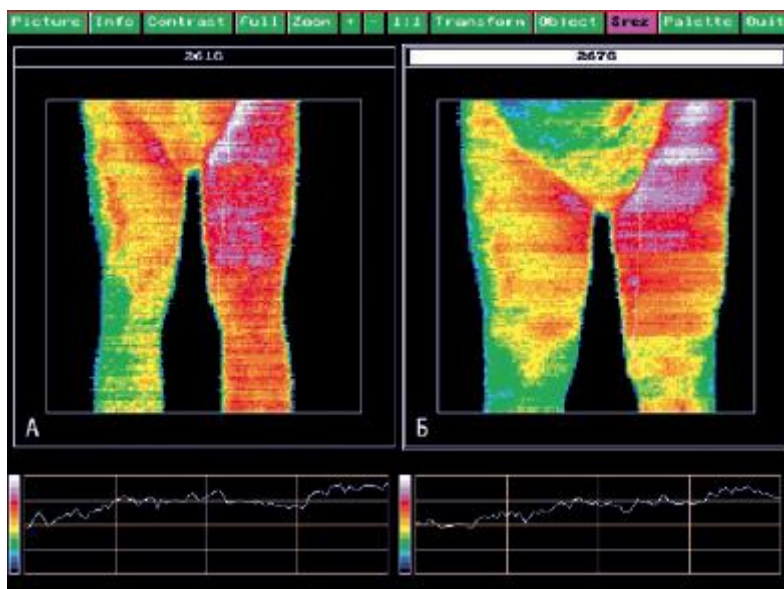


Рис. 2. Гипотермия в проекциях паховых и подколенных лимфоузлов с помощью тепловизора:  
*а – до лечения; б – после лечения [5]*

Конструктивное отличие ИК-камеры от тепловизора заключается в наличии ИК-осветителя для подсветки у первой, т.о. ею воспринимается именно отраженное излучение. Также существенное отличие в диапазоне воспринимаемого излучения – ИК-камера воспринимает в средневолновой области ИК (3-5 мкм), а тепловизор в средневолновой и длинноволновой (от 3 до 15 мкм, точный диапазон зависит от модели) [6]. Т.о. тепловизор может воспринимать тепловую картину более точно, ведь основная часть спектра теплового излучения человеческого тела приходится на 8-14 мкм [7].

Несмотря на высокую точность и четкость тепловой картины тепловизора существует значительный недостаток для использования приборов в сосудистой диагностике – цена тепловизора с достаточно высоким разрешением. В этом качестве ИК-термометрия уступает контактной термометрии высокого разрешения.

### ***Контактная термометрия высокого разрешения***

Высокоточные контактные датчики для медицинских целей могут обладать гораздо большей разрешающей способностью по температуре, чем тепло-

визоры. К примеру, среди популярных тепловизоров Flir минимальный показатель составляет 0,018 °С, в то время как у температурного датчика TMP117 0,0078 °С. Точность у датчика также лучше, чем у тепловизора – 0,1°С против 0,2-0,3 °С диапазоне температур человеческого тела [8, 9]. Таким образом, прецизионный медицинский датчик подходит как для разовых измерений, где важна точность, так и для динамических исследований, где важно также минимальное изменение температуры при изменении сосудистого русла.

В противовес высокой точности при малой стоимости контактный датчик имеет существенный недостаток по сравнению с тепловизором, – он измеряет температуру на небольшой площади, что не дает узнать распределение температуры по поверхности ткани. По этой причине, при исследовании большой области, необходим массив датчиков, размещаемых на интересующем участке конечности.

Сами датчики могут представлять собой как «голые» сенсоры, для правильной работы которых необходима правильная теплоизоляция, калибровка вместе с микроконтроллером и различные пассивные электронные компоненты, так и готовые упакованные в корпус решения, которые требуется только подключить к микроконтроллеру и написать программу.

В основе любых датчиков лежит определенный электронный компонент, одна из характеристик которых изменяется в зависимости от температуры. Обычно это термистор или диод/транзистор, что обусловлено малыми размерами, быстродействием и высокой чувствительностью [10].

Готовые датчики температуры имеют в своей линейке специальные медицинские модификации, предназначенные и сертифицированные для использования в медицинских термометрических устройствах. Имея размер, не сильно уступающий миниатюрным «голым» сенсорам, они сочетают в себе вспомогательных компонентов. Так, к примеру, уже упоминаемый TMP 117 содержит в себе последовательный интерфейс I2C для связи с микроконтроллером, встроенный АЦП и память EEPROM (см. рисунок 3).

Применение обоих типов контактных датчиков оправдано более дешевым способом получения точной температуры и успешным применением их в проектировании медицинских устройств [10, 11, 12] и использовании в термометрии высокого разрешения [2].

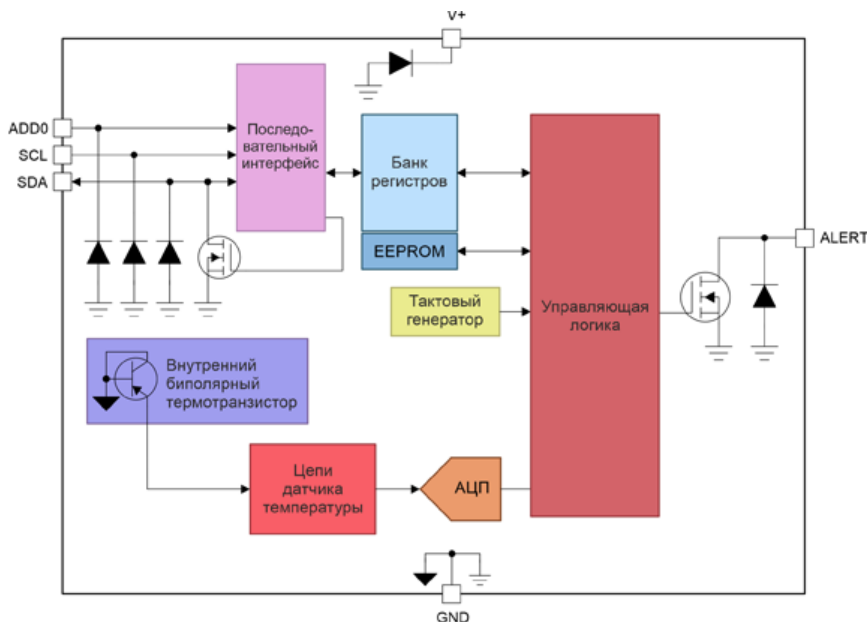


Рис. 3. Внутренняя блок-схема TMP 117 [12]

Путем настройки на частоту колебаний сосудистого русла, зависящей от пульса, дыхания и т.д., с помощью контактных датчиков можно получить термограммы, проведя вейвлет-анализ которых, можно выделить волны колебаний всех факторов регуляции. На основе же этих колебаний возможно сузить список предполагаемых источников нарушения терморегуляции.

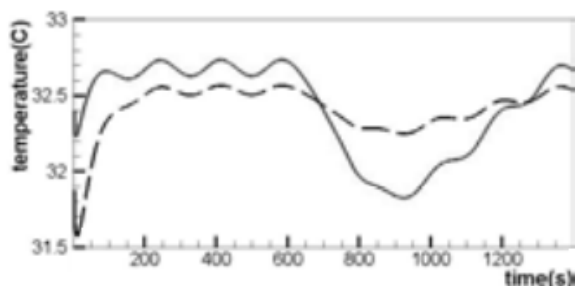


Рис. 4. Изменение температуры на второй (сплошная линия) и на первой фаланге указательного пальца [2]

В некоторых случаях, для получения полезной информации из термограмм не обязательно использование сложного математического анализа. К



примеру, термограммы, полученные на разных конечностях, можно сравнить для выявления отклонений на одной из них или на разных участках одной конечности (см. рисунок 4).

### ***Заключение***

Для проведения сосудистой диагностики существует несколько решений, имеющих свои сильные и слабые стороны.

Тепловизионная диагностика наиболее применяема ввиду своей доступности, универсальности применения, высокой чувствительности и наглядности получаемой термограммы. Обратной стороной использования ИК устройств является недостаточно высокая точность, необходимая при диагностике некоторых заболеваний, и высокая цена.

Контактная термометрия высокого разрешения, являясь наиболее точным и чувствительным методом среди использующих температурный показатель, применяется не так часто из-за малого распространения готовых решений, подходящих для различных поверхностных измерений. Таким образом, даже при наличии специализированных медицинских термометрических датчиков, часто требуется разработка собственного устройства.

Для каждой цели подойдет свое устройство, контактное или бесконтактное. Их использование ограничивается только возможностями в исследованиях: где-то достаточно использовать уже производимые серийно тепловизоры, а где-то следует спроектировать и собрать новое устройство на базе контактных датчиков.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Shusterman V., Anderson K.P., Barnea O. Spontaneous skin temperature oscillations in normal human subjects // *Am. J. Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol.* – 1997. – № 273. – P. 1173–1181.
2. Подтаев С. Ю., Мизева И. А., Смирнова Е. Н. Диагностика функционального состояния микроциркуляции на основе термометрии высокого разрешения // *Вестник Пермского федерального исследовательского центра.* 2012. №3-4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-funktsionalnogo-sostoyaniya-mikrotsirkulyatsiina-osnove-termometrii-vysokogo-razresheniya> (дата обращения: 01.09.2022).

3. Усанов Д. А., Скрипаль Анатолий Владимирович, Протопопов А. А., Сагайдачный А. А., Рытик А. П., Мирошниченко Е. В. Оценка функционального состояния кровеносных сосудов по анализу температурной реакции на окклюзионную пробу // Саратовский научно-медицинский журнал. 2009. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-funktsionalnogo-sostoyaniya-krovenosnyh-sosudov-po-analizu-temperaturnoy-reaktsii-na-okklyuzionnuyu-probu> (дата обращения: 03.09.2022).
4. Охлаждаемые тепловизионные модули. URL: <https://lasercomponents.ru/blog/sfery-primeneniya-i-klyuchevye-osobennosti-ohlazhdaemyh-teplovizionnyh-modulej/> (дата обращения: 03.09.2022).
5. Яровенко Г.В. Термография как метод обследования пациентов с венозной патологией нижних конечностей // Русский медицинский журнал 2018. №6(II): [https://www.rmj.ru/articles/angiologiya/Termografiya\\_kak\\_metod\\_obsledovaniya\\_pacientov\\_s\\_venoznoy\\_patologiiy\\_nizhnih\\_konechnostey/#ixzz7duks62rg](https://www.rmj.ru/articles/angiologiya/Termografiya_kak_metod_obsledovaniya_pacientov_s_venoznoy_patologiiy_nizhnih_konechnostey/#ixzz7duks62rg) (дата обращения: 03.09.2022).
6. Отличие ИК камер и тепловизоров. URL: <http://lib.secuteck.ru/articles2/videonabl/ik-kamery-i-teplovidenie-eto-pochti-odno-i-to-zhe?/>
7. Физические основы тепловидения // ФГБОУ «Приволжский медицинский исследовательский университет» Минздрава России. URL: <http://nniito.ru/?id=579> (дата обращения 04.09.22)
8. Datasheet «TMP006 Infrared Thermopile Sensor in Chip-Scale Package»
9. Тепловизионное оборудование Flir. URL: <https://www.geo-ndt.ru/proizvoditeli-22-flir.htm>
10. Назафат Уллах Выбор датчика для быстродействующего высокочувствительного медицинского термометра // СПбГЭТУ им. В.И.Ленина. URL: [https://izv.etu.ru/assets/files/4\\_2014\\_p082-085.pdf](https://izv.etu.ru/assets/files/4_2014_p082-085.pdf) (дата обращения 04.09.2022).
11. Долгова И. А. Быстродействующие термометры для систем мониторинга параметров человеческого организма: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2008.
12. Высокоточный измеритель температуры тела в виде гибкого РСВ-датчика с поддержкой Bluetooth®. URL: <https://www.compel.ru/lib/127931>

УДК 621.373(075)

К. В. АНТИПИН

*kirillantipin98@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, проф. А. В. МЕСРОПЯН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ УЛЬТРАЗВУКА С ПОМОЩЬЮ КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА

*Аннотация.* В этой статье рассказано как с помощью кварцевого резонатора можно получить звук необходимой частоты.

*Ключевые слова:* ультразвук; кварцевый резонатор; пьезоэффект; резонанс.

*Ультразвук* – это звук частота которого выше частоты, слышимой обычным человеческим ухом (20000Гц). Это явление изучается в этом разделе, потому что используется для терапии.

*Кварцевый резонатор* – это компонент радиоэлектронной аппаратуры, основная особенность которого является сверхвысокая проводимость при определенной частоте подаваемых на резонатор тока и напряжения, а также пьезоэффект благодаря которому кварцевый резонатор способен генерировать ультразвук.

*Пьезоэлектрический* это эффект, при котором сила, приложенная к определенным граням кристалла кварца, вызывает появление электрических зарядов на поверхности кристалла. Обратный пьезоэффект – это тот при котором внешнее электрическое поле воздействуя на кварц вызывает колебания кварца.

Возникновение пьезоэффекта можно изучить, используя модель Мейснера. Кварц имеет химическую формулу  $SiO_2$ , где ионы кремния положительные, а ионы кислорода отрицательные. Рассмотрим модель ячейки с разных сторон.

Если ячейку сжать вдоль полярной оси  $X_1$  (см. рисунок 1, б), то ион Si 3 и ион O 4 будут находиться между боковыми ионами. В результате на плоскости А пластинки появится отрицательный заряд, а на плоскости В – положительный. При сжатии в боковом направлении, т. е. перпендикулярно к полярной и

оптической осям (см. рисунок 1, в), ионы Si 1 и 2 получают одинаковые, но противоположно направленные смещения внутрь ячейки. Так же ведут себя ионы O 5 и 6. Деформация пропорциональна поляризации. Поляризация кристалла кварца электрическим полем вызывает в нем механические напряжения, что является обратным пьезоэффектом.

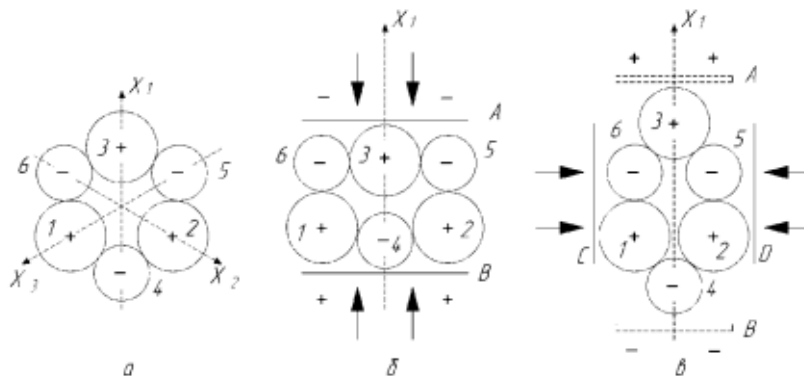


Рис. 1. Модель ячейки кварца [1]

Уравнения прямого пьезоэффекта

$$P = d \cdot t. \tag{1}$$

P-электрическая поляризация, t-механическое напряжение

Уравнение обратного пьезоэффекта

$$r = d \cdot E, \tag{2}$$

где r – деформация; E – напряженность электрического поля.

Пьезомодуль d для прямого и обратного эффектов одинаков.

Также для изучения явления ультразвуковых колебаний важно изучить явление резонанса именно благодаря нему возможно добиваться частотных колебаний.

При определенной частоте переменного тока, подаваемого на кварцевый резонатор у него (кварцевого резонатора), резко увеличивается проводимость что и дает возможность создавать колебания. На всех остальных частотах проводимость слишком маленькая и обратный пьезоэффект не возникает (или возникает слишком слабый)

Что бы изучить эту особенность давайте рассмотрим эквивалентную схему кварцевого резонатора

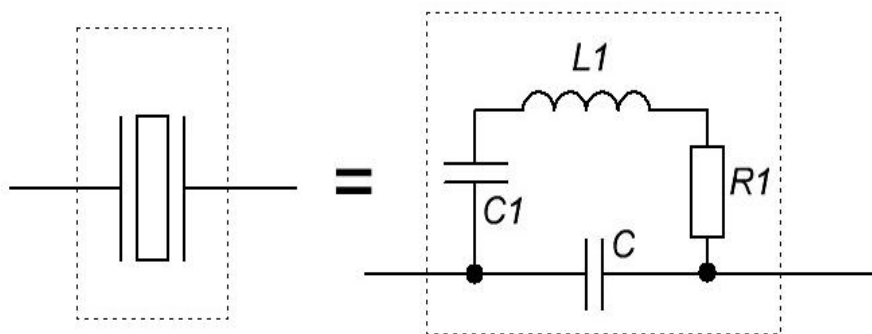


Рис. 2. Эквивалентная схема кварцевого резонатора [2]

$C$  – это емкость между обкладками конденсатора.

$C1$  – емкость кристалла

$L1$  – это индуктивность самого кристалла.

$R1$  – динамическое сопротивление

В этой схеме есть 2 колебательных контура каждый из которых из которых имеет свою резонансную частоту

Первый колебательный контур состоит из  $C1$   $L1$   $R1$  и имеет частоту резонанса равную

$$F = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L1 * C1}} \quad (3)$$

Это частота резонанса называется последовательной и чаще всего указывается на самом кварце.

Также резонанс может возникнуть на контуре, включающем все эквивалентные элементы. Резонансная частота которого равна

$$F = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L1 * \left(\frac{C * C1}{C + C1}\right)}} \quad (4)$$

Вывод: для создания ультразвука определенной частоты достаточно подобрать кварц на необходимую частоту и собрать электрический контур, который будет отправлять переменное напряжение необходимой частоты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоменко И. В., Косых А. В. КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ И ГЕНЕРАТОРЫ // «Телекоммуникационные, радиотехнические системы и сети» ОмГУПС, 2018. С. 5–18.
2. Кварцевый резонатор [Электронный ресурс] //Практическая электроника URL: <https://www.ruselectronic.com/kvartsevyy-rezonator/>

УДК 616.1

Г. Р. АСАДУЛЛИНА  
*asadullina\_gulnaz@bk.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. И. А. ЛАКМАН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЫХАНИЯ

**Аннотация.** Объектом исследования является устройство для проведения спирометрических исследований. Цель работы – ознакомиться с основными методами исследования дыхания у человека. Работа содержит обобщенную информацию, полученную при проведении анализа литературных источников.

**Ключевые слова:** спирометр, внешнее дыхание, объем легких, флоуспирометр.

Спирометр относится к разряду медицинских приборов, используемых в соответствующих учреждениях для контроля функций дыхательных органов и состояния легких. Данный прибор может использоваться в клинко-диагностических и научно-исследовательских медицинских учреждениях при клинических исследованиях в пульмонологии, фтизиатрии, педиатрии, анестезиологии, спортивной медицине и ряде других медицинских направлений.

Современный спирометр представляет микропроцессорное компактное, удобное в эксплуатации устройство и является высокоэффективной системой, определяющей и регистрирующей все основные рабочие функции легких.

В условиях возросшей частоты легочных заболеваний аллергической и токсической природы повышается актуальность спирометрии как одного из самых информативных методов обследования. В ходе процедуры измеряются скоростные и объемные показатели органов дыхания, составляющие информационную базу для диагностики и лечения большинства заболеваний дыхательной системы [1].

Спирометрия позволяет выявлять объективные симптомы патологий, оценивать степень их влияния на систему внешнего дыхания, делать клинический прогноз, вести мониторинг развития болезни и контролировать эффективность терапии. Все эти функции полноценно реализуются лишь при условии

высокого качества аппаратуры для выполнения спирометрических исследований.

Вентиляция легких осуществляется за счет создания разности давления между альвеолярным и атмосферным воздухом: при вдохе давление в альвеолярном пространстве значительно снижается и становится меньше атмосферного, поэтому воздух из атмосферы входит в легкие, смешиваясь с альвеолярным воздухом. При выдохе давление вновь меняется, т.е. давление в легких приближается к атмосферному или даже становится выше его, что приводит к удалению очередной порции воздуха из легких. Состав вдыхаемого, выдыхаемого и альвеолярного воздуха. К газовым средам относятся: атмосферный воздух, выдыхаемый и альвеолярный воздух [2].

Основным методам исследования дыхания у человека относятся [3]:

1. Спирометрия - метод исследования функции внешнего дыхания, включающий в себя измерение объемных и скоростных показателей дыхания. Этот метод позволяет оценить объемы выдыхаемого воздуха при спокойном и форсированном дыхании. Эти показатели зависят от пола, возраста, роста и физического развития испытуемого.

2. Спирография-методика непрерывной регистрации объемов вдыхаемого и выдыхаемого воздуха. Данный метод применяется для более детального изучения функции внешнего дыхания. Использование спирографии позволяет получить графическое изображение различных дыхательных объемов. Метод исследования функции легких путем графической регистрации во времени изменений их объема при дыхании. С помощью спирографии определяют число дыханий в 1 мин (частота дыхания, ЧД); объем воздуха, поступающего в легкие в течение одного вдоха (дыхательный объем, ДО); объем воздуха, поступающего в легкие за 1 мин (минутный объем дыхания, МОД); объем кислорода, потребляемого организмом в течение 1 мин (потребление кислорода, ПО<sub>2</sub>); объем кислорода, потребляемого организмом из 1 л поступающего в легкие воздуха (коэффициент использования кислорода, КИО<sub>2</sub>); максимальный объем воздуха,

выдыхаемого из легких при спокойном выдохе после максимального глубокого вдоха (жизненная емкость легких).

3. Пикфлоуметрия – это метод динамического контроля и самоконтроля функции внешнего дыхания путем определения пиковой скорости выдоха. С помощью пикфлоуметра можно на ранних стадиях выявить обострение заболевания, так как изменения ПСВ возникают задолго (за несколько часов или даже дней) до появления клинически значимых симптомов, причем раннее обнаружение изменений ПСВ позволяет вовремя провести профилактическое лечение и предупредит ухудшение состояния.

4. Пневмотахография - метод измерения максимальной скорости вдоха и выдоха при форсированном дыхании. Принцип метода заключается в графической фиксации показателей давления, которые оказывают потоки воздуха на бронхолегочные структуры в зависимости от фазы дыхания. Первым показателем, который определяется с помощью пневмотахографии, является максимальная скорость движения воздуха (МОС). В норме у среднестатистического взрослого здорового мужчины он колеблется от 5 до 8 л/сек, а у женщины — от 4 до 6 л/сек. Чтобы учесть индивидуальные особенности пациента, при проведении процедуры высчитывают его личную МОС по формуле —  $\text{ФЖЕЛ} \times 1,25$ , где ФЖЕЛ — это форсированная жизненная емкость легких. Полученный показатель МОС сравнивают с фактической скоростью движения воздуха, которая определена с помощью пневмотахографа. В норме фактическая МОС должна быть равна расчетной (с отклонением в 10-15%). Метод позволяет оценить сопротивление воздушных путей потоку воздуха. Для оценки сопротивления бронхов используют методику прерывания потока воздуха. Эта методика основана на периодическом перекрытии трубки аппарата специальной заслонкой в то время, когда больной в нее дышит.

5. Интегральная бодиплетизмография – это один из самых информативных и точных методов исследования функции внешнего дыхания. Для его проведения больной помещается в специальную герметичную камеру, объемом 800



литров. Исследуемый дышит в камере через специальную трубку. Специальные датчики в это время измеряют давление в ротовой полости и в камере, также фиксируются потоки воздуха. При проведении бодиплетизмографии определяются не только легочные объемы и скоростные показатели дыхания, но и трахеобронхиальное сопротивление, эластические свойства легочной ткани и грудной клетки. Эти данные позволяют не только выявить основной тип дыхательной недостаточности, но и сделать предварительное заключение о ее причине [4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айсанов З.Р., Калианова Е.Н. Спирометрия в диагностике и оценке эффективности лечения пациентов с болезнями легких//Доктор.Ру. -2009.-№5.- С.73-79.
2. Уэст , Дж. Физиология дыхания. Основы / Дж. Уэст ; пер. с англ. Н.Н. Алипова; под ред. А. М. Генина .—Москва : Мир, 1988 .—200 с. : ил. ; 22 см .—Библиогр.: с. 191-194.
3. Кормилицын А. Ю. Методы и средства мониторинга дыхания / А. Ю. Кормилицын, В. И. Поляков // Известия вузов. Приборостроение. —2014.— Т. 57, № 4.— С. 61-63.
4. Лопата В.А., Сахно Ю.Ф. Многоуровневая система спирометрической аппаратуры. Функциональная диагностика, 2003, № 2, с.52-55.

УДК 616.71

Г. Р. АСАДУЛЛИНА  
*asadullina\_gulnaz@bk.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. И. А. ЛАКМАН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН

**Аннотация.** Объектом исследования являются биоэлектрические потенциалы человека. Цель работы – ознакомиться с основными методами регистрации двигательной активности мышечных волокон. Работа содержит обобщенную информацию, полученную при проведении анализа литературных источников.

**Ключевые слова:** миография, мышечное волокно, биоэлектрическая активность.

Любое движение человека связано с работой огромного количества мышц. При правильной нервно-мышечной проводимости сигналы, подаваемые нервами, заставляют мышцы сокращаться. Различные заболевания и патологии могут нарушить передачу импульсов от нервов к мышце, что приводит к нарушению сократительной деятельности мышечной ткани, которое часто сопровождается ощущением зуда, покалывания, нарушением чувствительности, двигательными нарушениями [1].

Метод регистрации биоэлектрической активности мышечных волокон выявляет наличие поражения нервных тканей, неточность сигналов нейромышечной передачи и помогает обнаружить, почему снижается мышечная масса. При проведении данного исследования смотрят на степень повреждения и целостности миелиновой оболочки нервных волокон, на цельность корешков и ствола нерва. Процедуру проводят с использованием электромиографа, после чего получают электромиограмму [2].

В иностранных изданиях электромиографией называют только метод игольчатой ЭМГ. Широким спросом пользуются у нейрофизиологов стран бывшего СНГ использование в своей медицинской и лечебной практике метода накожной электромиографии, потому рекомендуется разделять их на три методических подхода в клинической ЭМГ:

- поверхностная ЭМГ,
- игольчатая ЭМГ,
- стимуляционная ЭМГ.

Поверхностная (глобальная, накожная или общая электромиография) – это метод регистрации и рассмотрения биопотенциалов мышц в двух состояниях: при покое и во время их активации посредством накожного отведения биоэлектрической активности с помощью поверхностных электродов, которых как минимум два. Данный способ регистрации неинвазивен и совершенно не доставляет дискомфорта и помогает изучить глобально электрическую активность мышц [3].

Игольчатая (локальная электромиография) – способ регистрации и исследования биоэлектрической активности двигательных волокон и двигательных единиц мышечных волокон с использованием игольчатых электродов, которые вводятся непосредственно в саму мышцу, в состоянии абсолютного покоя, и при случайной хаотичной активации мышц. Данный способ в отличие от предыдущего инвазивен и приносит болезненные ощущения при проведении процедуры. Но при всем этом игольчатая регистрация дает возможность определения механизма деятельности нейромышечного аппарата, который не дает нам первый метод.

Стимуляционная электромиография – способ регистрации и рассматривания биопотенциалов мышц и периферических нервов, созданной активацией нервного окончания на протяжении электрическим стимулом или рецепторного аппарата механическим стимулом. Запись стимулированной активности нервного или мышечного волокна производится поверхностными или игольчатыми электродами в зависимости от поставленной задачи проведения анализа, глубины локализации нервного или мышечного волокна и необходимой потребности устранить активность наведения с соседних мышц. Стимуляционная ЭМГ включает в себя определение параметров М-ответа, регистрацию F-волны, Н-рефлекса, Т-рефлекса, мигательного рефлекса, тестирование нервно-

мышечной связи и др. Совокупность всех трех методов регистрации биопотенциалов мышечных волокон определяется термином клиническая ЭМГ или электронейромиография (ЭНМГ) [4].

При проведении процедуры игольчатой ЭМГ регистрируются при помощи электрода потенциалы активности каждого волокна или их группы. Электроды данного типа проведения существуют в трех видах. Концентрический электрод представляет собой полую иглу диаметром приблизительно 0,5мм через которую проходит проволока из платины или нержавеющей стали, разделенная изолирующим слоем. Определяют разность потенциалов среди корпуса иглы и концом центрального стержня. С целью повышения и расширения места отведения иглу рекомендуют изолировать с внешней стороны, притом неизолированной оставляют всего лишь ее эллиптическую поверхность вдоль плоскости разреза. У такого электрода площадь отводящей поверхности осевого стержня достигает около 0,07 мм<sup>2</sup>. Биполярный электрод включает в себя два идентичных стержня, отделенных друг от друга внутри иглы между оголенными кончиками, которые измеряют разность потенциалов на расстоянии десятых миллиметра друг от друга. В монополярных отведениях вводят в применение электроды, который является иглой, изолированную на всем протяжении, за исключением заостренного конца, оголенного на расстоянии 1-2 мм.

С помощью игольчатых электродов исследуются параметры потенциалов действия отдельных двигательных единиц и каждое волокно мышцы. Отведение игольчатого электрода занимает центральное место в клинической миографии, которая фокусируется на диагностике первичных заболеваний опорно-двигательного аппарата. Фиксация каждой ПД в ДЕ и волокон мышц делает возможным безошибочно и достоверно выявить длительность, амплитуду, форму и фазу потенциала. Игольчатые электроды следует защищать и не допускать повреждения от механических манипуляций, которые способны испортить и привести в негодность изолирующий слой или допустить образование зазубрин на прокалывающей части иглы и ее затупление. С целью определения

состояния электрода его внимательно осматривают с использованием 10-кратной лупы или микроскопа. Если находят недостатки такие, как затупление или зазубрина, то электрод немедленно затачивают, шлифуют и электролитически обрабатывают его согласно инструкции. Использование непригодных и несоответствующих технической документации электродов недопустимо, поскольку это делает исследование болезненным и приводит к серьезному и недопустимому повреждению огромного количества мышечных волокон и нервов, что приводит к неверному и ошибочному установлению диагноза. Прежде чем приступить к введению в кожу иглы, нужно продезинфицировать поверхность кожи. Для этой цели подойдет медицинский спирт. Для стерилизации электрода необходимо его кипячение или погружение в 90% спирте в течение суток [5].

В случае при проведении процедуры электромиографии поверхностными электродами, записывается общая электромиограмма. Это электроды вида металлических пластин или дисков площадью примерно  $0,2 - 1 \text{ см}^2$ , которые стандартно попарно закрепляются в фиксирующих вставках, которые гарантируют неизменное расстояние между отводящими электродами, что имеет существенное значение для оценки амплитуды записанных колебаний потенциалов. Накожные электроды прикладывают к участку кожи, где прослеживается максимальная мышечная активность. Как и в предыдущем примере поверхность кожи дезинфицируют спиртом и протирают изотоническим раствором хлорида натрия. Электрод прикрепляется к мышце за счет использования резиновых полос, манжет или липкой ленты. Если требуется длительное проведение процедуры, в таком случае на область контакта кожи с электродом наносится специальная электродная паста, которую часто применяют при проведении процедуры ЭЭГ. Внушительный размер поверхностного электрода и его удаленность от мышечных тканей делают возможным регистрировать общую активность мышц, которая является интерференцией потенциалов действия многих сотен и даже тысяч МВ. Во время высоких приростов и сильных мышечных сокраще-

ний глобальный электрод записывает активность близлежащих мышц. Именно поэтому данный способ проведения ЭМГ не допускает возможности рассмотрения параметров единичных мышечных потенциалов. В конечном итоге оценивают приблизительные значения частоты, периодичности и амплитуды полученной электромиограммы [3].

При проведении метода стимуляции с помощью поверхностных электродов в двигательных точках осуществляют непосредственно стимуляцию мышц и рассматривают зарегистрированный ответ на внешнее воздействие. Исходя из поставленных задач процедуру выполняют с одним из представленных видов электрода. Чтобы улучшить проводимость кожного покрова, на нее наносят электродную пасту.

Были описаны технические средства проведения электромиографии. В частности рассмотрены основные виды электромиографических исследований. Преимуществами игольчатой электромиографии являются высокая чувствительность, доступ к глубокой мускулатуре, малая перекрываемость. К недостаткам относятся шумы из-за высокой чувствительности, требуется специализированный персонал. При проведении исследования поверхностными электродами, пациент получает минимальный дискомфорт, не требуется специализированный персонал, в целом процедура быстрая и легкая. Недостатками данного вида ЭМГ являются большая перекрываемость, используется лишь для поверхностных мышц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Команцев, В.Н. Методические основы клинической электронейромиографии/ В.Н.Команцев. – СПб.: Лань, 2006. – 120 с.
2. Зенков Л.Р., Ронкин М.А. Функциональная диагностика нервных болезней. - М.: Медицина, 1991 - 623 с.
3. Водолазский Л. А. Основы техники клинической электрографии. - М.: Медицина, 1966.- 272 с.
4. Артемова Н.М., Везенова И.В. Стимуляционная электромиография: учебное пособие для врачей/ Артемова Н.М., Везенова И.В., Соколов А.В.; Ряз. гос. мед. ун-т им. акад. И.П. Павлова. – Рязань: РИО РязГМУ, 2013.–80 с.
5. Григорьев М. Г., Турушев Н. В., Авдеева Д. К., Устройство для электронейромиографических исследований опорно-двигательного аппарата человека [Электронный ресурс] — Электрон. журн. — Журнал радиоэлектроники, 2019

УДК 616.71

Г. Р. АСАДУЛЛИНА  
*asadullina\_gulnaz@bk.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. И. А. ЛАКМАН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЦ

**Аннотация.** Объектом исследования является устройство регистрации биоэлектрических потенциалов человека. Цель работы – ознакомиться с принципом регистрации двигательной активности мышечных волокон. Работа содержит обобщенную информацию, полученную при проведении анализа литературных источников.

**Ключевые слова:** миография, мышечное волокно, биоэлектрическая активность.

Электромиография относится к области медицинской диагностики, целью которой является изучение активности мышечной ткани при помощи регистрации ее биоэлектрического потенциала.

Обратимся к статье из журнала «Радиоэлектроника» [1]. Автор рассматривает возможность воссоединения нескольких видов диагностик в медицине исходя из сходства и согласованности принципов действия аппаратов, необходимых для выполнения процедуры электромиографии, для гармоничного обследования пациентов.

В патенте [2] расписан итог такого слияния, на основе которого возникла методика электронейромиографии, которая сочетает в себе миографию и нейрографию. Электронная нейромиография (стимулирующая миография) – это комплекс методов диагностики опорно-двигательного аппарата.

Развитие этого направления медицинской диагностики дает возможность детально изучить взаимодействие мышц человека с его нервной системой, и отдельно рассмотреть такие явления, как нервную и мышечную активности. Специфической исключительностью процедуры проведения электронейромиографии является наличие стимуляционной приставки, при помощи которой удается стимулировать внешними факторами рассматриваемые области организма.

Водолазский Л. А [3] подчеркивает важность проведения исследования путем электронейромиографии, исходя из многочисленных возможностей применения, которые помогают измерить значительный перечень параметров нейромышечной активности, такие как скорости распространения возбуждения по двигательному нерву и по чувствительным волокнам; моторный ответ мышцы; поздние нейрографические явления; мигательный рефлекс; надежность нервно-мышечной передачи. Устройства, которые диагностируют мышечную активность, называются электромиографами, а устройства, используемые с целью стимулирования, называются электронейромиографами.

В журнале [1] автор описал простую версию прибора электронейромиографии, которая включает в себя следующие функциональные блоки: несколько электродов, блок стимуляции, блок усиления биопотенциалов, фильтры низких и верхних частот, блок обработки биосигналов, устройство отображения информации, накопитель измерительной информации.

Электроды обеспечивают снятие биопотенциалов с исследуемого участка кожи, используют электроды, а блок усиления служит для усиления зарегистрированных сигналы до уровней, подходящих для обработки в блоке обработки. Блок фильтра убирает шум для чистого результата из сигнала. Блок обработки обычно включает в себя АЦП высокого разрешения и высокочастотный микроконтроллер, который обеспечивает обработку информации и интерфейс управления. Блок дисплея отображает результат измерения и может действовать как дисплей со встроенным драйвером, внешний дисплей или персональный компьютер. Блок стимуляции используется как дополнительная опция для проведения миографии стимуляции.

Устройство содержит следующие функциональные блоки (рисунок 1): электроды, усилители биопотенциалов, фильтры для обработки сигналов, накопитель информации, стимуляционная приставка. В устройстве есть исключительная черта, которая выражается в полном отсутствии блоков фильтрующих сигнал. Данное действие приводит к получению досконального подробного



анализа активности мышцы с маленьким процентом потерь информации, которая в случае фильтрации теряется.

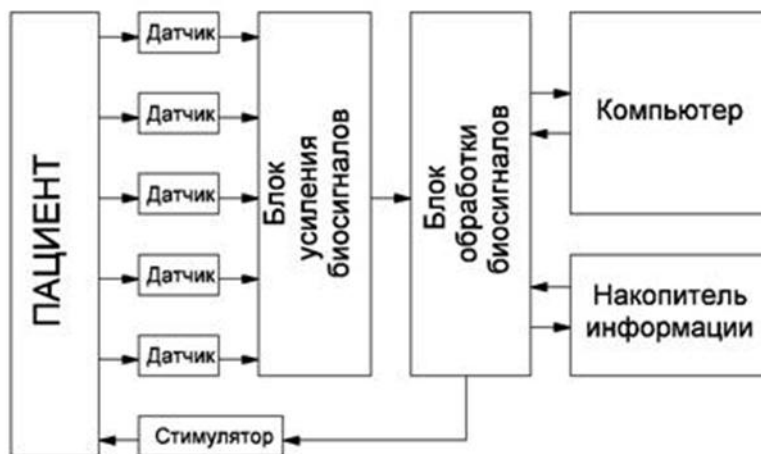


Рис. 1. Функциональная схема электромиографа

В качестве электродов используют наноэлектроды. Блок усиления сигналов производит к значительному возрастанию сигнала до размеров, удобных для обработки сигнала. В следующем блоке выполняется процесс преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму, после чего производится обработка и запись в накопитель информации, управление стимулятором, осуществление связи устройства с ПК и передача информации из встроенного накопителя.

Таким образом, обзор научной литературы и патентов показал, что аппараты для проведения электромиографии требуют дополнительных элементов для эффективной работы функциональной диагностики. Необходимо непрерывное измерение биоэлектрических потенциалов мышц, мышечных усилий человека и передачи данных об этих измерениях на обработку в компьютер по беспроводным каналам связи. Меньше всего уделяется внимания вопросу портативного миографа. Из этого следует, что разрабатываемое устройство для регистрации биоэлектрической активности мышц необходимо сделать портативным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев М. Г., Турушев Н. В., Авдеева Д. К., Устройство для электронейромиографических исследований опорно-двигательного аппарата человека [Электронный ресурс] — Электрон. журн. — Журнал радиоэлектроники, 2014.
2. Патент РБ 7118, А 61В 5/0488, 30.04.2011 «Устройство электромиографии»/ Осипов Анатолий Николаевич; Кульчицкий Владимир Адамович; Ильясевич Инесса Александровна; Меженная Марина Михайловна; Давыдов Максим Викторович; Давыдова Надежда Сергеевна (ВУ).
3. Водолазский Л. А. Основы техники клинической электрографии. - М.: Медицина, 2017.- 272 с.

Д. Ш. БАГАУТДИНОВА, Р. Р. ГИЛЯЗЕВА, Н. В. РУЗАНОВА  
*bagautdinova.diana2014@gmail.com*

Науч. руковод. – ст. преп. А. И. МЕЗЕНЦЕВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## БИОНИЧЕСКИЙ ГЛАЗ

**Аннотация.** В данной статье рассматривался эпиретинальный имплант Argus II, его достоинства и недостатки. Понятие того, что же такое бионический глаз, его рабочая часть, а также группы способов установки имплантов.

**Ключевые слова:** бионический глаз; имплант; Argus II.

По данным Международного агентства по профилактике слепоты, около 284 миллионов жителей Земли имеют какие-либо нарушения зрения, а 39 миллионов из них полностью его лишены. Причиной отсутствия или частичной потери зрения могут являться врожденный дефект, глазное заболевание, химический ожог либо травма, но основной причиной являются дегенеративные заболевания сетчатки. Именно для людей, потерявших зрение в результате дегенеративных изменений, разрабатываются сейчас устройства, получившие сейчас название – бионический глаз.

Бионический глаз – это конструкция, позволяющая различать ряд визуальных объектов и компенсировать в определенном объеме отсутствие зрения, повышать самостоятельность людей в исполнении простых действий. Основной рабочей частью конструкции являются матрицы микроэлектродов, которые хирургическим путем помещаются в глаз, в области глазного нерва, который передает импульсы из глаза в мозг, или непосредственно в головной мозг. Эти микроэлектроды, в зависимости от вида протеза могут стимулировать либо все еще функционирующую часть сетчатки потерявшего зрение человека, либо зрительный нерв как проводящую структуру или воздействовать непосредственно на визуальный отдел коры головного мозга. Стимуляция происходит за счет слабых электрических импульсов, примерно так же, как это происходит при применении кохлеарного имплантата (слухового протеза).

Имплантаты можно разделить несколько групп: на сетчатке – эпиретинальные, позади сетчатки – субретинальные, выше сосудистой оболочки – супрахориоидальные, интрасклеральные, на зрительном нерве, а также имплантируемые в мозг.

Рассмотрим эпиретинальный имплант Argus II.

Система Argus является самым первым имплантируемым в глаз протезом, которая была разработана компанией Second Sight в США. Она позволяет полностью обойти поврежденные фоторецепторы. У этой системы есть миниатюрная камера, которая интегрирована в очки. Видео передается на небольшой компьютер, т. е. блок обработки откуда картинка посылает команды обратно в очки. Команды в свою очередь передаются по беспроводной сети на антенну в имплантат. Сигналы затем отправляются в электродную матрицу, которая испускает небольшие электрические импульсы. Эти импульсы обходят поврежденные фоторецепторы и стимулируют оставшиеся клетки сетчатки, которые затем передают визуальную информацию по зрительному нерву в мозг, позволяя воспринимать рисунок света. Пациенты обучаются интерпретировать получаемые визуальные модели.



Рис. 1. Внешний модуль



Рис. 2. Имплантируемый модуль

Достоинством данного бионического глаза является возможность самостоятельного передвижения в пространстве. Недостатков у данного устройства немного больше. Во-первых, отсутствие нормального зрения, т. к. у этой версии импланта всего 60 электродов, а для хорошего зрения необходимо около 1 миллиона электродов. Во-вторых, нет возможности различать цвета. А в-третьих, высокая стоимость импланта.

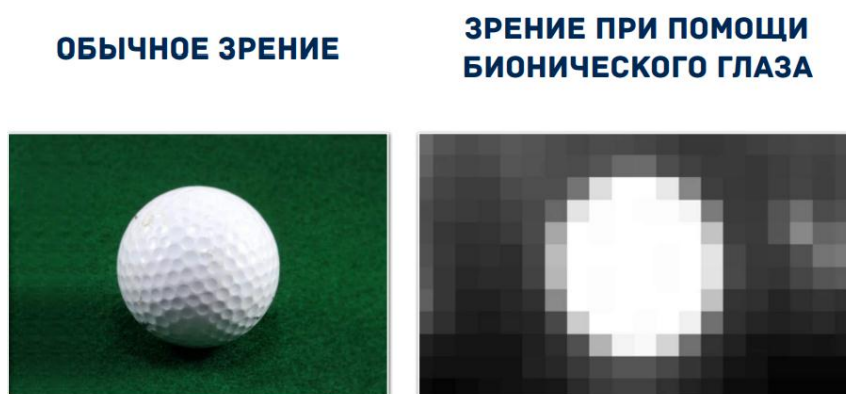


Рис. 3. Зрение с помощью бионического глаза

Таким образом, бионический глаз предназначен для слепых, у которых повреждены зрительные нервы, которые препятствуют передаче визуальных данных сетчатки глаза к зрительной коре головного мозга. Он не может полностью восстановить зрение, но дает возможность видеть пиксельное изображение для передвижения без помощи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузина О. Е., Лаптева А. Б., Ткаченко К. А., Почкарева Е. И., Липина М. А. Актуальные вопросы и перспективы развития имплантации протеза искусственной сетчатки // Вестник совета молодых ученых и специалистов Челябинской области. 2018. Т. 2, № 3.
2. Тахчиди Х. П., Качалина Г. Ф., Тахчиди Н. Х., Маноян Р. А., Глизница П. В. Бионический глаз: возможности эпиретинальной протезной системы Argus II в зрительной и социальной реабилитации слепых пациентов с терминальной стадией пигментного ретинита // Вестник Российского государственного медицинского университета, 2019. С. 58–64.
3. Шляпникова О. А., Каменских Т. Г., Рощепкин В. В., Решникова Л. Б. Перспективные направления развития офтальмологии (обзор) // Саратовский научно-медицинский журнал. 2021. Т. 17, № 3.

А. А. БАЙБОЛДИНА

*bayboldinaa@mail.ru*

Науч. руковод. – ст. преп. Э. Ю. АБДУЛЛИНА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АППАРАТ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ**

**Аннотация.** В данной статье описаны методы проведения искусственной вентиляции легких, рассмотрены существующие устройства для проведения искусственной вентиляции легких, их преимущества и недостатки, представлена структурная схема и описание принципа работы разработанного технического решения.

**Ключевые слова:** аппарат для искусственной вентиляции легких, блок управления, вентиляция, неинвазивный, инвазивный, пневматическая система, микропроцессор.

За последние два года в области медицинской техники одними из самых популярных оборудований стали аппараты для искусственной вентиляции легких (ИВЛ). Это связано с тем, что показатели выживаемости при пандемии COVID-19 практически были зависимы от количества аппаратов для ИВЛ, имеющих в распоряжении медицинских учреждений.

Аппарат для ИВЛ – это медицинское оборудование, которое обеспечивает принудительную подачу кислорода или сжатого осушенного воздуха в легкие больного в случае дыхательной недостаточности или невозможности дыхания естественным путем. За счет этого кровь обогащается кислородом, а углекислый газ выделяется из организма.

Известны две основные методики ИВЛ: наружный (внешний) метод вентиляции и внутренний метод вентиляции. При первом методе ИВЛ производится путем подачи воздушной смеси непосредственно в верхние дыхательные пути, то есть происходит выталкивание воздуха в легкие; при втором методе вентиляция осуществляется посредством внешнего влияния на все тело биообъекта или только грудную полость, что заставляет легкие расширяться и сокращаться.

Первые аппараты для искусственной вентиляции легких были аппаратами наружного действия. Аппараты для ИВЛ внешнего действия вентилируют легкие путем воздействия отрицательного давления на все тело ниже головы, что-

бы заставить грудную клетку расширяться и втягивать воздух в легкие через дыхательные пути. При понижении отрицательного давления грудная клетка естественным образом сжимается, вызывая выдох.

На данный момент аппараты, выполняющие наружный метод вентиляции, не выпускаются, так как такие устройства малоэффективны, а самые функциональные из них – «железные легкие» – являются дорогостоящими и громоздкими устройствами. Они затрудняют доступ к телу биообъекта и не позволяют управлять газовым составом, температурой и влажностью.

Аппараты для ИВЛ внутреннего воздействия были разработаны в начале 1950-х годов, чтобы лечить пациентов с полиомиелитом с параличом дыхания. Такие аппараты для ИВЛ вентилируют легкие путем создания положительного давления в дыхательных путях пациента, за счет чего дыхательная смесь поступает в легкие пациента. Затем давление в дыхательных путях падает до нуля и упругая отдача грудной стенки и легких выталкивает воздух, то есть происходит пассивный выдох.

В настоящее время производители аппаратов ИВЛ работают над улучшением функциональных способностей аппарата, повышением работоспособности и обеспечением безопасности пациента и медицинского персонала.

Рассмотрели существующие технические решения для проведения ИВЛ.

Одним из самых востребованных и применяемых отечественных аппаратов для ИВЛ является аппарат для ИВЛ «АВЕНТА-М». Это мобильный аппарат, оснащенный встроенным генератором потока и современным сенсорным управлением и отображающий на дисплее все цифровые параметры и респираторную графику, включая мониторинг  $FiO_2$ ,  $EtCO_2$  в режиме реального времени.

Отличительные особенности аппарата:

- автоматическая настройка параметров вентиляции и границ тревог с учетом индекса массы тела пациента;
- высокочувствительная коррекция вентиляции при появлении попыток самостоятельного дыхания;



- автоматический маневр санации дыхательных путей;
- автоматический выбор оптимальной скорости нарастания давления (Pramp - AUTO);
- чувствительный интеллектуальный триггер (не пропускает реальные попытки вдоха и минимизирует вероятность ложных срабатываний даже в условиях утечки и NIV);
- автоматический выбор оптимального момента переключения на выдох для спонтанных вдохов (Esens — AUTO);
- автоматическое управление FiO<sub>2</sub> - автоматическое управление ПДКВ;
- адаптация паттерна дыхания под индивидуальные параметры легкого – AUTO-MVG; мониторинг объема продукции CO<sub>2</sub> – автоматическая компенсация утечки; возможность передачи информации через беспроводный интерфейс;
- встроенный аккумулятор;
- триггер по F;
- триггер по P.

Большой популярностью среди аппаратов для ИВЛ пользуются аппараты для ИВЛ «Hamilton-C1». Это пневматическая система вентиляции с электронным управлением и встроенной системой сжатия воздуха. Система работает от источника переменного тока. Кроме того, предусмотрен резервный аккумулятор, который питает аппарат в случае перебоев в энергоснабжении и колебаний напряжения, а также облегчает транспортировку пациента в пределах медицинского учреждения. Пневматические механизмы аппарата ИВЛ HAMILTON-C1 отвечают за подачу газовой смеси, при этом управление пневматикой выполняют электрические системы, они же контролируют сигналы тревоги и распределение энергии.

Отличительные особенности аппарата:

- вентиляция легких у взрослых, детей, младенцев,
- бесперебойное питание,

- время работы от аккумулятора – 4 часа,
- независимость от баллонов сжатого газа или компрессоров,
- поддержка кислородной терапии с высокой скоростью потока,
- неинвазивная и инвазивная вентиляция.

Выполнив анализ существующих решений, привели структурную схему аппарата для ИВЛ и рассмотрели принцип его действия.

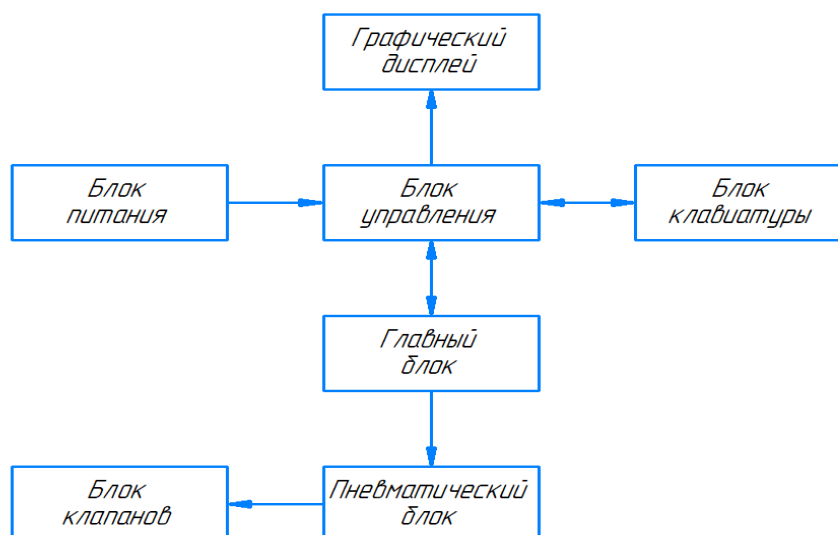


Рис. 1. Структурная схема разрабатываемого аппарата для ИВЛ

Аппарат для ИВЛ, структурная схема которого представлена выше, имеет блок управления, содержащий один микропроцессор. Микропроцессор управляет блоком клавиатуры и всеми функциями графического дисплея. Микропроцессор взаимодействует с пневматическим блоком посредством главного блока.

Главный блок также содержит один микропроцессор. Он обеспечивает связь между блоком управления и пневматическим блоком. Микропроцессор главного блока проверяет правильность работы микропроцессоров блока управления и пневматического блока.

Пневматический блок содержит один микропроцессор, который управляет пневматическими функциями аппарата. Микропроцессор получает настройки с блока управления и обрабатывает значения, приводит в действие электрические клапаны, находящиеся в блоке клапанов, а также отправляет информа-

цию с датчиков обратно на блок управления, например, фактическое давление в дыхательных путях, сигналы тревоги, значения состояния пациента и т.д.

Блок клавиатуры содержит несколько переключателей и светодиодов для взаимодействия между оператором и электронной системой.

На графическом дисплее отображается вся информация. Он состоит из меню, настроек параметров, графиков и т.д. Вместе с переключателями клавиатуры и светодиодами они формируют интерфейс оператора.

Блок питания питает данный аппарат электричеством. Он содержит преобразователь напряжения, который преобразует сетевое напряжение переменного тока в напряжение постоянного тока +24В, а также аккумулятор, который будет снабжать аппарат электричеством при ее отсутствии.

В заключении хотелось бы отметить, что по мере развития технологий в области методик ИВЛ появляются многие новшества:

- переход к менее агрессивным методикам, в которых различными способами сочетается навязываемая пациенту вентиляция с самостоятельным дыханием;

- интенсивное насыщение аппаратов ИВЛ мониторами, – т.е. средствами измерения и представления информации о состоянии пациента и режиме вентиляции, сопряженными с сигнализацией, в том числе “интеллектуальной” о выходе основных показателей из установленных границ;

- обеспечение безопасности пациента в случае нарушения электроснабжения путем той же сигнализации, применения специальных схемных решений и оснащения аппаратуры аварийными источниками электропитания; сюда же можно отнести обеспечение электромагнитной совместимости, то есть защиты аппаратуры, прежде всего программно управляемой, от воздействия различных помех по сети, электромагнитных полей, разрядов статического электричества и т.д.

Таким образом, можно не только усовершенствовать работу самих аппаратов, но также можно упростить работу медицинского персонала, улучшить безопасность пациента, достичь хороших результатов вентиляции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов С. В., Куликов А. Ю., Строев В. М. Наркозно-дыхательная аппаратура: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. 96 с.
2. Рынок аппаратов ИВЛ в условиях пандемии 2020 // QRZ: Исследовательская компания ID-Marketing. URL: [https://id-marketing.ru/goods/rynok\\_apparatom\\_ivl\\_v\\_usloviyah\\_pandemii\\_2020/#description-tab](https://id-marketing.ru/goods/rynok_apparatom_ivl_v_usloviyah_pandemii_2020/#description-tab) (дата обращения: 24.11.2021).
3. Чурсин В. В. Искусственная вентиляция легких: учебно-методическое пособие. Алматы: Изд-во КазМУНО (АГИУВ). Кафедра анестезиологии и реаниматологии, 2008. 55 с.
4. Петухова А. Аппараты ИВЛ: краткая история протезирования дыхания. Часть 1 // QRZ: Онлайн патент: электронный журнал. URL: <https://onlinepatent.ru/journal/ventilator-1/> (дата обращения: 05.12.2021).
5. Аппарат искусственной вентиляции легких «Авента М»: руководство по эксплуатации Р51.00.000РЭ / под ред. 1.10 ОАО «УПЗ», 2013. 164 с.
6. Аппарат ИВЛ «Hamilton-C» // QRZ: Hamilton-medical. URL: [https://www.hamilton-medical.com/ru\\_RU/Products/Mechanical-ventilators/HAMILTON-C1/HAMILTON-C1-features.html](https://www.hamilton-medical.com/ru_RU/Products/Mechanical-ventilators/HAMILTON-C1/HAMILTON-C1-features.html) (дата обращения: 08.07.21).

А. А. БАЙБОЛДИНА

*bayboldinaa@mail.ru*

Науч. руковод. – ст. преп. Л. Р. ФАРХУТДИНОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АППАРАТОВ ИВЛ

**Аннотация.** В данной статье поднимается одна из проблем использования аппаратов искусственной вентиляции легких – их надежное и безопасное использование. В работе рассматриваются несколько методов повышения работоспособности и надежности аппаратов, включающих себя изменения не только структуры, но и работы аппаратов.

**Ключевые слова:** аппарат искусственной вентиляции легких; надежность; безопасность; схема управления; блок питания; параметры вентиляции.

Искусственная вентиляция легких (ИВЛ), или искусственное дыхание – это искусственное вдувание воздуха в легкие. Применяется в качестве реанимационной меры при серьезном нарушении самостоятельного дыхания человека, а также как средство, предохраняющее от нехватки кислорода, обусловленной применением общей анестезии или заболеваниями, связанными с нарушением спонтанного дыхания. Основное показание для применения ИВЛ – сложные продолжительные операции. Через аппарат ИВЛ в тело человека поступает не только кислород, но и газы, необходимые для проведения и поддержания общей анестезии, а также для обеспечения определенных функций тела. Искусственная вентиляция легких применяется всегда, когда нарушается функция легких, например, при тяжелом воспалении легких, повреждении головного мозга (человек в коме) и (или) легких в результате несчастного случая. В случае повреждения мозгового ствола, в котором находятся центры, регулирующие дыхание и кровообращение, искусственная вентиляция легких может быть продолжительной.

История аппаратов ИВЛ прошла долгий путь. Первые аппараты ИВЛ были аппаратами отрицательного давления. По сути это были дыхательные протезы, позволяющие человеку дышать естественным путем — расширением грудной клетки на вдохе и ее спаданием на выдохе, например респиратор Дринкера

или «железные легкие», кирасные аппараты, качающиеся кровати. Главным недостатком таких аппаратов была их громоздкость и отсутствие контакта между пациентом и врачом.

Позже появились аппараты ИВЛ внутреннего действия, работающие методом вдувания. При ИВЛ способом вдувания поступление дыхательного газа в легкие обеспечивается его нагнетанием в легкие до создания в них на вдохе давления, превосходящего давление газа окружающей среды.

На всем пути развития аппаратов ИВЛ производители пытаются избавиться от недочетов в структуре и работе аппарата, чтобы повысить безопасность и эффективность их использования. Основным недостатком аппаратов является низкая надежность, что недопустимо в аппаратах искусственной вентиляции легких ввиду опасности для жизни пациента. В настоящее время повышение надежности можно осуществить различными способами.

Одним из методов повышения надежности работы аппарата ИВЛ является использование источника бесперебойного питания. При отключении электричества или неисправностях сети аппараты ИВЛ не могут оставаться без питания, так как они являются жизнеобеспечивающими устройствами и их отключение может привести не только к осложнениям, но и к смерти пациента. Поэтому в структуре аппаратов ИВЛ часто предусматриваются источники бесперебойного питания или специальные аккумуляторы, которые позволяют работать устройствам в течение четырех и даже более часов.

Повышение надежности ИВЛ можно добиться путем обеспечения постоянства заданных временных параметров искусственной вентиляции легких. Достигается это за счет введения в аппарат дополнительного электромагнитного клапана и сигнализатора апноэ. Так при выходе из строя одного из электромагнитных клапанов срабатывает сигнализатор апноэ и подключается второй клапан, который позволяет сохранить параметры вентиляции неизменными.

Повышение надежности может достигаться за счет того, что в структуру аппарата искусственной вентиляции легких могут быть введены по числу элек-

ромагнитных клапанов (ЭМК) формирователи управляющих импульсов, регулируемые стабилизаторы напряжения с управляемыми делителями и мостовые транзисторные схемы. Применение заявляемой схемы построения аппарата искусственной вентиляции легких позволяет исключить из конструкции ЭМК механические элементы, часто выходящие из строя, увеличить реально достижимое быстродействие электромагнитных клапанов, а также резко повысить надежность аппаратов искусственной вентиляции легких, особенно аппаратов высокочастотной ИВЛ.

Также для повышения надежности аппарата ИВЛ предлагается повысить надежность микроконтроллера, а с ним и всего блока управления, заменив отечественные микросхемы на их зарубежные аналоги, а также путем экранирования блока печатных плат от внешних помех (электромагнитных излучений). В результате этого можно повысить вероятность безотказной работы блока управления, а так же повысить среднюю наработку.

Таким образом, повышение надежности и безопасности наркозно дыхательной аппаратуры, в том числе и аппаратов ИВЛ, имеет большое значение, так как выход из строя одного блока аппарата может привести к серьезным последствиям. Поиск и разработка новых методов обеспечения надежности ИВЛ сделает современные аппараты эффективней и безопасней.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чурсин В.В. Искусственная вентиляция легких: учебно-методическое пособие – Алматы: КазМУНО, 2008. 55 с.
2. <https://www.bestreferat.ru/referat-290013.html> - Модернизация блока управления аппарата искусственной вентиляции легких Спирон-201 – 21.02.22.
3. Маргацкая Е.А. Разработка конструкции и алгоритмов управления электроприводом клапана выдоха аппарата ИВЛ – Челябинск, Южно-уральский государственный университет, 2015. 143 с.
4. Лескин Г.С., Осипов В.М., Виноградов В.Л. Патент SU1641343. Аппарат высокочастотной искусственной вентиляции легких; опубл. 15.04.1991, 3 с.
5. Свидлер В.Н., Кривитский А.К., Патент RU2020919. Аппарат искусственной вентиляции легких; опубл. 15.10.1994, 5 с.

УДК 616.71

Л. А. ГАБИТОВА

*lays.gabitova.01@mail.ru*

Науч. руковод. – ст. преп. Э. Ю. АБДУЛЛИНА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ПУЛЬСОКСИМЕТРЫ. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ**

**Аннотация.** Пульсоксиметр является медицинским контрольно-диагностическим прибором. Он показывает степень насыщения крови кислородом, частоту сердечного ритма. В настоящее время пульсоксиметры очень востребованы, так как позволяют легко контролировать важнейшие показатели кровеносной системы даже в домашних условиях.

**Ключевые слова:** медицинский прибор, кислородная насыщенность, пульсоксиметры, российские модели, сравнение.

Пульсоксиметр – небольшое устройство, которое позволяет определить пульс и количество кислорода, содержащегося в крови человека. Преимущество заключается в том, что пользоваться устройством можно как в больнице, так и в домашних условиях. Оно не требует для эксплуатации наличия профессиональных медицинских знаний и навыков.

В условиях пандемии пульсоксиметры очень полезны и пользуются большим спросом. Они показывают степень насыщения крови кислородом, частоту сердечных сокращений. Благодаря таким измерениям можно контролировать работу сердечной и дыхательной системы.

### ***Пульсоксиметр Armed YX301***

Пульсоксиметр Armed YX301 производится российской компанией, которая расположена в Новосибирске.

Устройство массой 70 гр. оснащено OLED –дисплеем, на который выводится информация о показателях пульса и кислорода в крови. Информация отображается в виде больших и четких цифр, а потому пользоваться прибором одинаково эффективно могут люди в любом возрасте. Допустимый диапазон измерения пульса варьируется в пределах 25-250 уд/мин. Устройство отличает-



ся энергетической эффективностью – при непрерывном использовании заряда двух батареек AAA хватит на 30 часов работы (табл. 1).

Для использования прибора достаточно зажать кнопку на его корпусе, вставить палец и отпустить зажим. Показатели отображаются на дисплее в течение нескольких секунд.

Таблица 1

Основные характеристики пульсоксиметра Armed YX301

Тип дисплея	OLED -дисплей
Тип батарейки	AAA 1,5 В
Автовключение после окончания использования через	8 секунд
Индикатор заряда батареи на дисплее	Да
Цифровое отображение значения SpO2 на дисплее	Да
Цифровое отображение пульса на дисплее	Да
Диапазон измерения SpO2	70-100 %
Диапазон измерения пульса	25-250 уд/мин
Диапазон напряжения	2.6–3.6 В
Энергопотребление менее	40 мА
Размер	69 мм x 35 мм x 31 мм

Плюсы:

- Высокая точность измерений;
- Отображение графика сердечных сокращений (кроме частоты пульса и уровня кислорода в крови);
- Простой интерфейс, энергоэффективность.

Минусы:

- Хрупкий корпус;
- Высокая цена.

### ***Пульсоксиметр Armed YX200***

Armed YX200 – младшая модель в линейке новосибирского производителя. Главное отличие – наличие черно-белого жидкокристаллического дисплея. Диапазон измерения - 30-235 уд/мин (табл. 2).

Для получения результатов достаточно надеть прибор на палец до основания ногтя, отпустить зажим и подождать 8 секунд. Вверху дисплея отобразится информация о насыщении крови кислородом, внизу – о показателях пульса.

Прибор рекомендуется регулярно использовать в домашних условиях пациентам, перенесшим инфаркт или страдающим от заболеваний дыхательной и сердечно-сосудистой системы.

Таблица 2

Основные характеристики пульсоксиметра Armed YX200

Тип дисплея	Двухцветный ЖК-дисплей
Тип батарейки	AAA 1,5 В
Автовыключение после окончания использования через	8 секунд
Индикатор заряда батареи на дисплее	Да
Цифровое отображение значения SpO2 на дисплее	Да
Цифровое отображение пульса на дисплее	Да
Диапазон измерения SpO2	70-100 %
Диапазон измерения пульса	30-235 уд/мин
Диапазон напряжения	2.6–3.6 В
Энергопотребление менее	40 мА
Размер	68 мм x 31 мм x 35 мм

Плюсы:

- Компактность;
- Эргономичность;
- Автоматическое отключение при неиспользовании в течение 8 секунд;
- Наличие индикатора заряда батареек.

Минусы:

- Хрупкий корпус;
- Монохромный дисплей с отсутствием функции поворота и подсветки;
- Неточность измерений при неправильной фиксации пальца.

### ***Пульсоксиметр Tormed FP-30***

Пульсоксиметр выпускает российский производитель «Топмед». Прибор позволяет с точностью контролировать количество кислорода в крови при пневмонии или ОРВИ. С помощью автоматического отключения после 8 секунд (табл. 3), устройство обеспечивает экономию заряда батареек.

Отличается простотой эксплуатации – устройство достаточно надеть на палец и дождаться вывода на дисплей результатов измерения.

Таблица 3

Основные характеристики пульсоксиметра Torped FP-30

Тип дисплея	Двухцветный OLED
Тип батарейки	AAA 1,5 В
Автовключение после окончания использования через	8 секунд
Индикатор заряда батареи на дисплее	Да
Цифровое отображение значения SpO2 на дисплее	Да
Цифровое отображение пульса на дисплее	Да
Диапазон измерения SpO2	35-99 %
Диапазон измерения пульса	35-250 уд/мин
Диапазон напряжения	2.6–3.6 В
Энергопотребление менее	40 мА
Размер	62 мм x 35 мм x 31 мм

Плюсы:

- Цветной ЖК-дисплей с крупными цифрами;
- Включается нажатием кнопки, отключается автоматически после снятия прищепки с пальца, экономя заряд;
- Возможность изменения положения информации на экране с горизонтального на вертикальное положение путем нажатия кнопки;
- Звуковой сигнал при незавершенном измерении или отсутствия контакта пальца с сенсорами.

Минусы:

- Тугая крышка отсека для батареек;
- Долгое определение показателей у детей, обусловленное маленькими размерами пальцев.

### ***Пульсоксиметр Окситест-1***

Пульсоксиметр Окситест-1 выпускается российским производителем «Медплант». Отличается достоверностью, высокой точностью измерения, небольшим размером, наличием ЖК-дисплея с крупным шрифтом (табл. 4).

Устройство состоит из прищепки и манжеты с возможностью регулировки, что позволяет использовать его для измерения пульса и кислорода в крови взрослым пациентам и детям. Пульсоксиметр имеет встроенный датчик, сигнализирующий при низком заряде батареек, при прерывании контакта с пальцем пациента, низких показателях пульса и кислорода в крови (SpO<sub>2</sub>).

Замеры осуществляются в течение 15 секунд. Погрешность составляет менее 2%, что обеспечивает высокую точность.

Таблица 4

Основные характеристики пульсоксиметра Окситест-1

Тип дисплея	Семисегментный индикатор
Автовыключение после окончания использования через	8 секунд
Индикатор заряда батареи на дисплее	Да
Цифровое отображение значения SPO <sub>2</sub> на дисплее	Да
Цифровое отображение пульса на дисплее	Да
Диапазон измерения SpO <sub>2</sub>	60-100 %
Диапазон измерения пульса	30-250 уд/мин
Размер	137 мм x 67 мм x 34 мм
Кабель для подключения питания	Да
Источник питания	Батарейка ААА 1,5 В, Сеть 220 В 50 Гц

Плюсы:

- Устройство оснащено манжетой, позволяющей проводить измерения у пациентов разной возрастной и весовой категории.
- Высокая точность результатов – погрешность не превышает 2%.
- Измерение уровня кислорода от 20 до 99%.
- Работа от аккумулятора.
- Встроенная защита аккумуляторной батареи от полного разряда и зарядки, обеспечивающая ее долговечность.
- Наличие углового (детского) датчика и защитного чехла из кожзамени-теля.

Минусы:

- Высокая цена;
- Большие габариты корпуса 11,2 x 8,2 x 4 см и вес 300 гр.

### *Пульсоксиметр AngioCode*

Пульсоксиметр оснащен процессором ARM Cortex-M4 и чувствительными сенсорами (табл. 5), обеспечивающими высокую достоверность измерений. Показатели содержания кислорода в крови пациента измеряются с точностью до десятой доли, что дает возможность увидеть и оценить всю картину заболевания, назначив эффективное лечение.

Наличие акселерометра исключает недостоверные измерения – при любом нарушении протокола они фиксируются и регистрируются в качестве ошибок. Благодаря синхронизации результаты измерения можно хранить в облаке, при необходимости обеспечивая к ним дистанционный доступ со стороны врача. Для удобства можно активировать автоматическую синхронизацию с облаком.

Таблица 5

Основные характеристики Пульсоксиметр AngioCode

Тип дисплея	IPS; 240x240 пикс.
Автовключение после окончания использования через	8 секунд
Индикатор заряда батареи на дисплее	Да
Цифровое отображение значения SpO2 на дисплее	Да
Цифровое отображение пульса на дисплее	Да
Диапазон измерения SpO2	35-99 %
Диапазон измерения пульса	30-250 уд/мин
Потребляемый ток (при заряде аккумулятора, при работе с ПК)	не более 200 мА
Размер	110 мм x 50 мм x 30 мм
Кабель для подключения питания	Да
Источник питания	Батарейка AAA 1,5 В, Сеть 220 В 50 Гц
Связь с телефоном	ОС Android (v.6.0 и выше); Bluetooth (v.4.0 и выше)
Подключение к компьютеру	ОС Windows XP/7/8/10
Сохранение данных в облачном хранилище	поддерживается (как со смартфона, так и с ПК)
Электропитание	встроенный Li-Pol аккумулятор или от внешнего источника через usb-кабель

Плюсы:

– Наличие мощного процессора ARM Cortex-M4 и чувствительных сенсоров.

– Уровень измерения кислорода до десятой доли – для сравнения, аналогичные устройства измеряют показатели целым числом.

– Возможность синхронизации с облаком по Bluetooth или при помощи USB-кабеля.

Минусы:

– Высокая цена.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузунов Р.В. Компьютерная мониторинговая пульсоксиметрия в диагностике нарушений дыхания во сне / Р.В. Бузунов, И.В. Легейда, В.А. Ерошина // Кардиология. – 2009. – С. 93-96.
2. Каков С.В. Пульсоксиметрия / С.В. Каков, В.П. Мулер // Вестник новых медицинских технологий. – 2006. – С. 171-172.
3. Шурыгин И.А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. СПб: Невский диалект; М.: Издательство Бином, – 2000. – 301 с.

УДК 616.71

Л. А. ГАБИТОВА

*lays.gabitova.01@mail.ru*

Науч. руковод. – ст. преп. Н. С. ИВАНОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## РАЗВИТИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ

**Аннотация.** Данная статья рассматривает технологию трехмерной печати в медицине. 3D-моделирование в медицине позволяет создавать объемные модели различных органов. Такие технологии способны помогать врачам спасать человеческие жизни. Моделирование позволяет избежать летальных исходов вовремя операции, благодаря более тщательному изучению особенностей пациента.

**Ключевые слова:** Медицинские технологии, медицинское оборудование, трехмерная печать, инновация.

3D-сканирование нашло широкое применение в производстве и научно-исследовательской деятельности, благодаря своей универсальности, точности и удобству применения. 3D-печать начала применяться в медицине с начала 2000-х годов, тогда эта технология впервые использовалась для изготовления зубных имплантатов. С тех пор применение трехмерной печати в медицине значительно расширилось. Применение трехмерных технологий в медицине развивается сразу в нескольких направлениях:

1. Сканирование органов.

2. Изготовление 3D-моделей отсканированных органов. На изготовленных 3D-моделях органов происходит подготовка к операциям с целью наиболее точного определения патологии больных органов и минимизации оперативного вмешательства в организм пациента и исключения летального исхода.

3. Печать имплантатов на основе трехмерных изображений пациента с учетом его функциональных особенностей.

4. Создание искусственных кровеносных сосудов, тканей, вен, костей и даже органов пациента.

Использовать данные объемных изображений в медицине с целью получения физических моделей органов человека было предложено впервые в 1979

году. И хотя 3D-принтеры появились гораздо позже, в то время уже существовали станки с числовым программным управлением, использование которых стало основным способом получения уникальных физических моделей.

Преимущества:

– Помощь практикующимся врачам, медицинским работникам и студентам пошагово рассмотреть проведение хирургического воздействия благодаря высокой точности 3D-печати костей скелета.

– Повышение приживаемости протеза или имплантата исходя из индивидуального изготовления модели по параметрам пациента.

– Создание с помощью 3D-принтера органов и тканей дает надежду пациентам на решение проблемы нехватки доноров, а также снижает риск отторжения.

Недостатки:

– Струйная 3D-печать делает неточный выброс капель и поэтому происходит закупорка распрыскивающего сопла с возможной гибелью клеточного материала. Поскольку вязкие материалы не распрыскиваются, струйная печать на 3D-принтере ограничивается областью применения.

– Недостаток микроэкструзионной 3D-печати является то, что чем плотнее укладываются клетки, тем меньше их выживает. Таким образом при микроэкструзионной печати погибает больше клеток, чем при струйной печати.

– В лазерной 3D-печати содержится повышенное количество металла в клетках от испарения отражающего элемента. Также такой вариант 3D-печати является дорогостоящей процедурой.

Использование 3D-технологий в медицине позволяет минимизировать совершение ошибки врачом во время трудной операции. Это является большим прорывом в области медицины. Так, имея перед собой макет органа, который предстоит оперировать, хирург может намного лучше подготовиться к проведению операции.



Основные технологии трехмерной печати:

– Технология селективного лазерного спекания (SLS) подразумевает использование лазерного луча, который спекает порошковые полимеры в прочное изделие. При такой технологии печати основным материалом является полиамидный порошок.

– Преобразуя смесь порошка и полимера в технологии непрямого лазерного спекания металлов (IMLS), полимер приобретает роль связующего компонента, давая прочность в термической обработке.

– Технология прямого лазерного спекания металла (DMLS) похожа на технологию SLS, однако вместо полимера используются сплавы или соединения с низкой температурой плавления. При обработке сплавов отсутствует операция пропитки. Для данной технологии характерно использование таких материалов как нержавеющая сталь, кобальт-хромовые сплавы, титан.

– Технология стереолитографии (SLA) подразумевает наложение слой за слоем облученной лазером фотополимерной смолы. В такой технологии используются не порошки, а фотополимеры для создания более твердых физических моделей.

– Технология послойного наложения расплавленной нити (FDM) создает модель трехмерного объекта за счет последовательного нанесения тонких слоев друг на друга, при этом повторяя контуры цифровой модели. Для этой технологии характерно использовать термопластик.

– Технология многоструйного моделирования (MJM) представляет собой построение изделия при помощи печатной головки с соплами, которая равномерно выделяет жидкий расходный материал. В данной технологии чаще всего используются такие материалы как термопластик, фотополимерная смола и воск.

На данный момент использование 3D-печати в российской медицине пока не развивается так стремительно, как за рубежом. На сегодняшний день в России наиболее быстрыми темпами растет применение 3D-печати в области сто-

матологии, где оно широко применяется при изготовлении зубных имплантатов. Возможность делать 3D-сканирование ротовой полости и печатать 3D-шаблоны для подготовки к установке зубных имплантатов представлена в ряде крупных городов страны.

В России также осуществляются первые попытки погружения в тему биопринтинга. Основным этапом в распространении технологий 3D-печати в медицине стало создание лаборатории 3D биопринтинга органов в инновационном центре «Сколково». На базе лаборатории будет проходить запуск полнофункционального 3D биопринтера.

Также в 2012 году был организован проект «3D Мед», предназначенный для выпуска на рынок услуг 3D-моделирования и печати в области травматологии для создания обширных моделей органов и протезов частей скелета. В апреле 2012 года участники проекта сообщили, что успешно напечатали на 3D-принтере модель таза человека, получившего серьезные травмы. С помощью модели врачи предварительно смогли выявить дополнительные повреждения, которые не были видны на снимках.

В 2017 году в национальном медицинском исследовательском центре онкологии им. Н.Н. Петрова была проведена пересадка костного имплантата, напечатанного на 3D-принтере. Группа врачей спасла пациента от раковой опухоли, возникшей в соединении тазовых костей. Вместо кости был установлен имплантат из титана, созданный при помощи технологии выборочного лазерного спекания. Основой для создания на 3D-принтере имплантата послужили снимки КТ и МРТ.

Специалисты лаборатории Томского государственного университета создали образец костной ткани с использованием фосфора и кальция. Ученые предположили, что созданная из костей животных ткань, а, следовательно, биосовместимая с человеческим организмом, способна в дальнейшем занять место титановых имплантатов.

В 2016 году нижегородские врачи Приволжского федерального медицинского исследовательского центра провели успешные операции по вживлению в организм пациентов протезов тазобедренных суставов, напечатанных на 3D-принтере.

В клинике при Санкт-Петербургском государственном педиатрическом медицинском университете удачно проводят операции с применением 3D-моделей органов для подготовки к хирургическому вмешательству при пороках сердца. Теперь для спасения пациента вместо нескольких сложных операций понадобится одна - длительная, но с меньшей вероятностью летального исхода.

В последние годы 3D-технологии развиваются с огромной скоростью. Если раньше пользователи приобретали 3D-принтер для развлечения, то теперь устройства используются и в медицине. 3D-принтеры не только упрощают работу, но и помогают медикам спасать жизни. Применение 3D-печати в медицине дает возможность создавать индивидуальные медицинские изделия, лекарства и оборудование, повышает вероятность проведения успешной операции и улучшает доступность медицинской помощи. Трехмерные технологии развиваются практически во всех сферах медицины. Со временем пациенты, срочно нуждающиеся в пересадке донорских органов, смогут не ждать годами подходящих органов, а получить их 3D-модель, напечатанную прямо в больнице.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карякин Н.Н., Горбатов Р.О. 3D-печать в медицине, Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2019, 240 с.
2. Воронцов И.М., Шаповалов В.В., Шерстюк Ю.М. Создание и применение автоматизированных систем для мониторинга и скринирующей диагностики нарушений здоровья, Санкт-Петербург, 2006, 340 с.
3. Стоунхэм М., Уэстбрук Дж. Медицинские манипуляции. Мультимедийный подход, Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2020, 240 с.
4. Каштанов В.А., Контаров Н.А. Моделирование в медицине, Москва: Медицинское информационное агентство, 2019, 160 с.
5. Кузьмин А.В. Трехмерное моделирование и визуализация в медицине – Пенза: Вестник Пензенского Государственного университета, 2015, 20 с.
6. Николаенко А.Н. Применение 3D-моделирования и трехмерной печати в хирургии, Санкт-Петербург, 2018, 44 с.

УДК 616.1

А. И. ГАТАУЛЛИН

aydarcr7@bk.ru

Науч. руковод. – ст. преп. З. Р. МАЛКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## РУССКАЯ ЛАПТА

**Аннотация.** В данной статье рассматривается такой вид спорта как русская лапта. Рассматриваются положительные воздействия на организм человека в следствии игры в лапту. Описаны история и правила данной игры.

**Ключевые слова:** лапта; русская лапта; мини лапта; спорт.

### *Введение*

В настоящее время лапта является официальным видом спорта, который входит в Единую Всероссийскую Спортивную Классификацию и культивируется в более чем в сорока пяти регионах РФ. Проводятся официальные Чемпионаты, Кубки, Первенства РФ. Турниры проводятся на открытых травяных и земляных спортивных площадках, а еще в спортивных залах и манежах. На сегодняшний день «Мастерами спорта Российской Федерации» стали более ста спортсменов, которые деятельно занимаются русской лаптой в нашей стране. В большинстве населенных пунктов и районов РФ открылись секции по русской лапте. Сформирована очень хорошая научно-методическая основа, есть официальный регламент состязаний, всевозможные методические пособия по технической, тактической, физической подготовке спортсменов, методика для судейства, по организации проведения соревнований. По техническим составляющим это самый простой и дешевый вид спорта по сопоставлению с другими спортивными играми. Таким образом, в нашей стране внимание к национальным видам спорта и спортивным играм в последнее время заметно возрождается. Старая русская забава – лапта – тоже достаточно очень быстро восстанавливает былую знаменитость.

### ***История лапты***

Русская лапта – одна из древних национальных спортивных игр, а может быть, и самая древняя. Инвентарь для игры в лапту – это деревянные биты и мячи – были найдены в раскопках Великого Новгорода, датируемых XIV столетием. Ни один праздник на Руси не обходился без игры в лапту и кулачными поединками. Играл в лапту и Петр I, играли солдаты и офицеры Преображенского и Семеновского полков. В Красной армии данная игра применялась в качестве одного из составляющих физической подготовки. 1-я попытка введения официального регламента для русской лапты была предпринята в 1926 году Высшим советом по физической культуре при ВЦИК РСФСР. Первый чемпионат СССР, проведенный в 1958 году, послужил толчком для становления данной игры в городах и регионах государства.

В 1960-1970-е гг. приостановлено развитие лапты, эта народная игра буквально перестает существовать в спортивной жизни. Основная масса государств воспользовались идеей этой игры, усовершенствовали ее, и ныне гигантскую известность имеют такие игры, как бейсбол, крикет и песапалло.

Новый толчок в развитии лапты придал Постановление Госкомспорта СССР от 1987 «О развитии бейсбола, софтбола и русских универсалов».

Ценность лапты в том, что вы можете начать заниматься ею с дошкольного возраста и продолжать заниматься ею на протяжении многих лет жизни. Тем более, что для игры в лапту не требуются дорогие инвентари, определенной спортивной формы и детской площадки, оснащенные оборудованием. Упоминания об этой игре «лапта» есть в произведениях русских писателей. Название «лапта» происходит от наименования палки, которой бьют по мячу. Она была немного похожа на лопату, отсюда, и стали именовать игру «лаптой».

### ***Правила игры в лапту***

Лапта – командная игра с мячом и битой. Играют две команды, каждая команда состоит из десяти спортсменов, один из них капитан. Во время игры на

поле должно быть 6 спортсменов от каждой команды, но не меньше 4-х, которых можно заменить в соответствии с регламентом. Игроки одной из них выбивают битой мяч как можно дальше и в то время пока мяч летит бегут через поле игры и обратно. Игроки противоположной команды пытаются ловить мяч и попасть им в одного из игроков противоположной команды. Одна команда - бьющая, другая – водящая. После удара битой по мячу игрок бьющей команды пытается пробежать до конца поля, где располагается «дом», и затем возвратиться назад. Спортсмен, сделавший такой успешный пробег, приносит команде два балла. В случае если его «осалият» мячом, то команда бьющих идет водить в поле. Одерживает победу команда, набравшая больше баллов за шестьдесят минут игры, разбитой на два тайма. Следовательно, цель одной команды – сделать как можно больше перебежек после совершенных ударов битой по мячу в отведенное для игры время, где каждый спортсмен, сделавший полную перебежку, приносит своей команде баллы. Задача иной команды – не дать соперникам сделать перебежки осаливанием мячом и поймать больше «свечей», при этом, осалив перебежчика, команда получает право на удары и перебежки, в случае если не произойдет ответного осаливания. Бита должна быть деревянной, без обмотки, диаметром пять сантиметров. Диаметр ее рукоятки не менее трех сантиметров, длина – не должна превышать тридцать сантиметров. Спортсмену допускается использовать индивидуальную битку, соответствующий регламентированным размерам.

Обязанности и права игроков:

- Игроки обязаны знать регламент, программу и положения турнира.
- Если игрок не соблюдает правила соревнований или ведет себя некорректно -спортсмену показывается желтая карточка, при повторном нарушении игрок получает красную карточку и снимается с соревнований.
- В случае особо грубых нарушений игрок может быть снят с турнира без предупреждения.

– Спортсмен имеет право связаться с судьями только через капитана команды.

Спортсмены не должны игнорировать указания судей или же проявлять неспортивное поведение:

- обращаться к арбитрам и зрителям;
- трогать арбитра;
- применять ненормативную лексику и оскорбительные жесты;
- изменить свой игровой номер без предупреждения секретаря или главного судьи;
- выходить на игровую площадку в качестве запасного без предупреждения секретаря или главного судьи (если замена не случается во время перерыва между перерывом) или во время одноминутного перерыва.

### ***Площадка для игры в лапту***

Игровое поле для игры в лапту представляет собой прямоугольник, имеющий твердую поверхность (травяное или искусственное покрытие), размерами от сорока до пятидесяти пяти метров и шириной от двадцати пяти до сорока метров. Игровое поле очерчивается хорошо видимыми линиями. Ширина линий разметки пять сантиметров. Площадка должна быть окружена свободной зоной: за линией дома – не менее пяти метров, за боковыми линиями – от пяти до десяти метров, за линией кона – не менее десяти метров. В десяти метрах от линии дома проводится контрольная линия, которая образует «штрафную зону». Штрафная зона - это прямоугольная площадка, с размерами десять метров на от двадцати пяти до сорока метров, необходимая для выявления действительности удара по мячу, т.е. удары действительны, в случае если мяч не попал в штрафную зону. Во время удара спортсмены обороны не могут пребывать в штрафной зоне.

## *Заключение*

В РФ лапта классифицируется на 3 типа:

- пляжная лапта,
- русская лапта,
- мини лапта.

Лапта доступна любому, т.к. включает в себя естественные движения и не требует особой подготовки от спортсменов. Игровые поединки не требуют особой подготовки в спортивном зале или на открытой спортивной площадке.

Для большинства людей РФ лапта уже ничего не значит, потому что они или абсолютно не слышали об этой игре, или играли только в детстве. Нужно развивать лапту, распространять о ней информацию, расширять географию соревнований. Лапта не требует дорогого инвентаря, необходим лишь мяч и бита. Играть в лапту возможно круглый год, во всякую погоду, дома, на даче, в лесу на поляне. Лапта, как и всякий вид спорта, развивает человека во всех смыслах: и физическом уровне, и духовно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт Федерации русской лапты России [Электронный ресурс] – URL: <https://ruslapta.ru/index.php/russianlapta-2/history> (Дата обращения 18.06.2022)
2. Статья про русскую лапту [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D0%BF%D1%82%D0%B0> (Дата обращения 18.06.2022)



Р. Р. ГИЛЯЗЕВА, Н. В. РУЗАНОВА, Д. Ш. БАГАУТДИНОВА

*reginagiliazeva@yandex.ru*

Науч. руковод. – ст. преп. А. И. МЕЗЕНЦЕВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АРТЕФАКТЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ**

**Аннотация.** Данная статья нацелена на изучение, выявление и устранение артефактов, появляющихся на изображениях, воспроизведенных с помощью диагностического аппарата, как компьютерный томограф. Необходимость качественной обработки результатов исследования, приводит к повышению точности измерений и, как правило, к эффективному лечению патологий.

**Ключевые слова:** артефакт, компьютерная томография, медицинские изображения.

Артефакт – явление, предмет, появление которого в данных условиях по естественным причинам невозможно или маловероятно [1].

По мнению Марусины М.Я, Казначеева А.О. артефактами изображений в компьютерной томографии называют любые несоответствия между КТ-числами реконструктивного изображения и истинными коэффициентами ослабления объекта [3].

Среди причин появления артефактов, выделяют - нарушение работы компьютерного томографа; причины, связанные с пациентом; пренебрежение обязанностями инженером в медико-биологической практике.

Реконструкция изображения в компьютерном томографе происходит методом суммирования измерений, полученных детекторами, что приводит к появлению нежелательных ошибок в процессе получения данных. Как показала практика, артефакты могут проявляться в виде полос (выпадение группы вокселей), кольцевых теней (выпадение одного вокселя), зашумлений (постепенное отклонение группы каналов), искажений (спиральная реконструкция).

По своей природе возникновения артефакты можно поделить на группы:

- аппаратная неисправность (сбой калибровки аппарата);
- динамические искажения, связанные с движением пациента (блокировка вращения аппарата во время исследования посторонним предметом);

– физические процессы, принимающих участие в сборе и обработке данных.

Рассмотрим методы устранения обозначенных групп артефактов.

Опишем артефакты, вызванные аппаратной неисправностью. Неоткалиброванный детектор компьютерного томографа может дать последовательное нарушение в качестве изображения и ошибку считывания в каждом угловом положении, что приводит к появлению кругового артефакта. Данный артефакт можно устранить калибровкой детекторов сканера.

Опишем артефакты, вызванные динамическими искажениями, связанными с движением пациента. Движение пациента во время исследования дает артефакты в виде полос или размывания изображения. При произвольном движении, компьютерная система не способна поместить полученное значение в соответствующую ячейку. Примером могут послужить двойные контуры, размывание части или всего изображения, «линия перелома» по срединной линии нижней челюсти.

Произвольное движение пациента можно компенсировать использованием высокоскоростных томографов с временем сканирования более коротким относительно периода сердечного цикла и синхронизацией по времени процесса сбора данных.

Рассмотрим артефакты, вызванные физическими процессами. К этой группе артефактов относятся артефакты увеличения жесткости излучения, частичного объема, затухания фотона и артефакт подвыборки.

Артефакт увеличения жесткости излучения возникает из-за использования в КТ полиэнергетического рентгеновского спектра с энергией приблизительно от 25 кэВ до 120 кэВ. Артефакт проявляется на изображении в виде впадин и темных полос между плотными объектами, вызванными более сильным поглощением излучения в середине однородного объекта, чем по краям, т.к. лучи проходят через большую толщину. Это вызвано тем, что луч, проходящий через один из объектов при одном положении трубки, ослабляется меньше, чем,

когда он проходит через оба объекта при другом положении трубки. Чаще артефакт проявляется вблизи костей и при использовании контрастных веществ.

Артефакт увеличения жесткости излучения устраняется фильтрацией низкоэнергетических компонентов до их прохождения через тело пациента и использованием цилиндрических фантомов различных размеров, позволяющих откалибровать детекторы для компенсации эффектов поглощения различными частями тела пациента.

Артефакт частичного объема появляется, если в вокселе присутствуют ткани с разным коэффициентом ослабления. В этом случае имеют дело со средневзвешенным значением.

Существует несколько подходов к снижению артефактов частичного объема: использование модели сегментации; использование более тонких срезов.

Артефакт затухания фотона проявляется в виде сильных полос в областях с плотными объектами. Полосы расположены горизонтально, т.к. при таком распространении луча затухание сильнее и детекторы достигают недостаточное количество фотонов. В результате под этим углом получают зашумленные проекции, а реконструкция усиливает шум, что приводит к горизонтальным полосам на изображении. Артефакт можно устранить путем увеличения тока на трубке, но в этом случае возрастает доза облучения пациента. На спиральных КТ для устранения артефакта используется метод многомерной адаптивной фильтрации.

Артефакт подвыборки. Его следует избегать в случае, если важно получить высокое разрешение мелких деталей. Артефакт менее заметен при увеличении числа проекций, получаемых за один оборот трубки (иногда достигается снижением скорости вращения). Другой способ его устранения – использование специализированных методов повышения разрешения (сдвиг на  $\frac{1}{4}$  детектора или смещаемое фокальное пятно), разработанных производителями оборудования.

Таким образом, артефакты в компьютерной томографии могут ухудшить качество изображений из-за множества факторов. Важно детально разобраться во всех причинах возникновения артефактов, на основании которых возможно сформировать наиболее точную классификацию.

На данный момент, ведущие компании-производители компьютерных томографов успешно повышают точность сканирования, снижая вероятность получения артефактов. В свою очередь, повышается качество оказываемых медицинских услуг, что позволяет выявлять патологии на более ранней стадии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артефакты и искажения при конусно-лучевой компьютерной томографии// Официальный сайт «Институт дентальной рентгенологии» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dentalxray.university/a2> (Дата обращения: 10.09.2022).
2. Кокорев П. А. Анализ артефактов изображений в компьютерной томографии. / П.А. Кокорев. // Научно технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2008 - Т.- № 47 – С. 84 – 87.
3. Марусина М.Я., Казначеева А.О. Современные виды томографии. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 152 с.
4. Barret J.F., Keat N. Artifacts in CT: Recognition and avoidance // Radio Graphics. – 2004. – Vol. 24. – P.1679-1691.

А. А. ДИБАЕВА  
*dibaeva.a@gmail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Е. С. МОРОЗОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ДОПЛЕРОГРАФИИ И НАРУШЕНИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ**

**Аннотация.** Объектом исследования является кровеносная система человека. Проведен аналитический обзор физиологических основ доплерографии и нарушений сердечно-сосудистой системы, перечислены наиболее распространенные виды нарушений кровеносной системы. В частности, рассмотрены стенозирующие поражения артерий, а также тромбоз вен. Рассмотрены особенности доплерографии сердечно-сосудистой системы.

**Ключевые слова:** доплер, доплерография, кровеносная система, скорость кровотока, измерение скорости кровотока, ультразвуковой датчик, ультразвуковое исследование.

Полное обследование всех систем необходимо для выявления периферических и системных проявлений сердечно-сосудистых заболеваний и признаков других патологий, которые могут оказывать негативное влияние на сердце. Наиболее информативным подходом является функциональная диагностика кровеносной системы, включающая в себя сбор анамнеза пациента, лабораторную диагностику крови и исследование сосудов с помощью медицинских анализаторов [1].

Наиболее часто стенозирующие поражения обнаруживаются в плечевой артерии, плечевой вене, а также в сосудах бедра (представлено на рис. 1) [2].

Атеросклеротические процессы локализуются преимущественно в крупных сосудах (аорта, подвздошные артерии) или артериях среднего калибра (бедренные, подколенные артерии) (представлено на рис. 2) [3].

Еще одним заболеванием, приводящим к нарушению кровотока является атеросклероз артерий. Он сопровождается образованием атеросклеротических бляшек, снижением либо окончательным прекращением кровотока в артериях, нарушением трофики. Выделяют несколько стадий развития данного заболевания (представлено на рис. 3) [4].

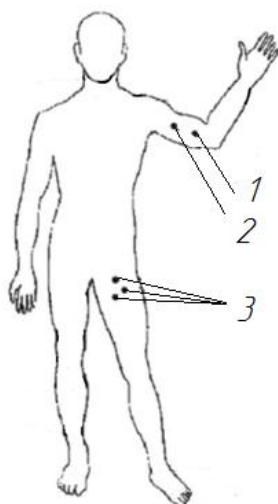


Рис. 1. Расположение кровеносных сосудов:  
 1 – плечевая артерия, 2 – плечевая вена, 3 – сосуды бедра: огибающая подвздошную кость бедренная артерия (ОБА), поверхностная бедренная артерия (ПБА), глубокая бедренная артерия (ГБА)

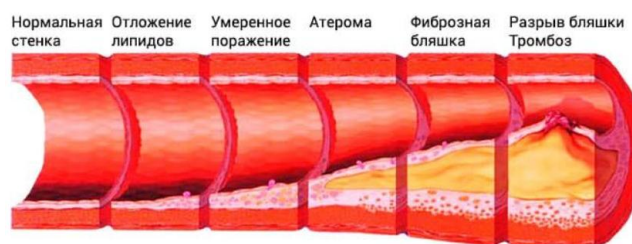


Рис. 2. Стадии развития атеросклероза артерии



Рис. 3. Стеноз плечевой вены

При тромбофлебите происходит формирование внутрисосудистых свертков крови с воспалением стенки вены и образованием тромба, закрывающего ее просвет [5, 6].

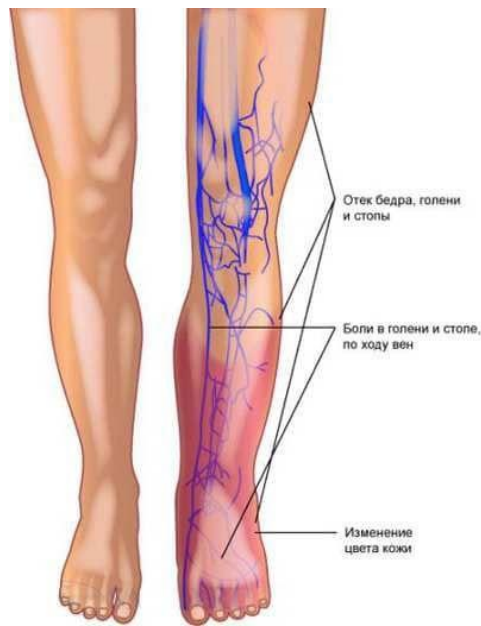


Рис. 4. Тромбофлебит глубоких вен

Патологическое сужение сосудов отражается на показателе линейной скорости кровотока, поскольку, по закону гемодинамики, он обратно пропорционален сопротивлению сосудов. При снижении проходимости сосуда до некоторого критического уровня возникает ишемия с исходом в некроз. Этот критический уровень неодинаков для различных участков тела человека [7]. В клинических исследованиях показано, что у человека критическая скорость кровообращения, при которой появляется неврологическая симптоматика, составляет от 4 до 6 л/мин.

Для определения скорости кровотока используется Эффект Доплера, для этого ультразвуковой датчик прикладывают к пациенту в области исследуемого сосуда. Отражаясь от движущихся эритроцитов, ультразвук, принимаемый устройством, соответственно меняет частоту [8]. Это позволяет получить информацию о скорости движения крови по исследуемому участку сосудистого русла, направлении движения крови, объеме кровяной массы, движущейся с определенными скоростями, и, исходя из этих параметров, обосновывать суждение о нарушении кровотока, состоянии сосудистой стенки, наличии атеросклеротического стеноза или закупорке сосудов, а также оценить коллатеральное кровообращение (показано на рис. 5) [9].

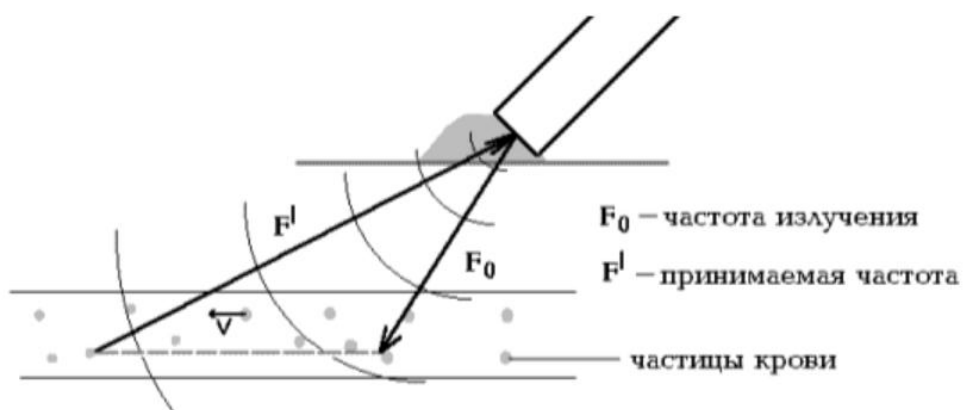


Рис. 5. Схема эффекта Доплера

Таким образом, доплерография является безопасным и информативным методом диагностики сосудистой системы человека.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лелюк В. Г., Лелюк С. Э. Ультразвуковая ангиология. – М.: Реальное время, 2003. – 322 с.
2. Щеголев А. А., Аль-Сабунчи О. А., Квитивадзе Г. К. и др. Острые тромбозы магистральных вен: Методические рекомендации. – М.: РГМУ, 2015. – 23 с.
3. Куликов В. П. Ультразвуковая диагностика сосудистых заболеваний. — М.: Стром, 2017. – 512 с.
4. Аминова Г. Г. Морфологические основы регуляции кровотока в микроциркуляторном русле // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2015. – №4 (8). - С. 80–84.
5. Андожская Ю. С., Гирина М. Б., Гирин И. И. Консервативные методы коррекции микроциркуляции у больных с хроническими облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей // Мат. науч.-пр. конф. СПб., 2018. – С. 8–10.
6. Баранцевич Е. Р., Алексеева Е. С. Оценка микроциркуляции у больных с диабетической полиневропатией // Мат. науч.-практ. конф. «Методы исследования регионарного кровообращения и микроциркуляции». – СПб., 2019. – С. 10-11.
7. Басараб Д. А., Мациевский Д. Д. Ультразвуковое исследование коронарного кровотока в кардиохирургии/УБюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Приложение, 2018. - Т.9, №6. – С. 154.
8. Галкин Р. А., Макаров И. В., Опарин А. Н. Количественная и качественная оценка регионарного кровотока методом ультразвукового доплеровского исследования артерий нижних конечностей // Мат. науч.-практ. конф. СПб., 2018. – С. 15-17.
9. Гирина М. Б., Морозова Е. А. Перспективы развития ультразвуковой высокочастотной доплеровской флоуметрии // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2020. -т.4. №1 (13). – С.42-49.
10. Харченко В. П., Зубарев А. Р., Котляров П. М. Ультразвуковая флебология. – М.: Эники, 2016. – 176 с.



УДК 616-71

А. А. ДИБАЕВА  
*dibaeva.a@gmail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Е. С. МОРОЗОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

**Аннотация.** Объектом исследования является кровеносная система человека. Проведен аналитический обзор технических средств диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

**Ключевые слова:** доплер, доплерография, кровеносная система, скорость кровотока, измерение скорости кровотока, ультразвуковой датчик, ультразвуковое исследование.

Полное обследование всех систем необходимо для выявления периферических и системных проявлений сердечно-сосудистых заболеваний и признаков других патологий, которые могут оказывать негативное влияние на сердце. Наиболее информативным подходом является функциональная диагностика кровеносной системы, включающая в себя сбор анамнеза пациента, лабораторную диагностику крови и исследование сосудов с помощью медицинских анализаторов [1].

Своевременное обнаружение отклонения показателя скорости от нормы является профилактикой осложнений сосудистых нарушений. Современные медицинские анализаторы способны определить скорость кровотока с высокой точностью [2].

Для диагностики сердечно-сосудистой системы применяются инвазивные (радионуклидные) и неинвазивные (оптический и ультразвуковой) методы сканирования [3].

Радионуклидная диагностика – один из видов лучевой диагностики, основанный на внешней радиометрии излучения, исходящего из органов и тканей после введения радиофармацевтических препаратов непосредственно в организм пациента. Технологии радионуклидной диагностики являются функциональными и физиологичными (т.е. не влияющими на течение нормального или

патологического процесса жизнедеятельности органа). Однако данный метод имеет ряд противопоказаний, связанных с необходимостью введения через катетер контрастного препарата. Неинвазивная диагностика, в свою очередь, не имеет ограничений и при этом не менее эффективна, чем радионуклидная и поэтому предпочтительна для обследования периферических сосудов [4-6].

К неинвазивным методам анализа кровеносной системы относятся оптическая когерентная томография (ОКТ) и ультразвуковая доплерография (УЗДГ) (представлено на рис. 1) [7].



Рис. 1. Виды диагностики периферических кровеносных сосудов

Конструктивно датчики подразделяются на работающие в непрерывно-волновом и импульсном режимах.

Первые состоят из двух активных элементов, расположенных вплотную и под некоторым углом друг к другу, а вторые имеют в своем составе только один пьезоэлемент, поочередно работающий то на прием, то на передачу сигналов (представлено на рис. 2) [8].

В промышленности широко применяются импульсные датчики, поскольку они позволяют осуществлять эхолокацию на различных глубинах мягких тканей в зависимости от выбранной частоты излучения генератора (представлено в табл. 1). Постоянно-волновые датчики, в свою очередь, имеют только одну рабочую частоту, что связано с их конструктивными особенностями.

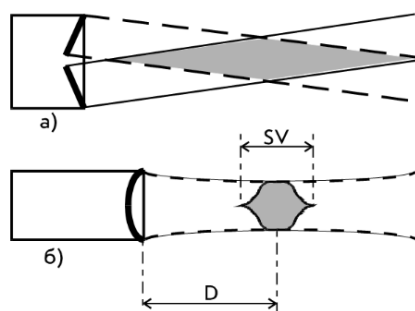


Рис. 2. Схемы непрерывно-волнового (а) и импульсного (б) доплеровских датчиков

Таблица 1

Зависимость частоты и глубины проникновения ультразвука  
от толщины пьезоэлемента

Толщина, мм	1,000	0,500	0,250	0,200	0,125	0,100
Частота, МГц	2	4	8	10	16	20
Глубина проникновения УЗ в мягкие ткани, см	4÷10	1÷3		Менее 1		
Доступная область об- следования	Сосуды мозга, плацентарный кровоток	Крупные перифе- рические сосуды		Мелкие перифериче- ские сосуды		

Импульсные датчики подразделяются на «слепые» и цветокодирующие. От вида импульсного датчика и алгоритма вычислительного блока зависит функциональность прибора. Таким образом, медицинские доплеры делятся на три вида: «слепые», дуплексные и триплексные [9].

Главным критерием сравнения ультразвуковых анализаторов является функциональность прибора: количество определяемых показателей, наличие или отсутствие блока формирования изображения, портативность, совместимость с другими устройствами [10].

Выделяют три вида ультразвукового исследования [11]:

– Ультразвуковая доплерография (УЗДГ). Исследование, позволяющее изучить только одну функцию – проходимость сосуда на основании графика прохождения потока крови. Выполняется вслепую, датчик ставится на точки приблизительной проекции сосуда. При выявлении нарушения проходимости сосуда невозможно уточнить причину этого нарушения. Нет визуализации сосудов.

– Дуплексное сканирование сосудов (УЗДС – ультразвуковое дуплексное сканирование). На экране виден сосуд – можно оценить не только его проходимость, но и причины нарушения проходимости: извитости хода, утолщение стенок (стеноз), наличие тромбов, бляшек, аномалий развития, установленные стенты, послеоперационные стыки сосудов и т.д., а также оценить скорость и направление кровотока (как УЗДГ), т.е. одновременно выполнить две функции (дуплекс).

– Триплексное сканирование. В отличие от дуплекса, отображается цветное изображение – выполняется более точная диагностика проходимости сосудов, степени стеноза. Одновременно выполняются три функции (триплекс): исследование анатомии сосудов; оценка кровотока; точная оценка проходимости сосудов в цветовом режиме.

Анализ технических средств диагностики сердечно-сосудистых заболеваний показал, что наиболее безопасным и информативным методом диагностики сосудистой системы человека является ультразвуковая доплерография.

В результате аналитического обзора ультразвуковых анализаторов было установлено, что наиболее оптимальным конструктивным решением ультразвукового доплера является портативный прибор с функцией дуплексного сканирования сосудов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медицинские лабораторные технологии и диагностика, под ред. А. И. Карпищенко. Справочник, т 1, С. Петербург, 2018 г.
2. Энергетическая доплерография – новая диагностическая технология визуализации кровотока. // В сб.: Новые диагностические технологии. Организация службы функциональной диагностики. – Москва. – 2016. – С. 32
3. Медицинские лабораторные технологии и диагностика, под ред. А. И. Карпищенко. Справочник, т 1, С. Петербург, 2018 г.
4. Фомина Е. Е. Ультразвуковое дуплексное сканирование в диагностике и оценке результатов хирургического лечения варикозной болезни вен малого таза / Автореф. Дисс. К.м.н. – Казань: КГМА, 2019. – 20 с.
5. Шумилина М. В. Комплексная ультразвуковая диагностика патологии периферических сосудов. Учебно-методическое руководство. – М.: НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН. – 2017. – 310 с.

6. Акимов А. Г., Батурич Л.А. Некоторые методологические аспекты лазерной доплеровской флоуметрии // Материалы третьего Всероссийского симпозиума: "Применение лазерной доплеровской флоуметрии в медицинской практике". М., 2016. – С. 18–19.
7. Александров П. Н. Регуляция микроциркуляции в условиях патологии // Чтения им. Чернуха. М., 2015. – С. 23-27.
8. Козлов В. И., Азизов Г. А. Механизм модуляции тканевого кровотока и его изменение при гипертонической болезни//Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2020 – №4 (8). - с. 53-59.
9. Козлов В. И. Система микроциркуляции крови: клиничко-морфологические аспекты изучения // Региональное кровообращение и микроциркуляция. 2019. - Т.5, №1. – с. 84-101.
10. Козлов В. И., Азизов Г. А., Ибрагим Р.Х. и др. Индивидуально-типологические особенности микроциркуляции у человека // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2021. – Т. 13, №1. – С.77-78.
11. Козлов В. И., Гурова О. А., Азизов Г. А. и др. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния микроциркуляции крови // Мат. науч.- практ. конф. «Методы исследования регионарного кровообращения и микроциркуляции». СПб., 2018. – с. 71.

УДК 616.7

Ю. О. ИСХАКОВА

*yulia.ishakova00gmail.com*

Науч. руковод. – ст. преп. Н. С. ИВАНОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СИСТЕМА КОНТРОЛЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИНСУФФЛЯЦИИ ГАЗА**

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены патенты устройства для проведения инсуффляции газа и проанализированы их структурные схемы, представлена разработанная структурная схема системы контроля устройства для проведения инсуффляции газа и ее принцип работы. **Ключевые слова:** устройство для проведения инсуффляции газа, инсуффлятор, система контроля инсуффлятора, структурная схема.

В современном мире существенной проблемой здоровья человечества являются болезни органов брюшной полости, включая онкологию. С технической точки зрения, это решается расширением рынка медицинской техники различными эндохирургическими устройствами с минимальной инвазивностью, применяемые в диагностике и лечении абдоминальных заболеваний. Сейчас в клинической практике чаще всего используются лапароскопические технологии, где происходит осмотр внутренних органов путем введения лапароскопа напрямую в орган через небольшие проколы.

В настоящее время существуют множество медицинских приборов, облегчающие проведение операций и обеспечивающие удобство эксплуатации. Однако в каждой эндохирургической операции необходимо устройство, которое создает и поддерживает оперативное пространство для последующего введения хирургических инструментов внутрь. С такой целью используется инсуффлятор – автоматический прибор для накачки газа в брюшную полость оперируемого. Инсуффлятор регулирует поток газа с оптимальной и главное физиологически допустимой скоростью, в соответствии с выбранным значением внутрибрюшного давления.

Рассмотрели патенты устройства для проведения инсуффляции газа.

1. Патент №2 279 293 [1]. Аппарат для инсуффляции, структурная схема которого изображена на рисунке 1, содержит 1 – источник газа высокого давления; 2 – редуктор; 3 – манометр; 4 – устройство подготовки газа; 5 – понижающий стабилизатор давления; 6 – счетчик расхода газа; 7 – регулируемый стабилизатор абдоминального давления; 8 – ресивер; 9 – предохранительный клапан; 10 – пневмотумблер; 11 – инсуфлируемая полость; 12 – датчик абдоминального давления; 13 – индикатор; 14 – блока питания.

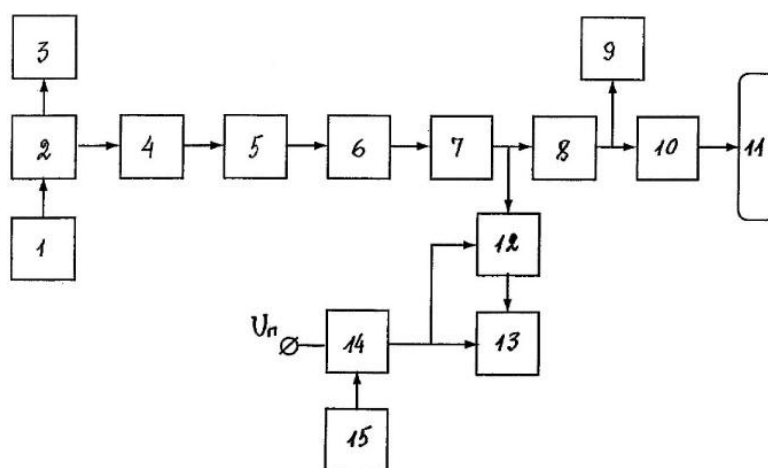


Рис. 1. Структурная схема аппарата для инсуффляции

2. Патент №2 695 626. Вихревой инсуффлятор [2].

В данном патенте используется вихревой эффект Ранка-Хилша, где происходит разделение газа или жидкости на две фракции при закручивании в рабочей камере вихревой трубки Ранка-Хилша, образуя на периферии поток с большой температурой (до  $+50^{\circ}\text{C}$ ), а в центре - охлажденный поток (температура до  $-40^{\circ}\text{C}$ ), закрученный в противоположную сторону. Такой эффект применяется для создания рабочего диапазона требуемых давлений и позволяет осуществлять плавную регулировку их с помощью входного воздушного редуктора, а также обеспечивает подогрев поступающего в полость газа.

Структурная схема вихревого инсуффлятора изображена на рисунке 2.

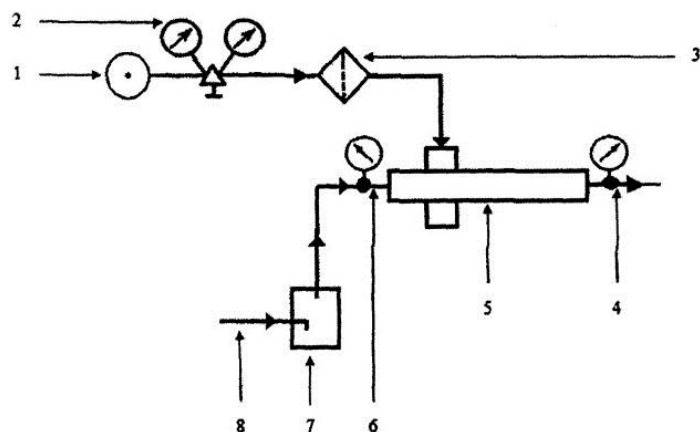


Рис. 2. Структурная схема вихревого инсуффлятора:  
 1 – источник газа высокого давления; 2 – регулировочный газовый редуктор / с манометрами; 3 – фильтр для осушения и очистки воздуха; 4 – первый контрольный манометр; 5 – камера вихревой трубки Ранка-Хилша; 6 – второй контрольный манометр; 7 – приемный сосуд; 8 – полимерная трубка

3. Патент №176 788. Инсуффлятор с микропроцессорным управлением [3].

Данный инсуффлятор отличается от остальных тем, что в нем управление аппаратом производится с помощью микропроцессора. Отображение различных показателей выполнено в виде сенсорного экрана. Для более подробного изучения представлена структурная схема инсуффлятора с микропроцессорным управлением на рисунке 3.

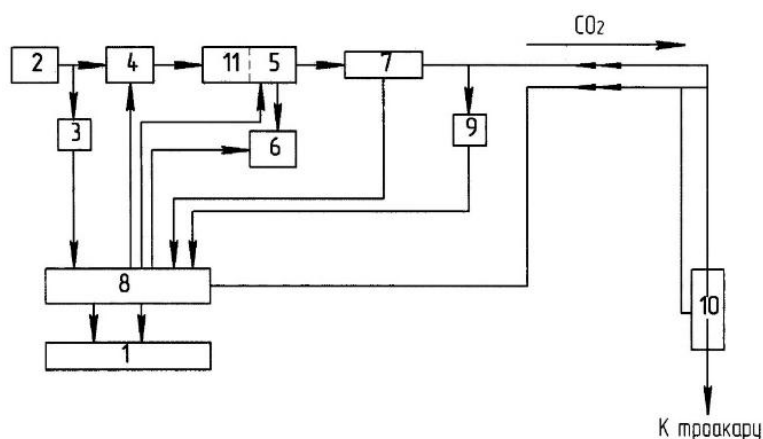


Рис. 3. Структурная схема инсуффлятора с микропроцессорным управлением:  
 1 – информационная панель со средствами для отображения данных и ввода команд; 2 – входной редуктор высокого давления; 3 – входной датчик давления; 4 – узел отсечного клапана; 5 – узел пропорционального клапана и понижающего редуктора; 6 – клапан сброса давления; 7 – расходомер; 8 – микропроцессор; 9 – выходной датчик давления; 10 – нагревательный элемент; 11 – понижающий редуктор



В результате анализа патентов устройства для проведения инсuffляции газа были установлены их достоинства и недостатки, которые показаны в таблице 1.

Таблица 1

	Аппарат для инсuffляции	Вихревой инсuffлятор	Инсuffлятор с микропроцессорным управлением
Достоинства	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность установки конкретного значения абдоминального давления, выбираемое врачом, исходя из собственного опыта или состояния пациента;</li> <li>2. Контроль за расходом газа;</li> <li>3. Наличие предохранительных элементов.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Простота конструкции;</li> <li>2. Отсутствие подвижных частей.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наличие информационной панели;</li> <li>2. Защита от превышения давления;</li> <li>3. Автоматическое регулирование и поддержание давления.</li> </ol>
Недостатки	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нет контроля температуры подаваемого газа;</li> <li>2. Отсутствие удобного управления всеми структурными элементами;</li> <li>3. Нет индикации заданных и фактических параметров работы прибора.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нет контроля температуры подаваемого газа;</li> <li>2. Отсутствие контроля за расходом газа;</li> <li>3. Нет обеспечения безопасности в аварийных ситуациях;</li> <li>4. Отсутствует удобная и наглядная индикация показателей давления газа;</li> <li>5. Нет источника резервного питания.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствует источник резервного питания в аварийных ситуациях;</li> <li>2. Нет контроля температуры подаваемого газа.</li> </ol>

Особенно важной частью внутренней схемы устройства для проведения инсuffляции газа является система контроля, так как именно она обеспечивает комфорт работы хирурга, надежность и безопасность для пациента.

Структурная схема системы контроля инсuffлятора представлена на рисунке 4.

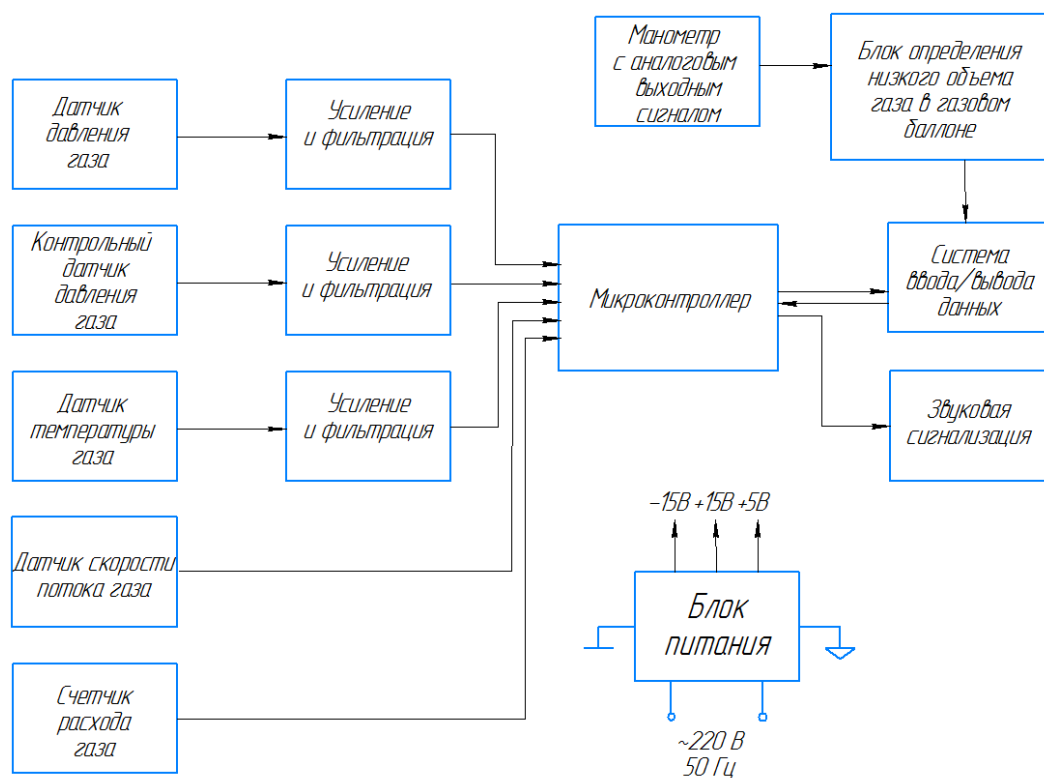


Рис. 4. Структурная схема разрабатываемой системы контроля инсуффлятора

Сначала осуществляется установка таких параметров, как давление, скорость потока и расход газа с помощью системы ввода/вывода данных. После определяется уровень наполненности газового баллона: сигнал с манометра поступает на блок определения низкого объема газа, чтобы при недостатке газа предупредить о замене газового баллона. Следующими этапами являются снижение высокого давления газа и стабилизация давления газа, вследствие чего выполняется проверка датчиком давления газа. Скорость потока газа контролируется с помощью датчика скорости потока газа. Далее газ проходит через счетчик расхода газа, с помощью которого определяется количество используемого газа во время проведения операции. Дальше происходит подогрев газа, который контролируется блоком датчика температуры. В завершении газ проходит проверку контрольным измерением датчиком давления и подается в полость тела. В случае аварийной ситуации, например, отклонение измеренных значений датчиков от установленных значений, срабатывает блок звуковой сигнализации. Аналоговые сигналы с датчиков, перед тем как поступать на микроконтроллер, проходят через блоки усиления и фильтрации.

В заключение, хочется сказать, что не стоит недооценивать важность в клинической практике таких вспомогательных, но также необходимых устройств, как инсуффлятор. Желательно, чтобы на данный момент появлялось больше полезных разработок с улучшениями и модификациями, которые устраняют технические недостатки, мешающие при лапароскопических операциях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медицинский инсуффлятор: заявка 2005113624/14 Рос. Федерация: МПК А61М 13/00 / Бадю Ефим Иосифович (RU), Иванилов Андрей Анатольевич (RU), Касимов Асим Мустафаевич (RU), Куликов Дмитрий Георгиевич (RU), Попов Александр Иванович (RU). №2 279 293; заявл. 04.05.2005; опубл. 10.07.2006, Бюл. №19.
2. Вихревой инсуффлятор: заявка 2018146152 Рос. Федерация: МПК А61М 13/00 / Туев Михаил Алексеевич (RU), Ворончихин Сергей Геннадьевич (RU). №2 695 626; заявл. 24.12.2018; опубл. 24.07.2019, Бюл. №21.
3. Инсуффлятор с микропроцессорным управлением: заявка 2017107893 Рос. Федерация: МПК А61М 13/00 / Лисенко Александр Владимирович (RU), Андреещев Александр Николаевич (RU). №176 788; заявл. 10.03.2017; опубл. 29.01.2018, Бюл. №4.

А. И. КИНЖАЛЕЕВА, С. В. ФЕДОРОВ

*proinfosystem@gmail.com*

Науч. руковод. – канд. техн.наук С. В. ФЕДОРОВ

*Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» в г. Кумертау*

## **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРИБОРАМИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ БИОПОТЕНЦИАЛОВ В ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ**

**Аннотация.** В статье описана методика регистрации биопотенциалов возникающих в сердце, используемая в электрокардиографии. Описана схема прибора, применяемого для электрокардиографии, и принцип работы данной схемы. Выявлены недостатки схемы связанные с использованием большого количества переключающих реле, что приводит к усложнению системы управления для переключения между отведениями электродов. Также недостатком является использование классических операционных усилителей в схеме, поскольку они обладают низким значением коэффициента ослабления синфазного сигнала и высоким значением напряжения смещения нуля. Предложено наиболее перспективное решение данных проблем, заключающееся в применении мультидифференциальных операционных усилителей в качестве усилителей для измерения биопотенциалов сердца.

**Ключевые слова:** электрокардиография; регистрация биопотенциалов; прибор для измерения биопотенциалов; операционные усилители; мультидифференциальные операционные усилители.

Электрокардиография (ЭКГ) является одним из ведущих методов инструментального исследования сердечно-сосудистой системы, который остается наиболее распространенным и доступным для широкого круга людей. В основе этой методики лежит регистрация биопотенциалов возникающих в сердце. Несмотря на достаточную сложность интерпретации информации получаемой с помощью ЭКГ, есть достаточно простые методики, позволяющие по биоэлектрической активности сердца оценить состояние не только сердечно-сосудистой системы (ССС) но и организма в целом. Последние достижения, в области регистрации и обработки данных, позволяют выводить результаты исследования в очень удобной форме, вплоть до готового диагноза.

На рисунке 1 показана схема прибора для измерения биопотенциалов сердца. Данная схема позволяет поочередно регистрировать до семи ЭКГ отведений.

Схема состоит из коммутатора ЭКГ отведений с электронным управлением и усилителя биопотенциалов. В качестве усилителя используются два операционных усилителя (ОУ) К140УД13 и К284УД1А. Данные операционные усилители разработаны для применения в биомедицинской аппаратуре.

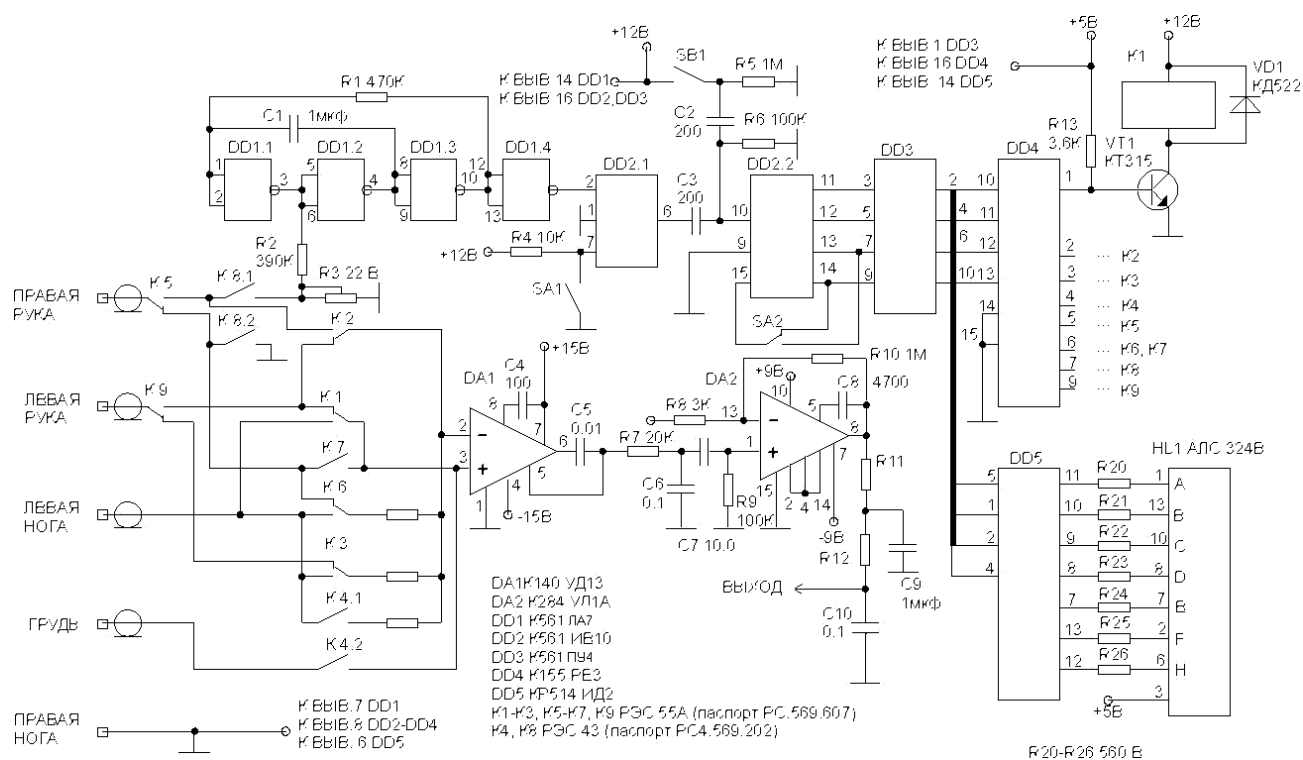


Рис. 1. Электрическая схема измерения биопотенциалов сердца

Данный прибор позволяет осуществлять подключение до пяти электродов. Переключение между ЭКГ отведениями осуществляется за счет герконовых реле К1-К9. Управление данными реле производится микросхемой ПЗУ DD4, в соответствии с кодом, поступающим с выводов 11-14 счетчика DD2.2.

К недостаткам данной схемы можно отнести:

1. Использование классических операционных усилителей, которые обладают низким значением коэффициента ослабления синфазного сигнала и высоким значением напряжения смещения нуля.

2. Использование большого количества переключающих реле и, соответственно, сложность системы управления для переключения между ЭКГ отведениями.

Решением первого недостатка является применение вместо операционных усилителей инструментальных усилителей, таких как инструментальный усилитель производства компании TexasInstruments - INA333. Однако данный усилитель сложнее в производстве, чем операционный усилитель. Он также имеет два входа, как и обычный ОУ. Поэтому не позволяет избавиться от второго недостатка.

Наиболее перспективным решением является применение мультидифференциальных операционных усилителей (МОУ) в качестве усилителей для измерения биопотенциалов сердца. Отличие мультидифференциальных операционных усилителей от классических заключается в наличии дополнительных дифференциальных каскадов в их внутренней структуре [1]. На рисунке 2 приведен пример МОУ на базе ОУ КР140УД1А [2, 3].

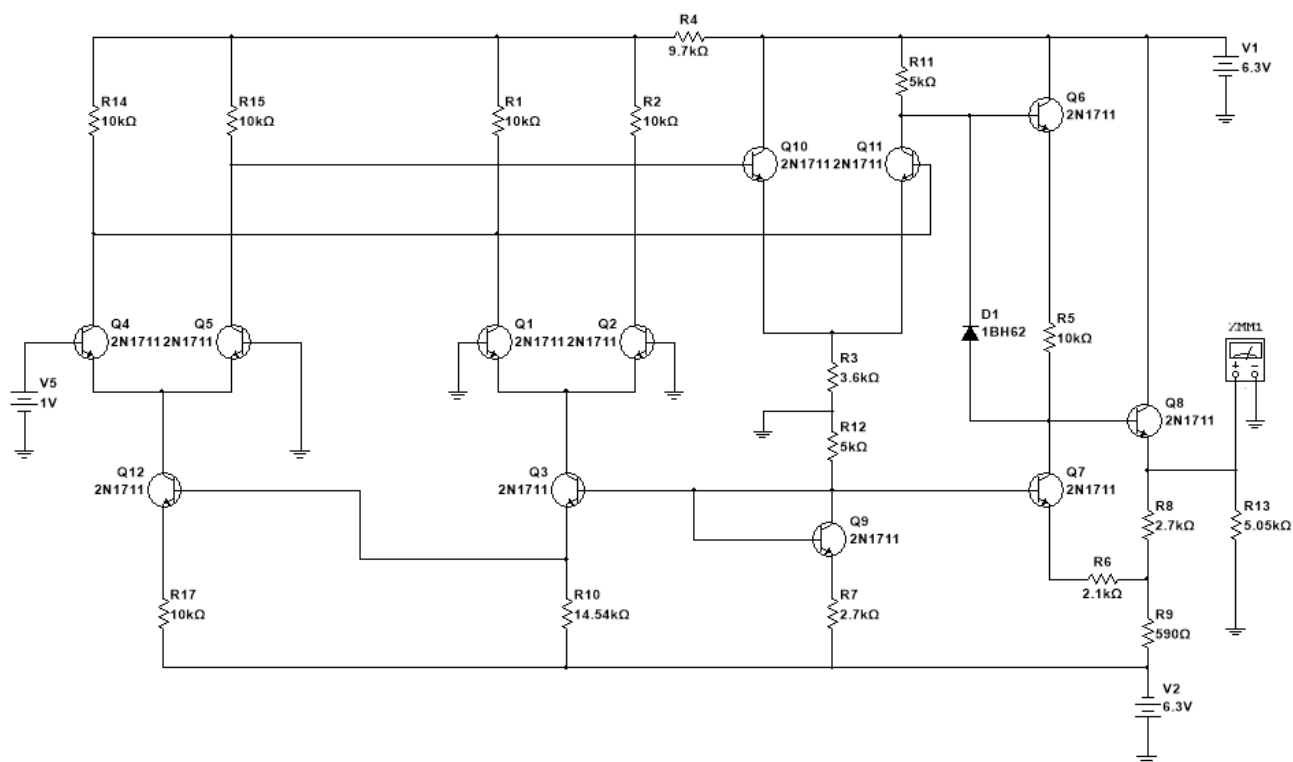


Рис. 2. Схема мультидифференциального усилителя на базе ОУ КР140УД1А

Условная схема МОУ представлена на рисунке 3 [4].

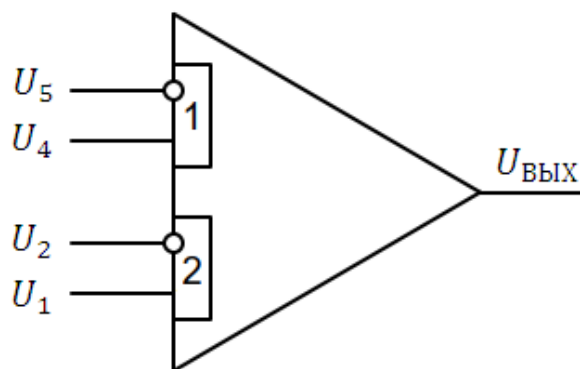


Рис. 3. Условное обозначение МОУ

Данный МОУ позволяет подключать одновременно два ЭКГ отведения вместо одного. Для увеличения количества подключений необходимо увеличить число дифференциальных каскадов в структуре МОУ.

Помимо этого, сравнение параметров традиционных операционных усилителей и современного инструментального усилителя INA333 с аналогичными для представленного МОУ показывает, что параметры МОУ превосходят по качественным показателям (таблица 1) [4, 5]. Это означает, что МОУ более перспективнее, чем традиционные инструментальные усилители. Также МОУ позволяют избавиться от сложной структуры ИУ на базе трех или четырех ОУ.

Таблица 1

Сравнение параметров МОУ с операционными и инструментальными усилителями

№	Параметры операционного усилителя	Справочные данные ОУ К140УД13	Справочные данные ОУ К284УД1А	Экспериментальные данные для МОУ на базе ОУ КР140УД1А	Инструментальный усилитель INA333
1	Напряжение питания	$\pm 15\text{В}$	$\pm 9\text{В}$	$\pm 6,3\text{В}$	Минимальное – 1,8В. Максимальное – 5,5В
2	Напряжение смещения нуля	$\leq \pm 50\text{мкВ}$	10мВ	$\approx \pm 0,17\text{мкВ}$	25 мкВ
3	Коэффициент усиления напряжения	10	20000	Для первого дифференциального каскада - 515,42 Для второго дифференциального каскада - 542,77	1000
4	Коэффициент ослабления синфазного входного напряжения	$\leq 90\text{дБ}$	60дБ	Для первого дифференциального каскада $\geq 110,57\text{дБ}$ Для второго дифференциального каскада $\geq 101,71\text{дБ}$	100дБ

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о необходимости разработки приборов измерения биопотенциалов сердца с использованием в мультидифференциального операционного усилителя. Внедрение МОУ приведет к упрощению схемы путем избавления от сложной системы переключения ЭКГ отведений. Также использование МОУ приведет к повышению точности и помехозащищенности измерений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мультидифференциальные операционные усилители напряжений и токов с активной отрицательной обратной связью: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.05 / Пахомов Илья Викторович; [Место защиты: Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т им. М.И. Платова]. – Ростов-на-Дону, 2017. – 208 с.
2. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
3. Федоров, С. В. Особенности проектирования инструментальных усилителей на базе мультидифференциальных операционных усилителей для аналоговых интерфейсов датчиков / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 12. – С. 1-5. – DOI 10.25791/pribor.12.2021.1306. – EDN SNFIYL.
4. Федоров, С. В. Структурный синтез схем инструментальных усилителей на основе мультидифференциальных операционных усилителей / С. В. Федоров // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2022. – № 2(186). – С. 29-35. – DOI 10.52190/2073-2597\_2022\_2\_29. – EDN CSHKVM.
5. Интегральные микросхемы: Справочник / Б. В. Тарабрин, Л. Ф. Лунин, Ю. Н. Смирнов и др.; Под ред. Б. В. Тарабрина. – М.: Радио и связь, 1983. – 528 с.



Д. А. КУЛЬБИКОВА

rdardaa@ya.ru

Науч.руковод. – ст. преп. Н. С. ИВАНОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет***ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЯ**

**Аннотация.** Электрокардиография (ЭКГ) – метод графической регистрации биоэлектрической активности сердца. Сейчас, несмотря на большое количество различных инструментальных методов исследования в современной функциональной диагностике, электрокардиография (ЭКГ) является одним из самых доступных и распространенных методов исследования деятельности сердца.

**Ключевые слова:** электрокардиограф, электрокардиосигнал.

Электрический ток появляется между двумя точками, соединенными проводником, когда между ними имеется разность электрических зарядов. При увеличении или уменьшении этой разности изменяется величина электрического тока в цепи. Разность потенциалов электрической активности сердца измеряется в милливольтгах (мВ).

Структурная схема электрокардиографа

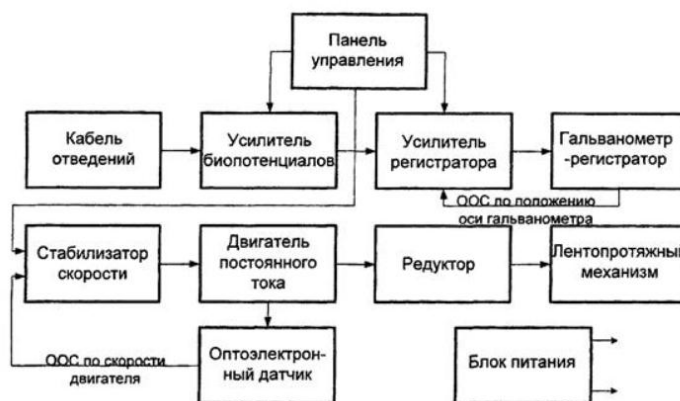


Рис. 1. Схема электрокардиографа

Биоэлектрические сигналы, которые снимаются электродами с тела пациента, через кабель отведений поступают на вход усилителя биопотенциалов. В кардиографах, предназначенных для совместной работы с дефибриллятором, кабель отведений имеет элементы защиты от воздействия его импульсов. В

усилителе биопотенциалов сигналы усиливаются, а также происходит формирование отведений.

С выхода усилителя биопотенциалов сигналы поступают на вход усилителя регистратора, где они усиливаются до величины, обеспечивающей работу регистрирующего гальванометра - преобразователя с укрепленным на его оси тепловым пишущим пером. В усилителе регистратора происходит ограничение сигнала по величине для исключения биения теплового пера по механическим упорам и уменьшения выброса на переходной характеристике, а также ускоренное успокоение переходных процессов при нажатии на кнопку включения успокоения или автоматически при переключении отведений.

С гальванометра-преобразователя заводится отрицательная обратная связь по оси поворота ротора на усилитель регистратора с помощью емкостного датчика положения.

Лентопротяжный механизм приводится в движение коллекторным двигателем постоянного тока через редуктор. Двигатель управляется импульсным стабилизатором скорости. Скорость вращения вала электродвигателя определяется частотой импульсов задающего генератора стабилизатора скорости. Поддержание стабильности скорости вращения достигается регулировкой длительности импульсов управления электродвигателем, определяемой сдвигом во времени между импульсами задающего генератора и оптоэлектронного датчика скорости, расположенного на валу электродвигателя.

Регулятор накала пера имеет три автоматически устанавливаемых режима:

- предварительный накал при выключенном лентопротяжном механизме;
- средний накал при скорости 25 мм/с;
- максимальный накал при скорости 50 мм/с.

В настоящее время существует два подхода к проведению поверки электрокардиографов: поверка с использованием стандартных радиотехнических сигналов и поверка с помощью испытательного кардиосигнала.

Существует большое разнообразие имитаторов электрокардиосигналов, которые нужны для тестирования и периодической проверки электрокардиографов в условиях медицинских учреждений. Характеристики сигналов имитаторов ЭКС существенно влияют на возможность проведения метрологического контроля аппаратной и программной частей современного электрокардиографа в соответствии с принятыми стандартами.

Наиболее совершенные варианты электрокардиографов наделены программным обеспечением:

- строящим синдромальное заключение по результатам контурного анализа ЭКГ;
- автоматически включающим специальные отведения при обнаружении аритмии и других острых патологий;
- управляющим устройством для дефибрилляции;
- ведущим длительный непрерывный мониторинг сердечной деятельности с записью в памяти;
- сохраняющим в памяти данные по нескольким пациентам;
- предоставляющим возможность дистанционного контроля по телекоммуникационным системам, в том числе Интернет.

С появлением ЭКГ врачи получили значительные возможности в прижизненной диагностике заболеваний сердца. Метод достаточно простой (любой медицинский работник может проводить регистрацию ЭКГ), универсальный (врач из любой страны может интерпретировать результаты ЭКГ), неинвазивный (не нарушает целостность организма), недорогой. Метод электрокардиографического обследования полностью отвечает современным потребностям.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердников, А.В., Семко М.В., Широкова Ю.А. Медицинские приборы, аппараты, системы и комплексы. Часть 1. Технические методы и аппараты для экспресс-диагностики: Учебное пособие. - Казань: Изд-во Казан.гос. техн. ун-та, 2004. - 176 с. Режим доступа: <http://window.edu.ru/> (Дата обращения: 09.09.2022).
2. Илясов, Л.В. Биомедицинская измерительная техника: учебное пособие для вузов / Л. В. Илясов. – М.: Высш. Шк., 2007. – 342 с.

3. Корневский, Н.А. Медицинские приборы, аппараты, системы и комплексы: учебное пособие для вузов / Н. А. Корневский, Е. П. Попечителей, С. П. Серегин. – Курск: ОАО «ИПП «Курск», 2009. – 986 с.
4. Федотов, А.А. Системы кардиомониторинга: Метод. указания / Самар. нац. исследов. ун-т.; сост. А.А. Федотов; Самара, 2016. 27 с. Режим доступа: <http://repo.ssau.ru/bitstream/Metodicheskie-materialy/Sistemy-kardiomonitoringa-Elektronnyi-resurs-metod-ukazaniya-k-lab-rabote-71920/1/Федотов%20А.А.%20Системы%202016.pdf>, (Дата обращения: 09.09.2022).

УДК 616.77

Л. А. МАЖАРУК, Д. В. МАЖАРУК

*lmazharuk@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Ю. О. УРАЗБАХТИНА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТЕЗА ПРЕДПЛЕЧЬЯ, ОСНАЩЕННОГО ИСКУССТВЕННОЙ КИСТЬЮ, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ ДВА ВИДА ДВИЖЕНИЯ**

**Аннотация.** В статье анализируются перспективы применения протеза предплечья, оснащенного искусственной кистью, реализующей два вида движения. Рассматриваются понятие, специфика функционирования и преимущества существующих протезов конечностей. Разрабатывается система управления искусственной кистью с функцией бокового хвата.

**Ключевые слова:** протез предплечья; искусственная кисть; обратная связь; система управления протезом предплечья.

### ***Введение***

Необходимость в протезировании растет в значительных количествах с каждым годом, инвалидов с дефектами верхних конечностей становится больше, по разным причинам, и многие из них нуждается в протезировании. Основной целью любого протезирования, в первую очередь, является устранение препятствий и ограничений, а также получение возможности выполнять базовые действия в повседневной жизни.

Количество людей, ставших инвалидами с ампутацией в предплечье, а также в его пределах составляет порядка 45 - 49 % от общего числа людей, нуждающихся в протезировании верхних конечностей. Большинство известных электромеханических протезов, основанные на приводном методе управления к сожалению, имеют некоторые недостатки, они не позволяют реализовать позиционную обратную связь и по сути управление происходит только по скорости управляемого звена. В связи с этим, становится актуальным создание новой конструкции протеза предплечья на базе разработанного метода. Данный метод предполагает управление функциями движения кисти за счет ротационной подвижности культи предплечья (пронация – супинация).

Целью работы является изучение перспектив применения протеза кисти, реализующего два вида движения. Для ее достижения были использованы методы анализа и синтеза научных публикаций и литературных источников по рассматриваемой теме.

### ***Виды протезов предплечья***

В первую очередь все протезы делятся на два общеизвестных типа: косметические и функциональные. Косметические протезы предназначены лишь для восполнения эстетического вида конечности и минимальных функций конечности. Такие протезы не обладают никакой функциональностью и состоят из приемной гильзы и косметической кисти. Они подходят абсолютно для любого уровня ампутации руки, но особо важное значение имеют при высоких ампутациях руки, когда отсутствует возможность применить функциональные протезы или когда нельзя восстановить утерянные функции. Способности такого протеза ограничены удерживанием предметов, но они полностью выполняют свою косметическую функцию. Чаще всего косметические протезы состоят из косметической перчатки, каркаса кисти, культеприемника.

Функциональный тип протезов же подразделяется на три категории:

1. Механические;
2. Рабочие;
3. Биоэлектрические.

Разберем каждый из них отдельно.

### ***Активный тяговый протез предплечья***

Этот протез применяется у пациентов после односторонней и двусторонней ампутации руки на уровне предплечья. Тяговый протез позволяет дать пациентам способность самим выполнять некоторые действия для самообслуживания, при работе (нетяжелой), для активного отдыха, а также одновременно с

этим обеспечивает косметического эффект. Тяговый протез, как понятно из названия, управляется с помощью тяг.

Рассмотрим данный вид протеза на примере тяговой кисти 3B001 с активным хватом используемая в тяговых протезах предплечья и плеча конструкции Г. Руденко. Такая кисть имеет три управляющих тяги: схвата, дораскрытия и управления фиксацией пальцев с ручным замком-фиксатором, который обеспечивает фиксацию пальцев. Снабжена узлом пассивной ротации с наружным диаметром 48 мм, используется с косметическими оболочками 8B009, 8B013 с шириной ладонной части 82 мм. Комплектуется системой управления фиксацией пальцев 9B001.1, (управление от нагрудного пояса), комплектом монтажных элементов 9B001.2, комплектом запасных частей 9B001.3.

Сила схвата – до 20 Н. Максимальное раскрытие пальцев – 100мм. Ход тяг схвата дораскрытия – 35 мм. Масса переносимого груза – до 10 кг. Масса- 480 г.

### ***Рабочий протез предплечья***

Такой тип протезов изготавливается для пациентов, перенесших одностороннюю или двустороннюю ампутацию руки на уровне предплечья. Рабочий протез дает пациенту способность самому выполнять некоторые трудовые операции при помощи различных активных и пассивных насадок, которые устанавливаются в гильзоприемник протеза.

### ***Биоэлектрические протезы предплечья***

Биоэлектрические протезы обычно применяются у пациентов после односторонней или двусторонней ампутации. Движения таких протезов обычно осуществляется за счет электрических потенциалов при сокращении мышц (миотонические). Управление таким протезом (Рис.5) осуществляется путем электрических контактов (или бесконтактных электронных устройств). При

этом пациент только управляет протезом, а за силовые функции отвечают приводные устройства за счет внешнего источника энергии.

Среди отечественных протезов предплечья можно рассмотреть протез кисти с микропроцессорной системой управления «Миотея» используемая в протезах предплечья. Система электронного управления «Миотея» предназначена для применения в протезах верхних конечностей с источником электрической энергии.

Система «Миотея» представляет собой электромеханическую кисть с микропроцессорной системой управления и источником питания, встраиваемым в гильзу протеза.

Кисть обеспечивает хват и разжатие пальцев, а также пассивную бесступенчатую ротацию с регулируемой тугоподвижностью.

Электронная система управления кистью позволяет инвалиду пользоваться протезом без излишних компенсаторных движений усеченной конечностью и туловищем.

Кисть может оснащаться двумя типами систем управления: биоэлектрической или миотонической (контактной).

При биоэлектрическом управлении источником управляющего сигнала служит электрическая активность сохранившихся мышц культи при их произвольном сокращении.

При миотоническом управлении источником управляющего сигнала является перемещение определенного сегмента тела (культи) с передачей силового воздействия на датчик.

### ***Протез предплечья, оснащенного искусственной кистью с двумя видами активных движений***

Данный протез предназначен для инвалидов с ампутацией в пределах нижней и средней трети предплечья. Главным условием, при котором возможно использовать данный протез, возможность культи предплечья совершать рота-



цию (пронацию-супинацию). Это движение является задающим. Таким образом, конструкция предполагает фиксацию корпуса в пределах предплечья. Роль лучезапястного сустава играет пассивный лучезапястный узел. Для осуществления данного метода предлагается использовать следующую конструкцию.

Устройство содержит несущую гильзу, которая крепится на руке за счет контакта с двумя мышечками локтевого сустава. Подвижная приемная гильза находится внутри несущей гильзы, соединена с ротором потенциометра с помощью вала и соединена шарнирно с неподвижной частью пассивного лучезапястного узла. Неподвижная часть пассивного лучезапястного узла соединена с несущей гильзой протеза. Подвижная часть узла фиксируется в заданном положении посредством клина. В свою очередь пассивный лучезапястный узел соединяется с кистью, в которой располагается механизм движения пальцев с мотор-редуктором и механизм «бокового схвата» с мотор редуктором, с блоком 2-3 пальцев и блоком 4-5 пальцев. К несущей гильзе прикреплен блок питания, электронный блок управления и блок с электродами.

Исполнительный механизм движения пальцами соединяется с толкателем, приводимый в движение с помощью мотор-редуктора.

Исполнительный механизм отведения второго пальца представлен в виде винтовой передачи. Блок питания, электронный блок управления и блок с электродами рекомендуется размещать со стороны, имеющей наименьшую частоту соприкосновений с твердыми предметами, например, при опускании рук на стол, при столкновении с людьми в транспорте и т.д. Пятый палец изготовлен из упругого материала. На этот палец часто приходится повышенное поперечное напряжение, например, когда инвалид садится и кладет протез на стол. В этой позе человек кладет руку таким образом, что весь вес протеза приходится именно на пятый палец. При таком положении он является защитным элементом, обеспечивает амортизирующий эффект.

## *Заключение*

Структурно-технологический кризис, в котором находится современное протезирование, требует качественно новых подходов. В ходе выполнения данной работы разработан метод управления искусственным протезом кисти в составе протеза предплечья с функцией бокового схвата, обеспечивающего максимально возможное использование реабилитационного потенциала инвалидов после ампутации верхних конечностей. Используя такой протез, инвалид сможет вернуться к полноценной бытовой и трудовой деятельности. Предложенное конструктивное исполнение многофункциональной исходной кисти позволяет восстановить не только основную функцию кисти- захват и удерживание предметов, но и позволяет инвалиду-оператору совершать целенаправленные действия по самообслуживанию. При этом сокращается объем компенсаторных действий и время выполнения двигательных операций при пользовании протезом руки. За счет реализации активной функции отведения-приведения второго пальца.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.И.Покровский. Малая медицинская энциклопедия. Москва. 1996.
2. В.И.Филатов. Справочник по протезированию. Ленинград. 1978.
3. Реферат на тему: «Протез предплечья с биоэлектрическим управлением двумя функциями. Биоуправляемые протезы плеча» Минск. 2008.

УДК 616.77

Л. А. МАЖАРУК, Д. В. МАЖАРУК

*lmazharuk@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Ю. О. УРАЗБАХТИНА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ КИСТЬЮ В ПРОТЕЗЕ ПРЕДПЛЕЧЬЯ**

**Аннотация.** В статье представлено формирование системы управления кистью в протезе предплечья, а также схема управления разрабатываемым электромеханическим протезом предплечья. Представлен один из способов решения вопроса о биоэлектрическом управлении двумя функциями протеза.

**Ключевые слова:** протез предплечья; искусственная кисть; обратная связь; система управления протезом предплечья.

### ***Введение***

Основной целью любого протезирования, в первую очередь, является устранение препятствий и ограничений, а также получение возможности выполнять базовые действия в повседневной жизни. Комфорт, удобство, возможность выполнять простые действия, а может быть больше. Именно для этого необходимо совершенствовать системы управления, улучшать функциональность протезов для расширения возможностей, в идеале для достижения такого же уровня, что и обычной кисти.

Во главе всех этих улучшений в первую очередь должна быть простота всей конструкции, и простота в управлении, а также надежность устройства. С минимальными временными затратами на тренировки мышц на отдельную и комбинационную посылку управляющих сигналов. С помощью последовательного управления достаточно будет по желанию оператора-инвалида подключаться, либо к приводу искусственной кисти, либо к приводу механизма бокового схвата и будет реализована позиционная обратная связь, которая предполагает управление функциями движения кисти за счет ротационной подвижности культи предплечья. В связи с этим, становится актуальным создание новой конструкции протеза предплечья на базе разработанного метода.

Целью работы является формирование системы управления искусственной кистью в протезе предплечья, на основе одного из способов о последовательном управлении двумя степенями подвижности исполнительных механизмов для ее достижения были использованы методы анализа и синтеза научных публикаций и литературных источников по рассматриваемой теме.

### ***Общие сведения***

Как и в любом другом электромеханическом протезе в данном устройстве используются электропривода. Управление ими инвалид-оператор осуществляет с помощью задающего датчика. Вопрос о биоэлектрическом управлении двумя функциями протеза — сгибанием и разгибанием пальцев искусственной кисти и функцией бокового схвата вторым пальцем может быть решен следующим способом. Способ заключается в последовательном управлении двумя степенями подвижности исполнительных механизмов посредством ротационных движений культи предплечья с переключением за счет биоэлектрических сигналов мышц культи — сгибателя или разгибателя кисти, как это имеет место в протезах с одной управляемой функцией. Достоинствами такого способа являются реализация позиционной обратной связи, относительная простота управления, достаточная надежность работы всей системы управления, возможность использования ограниченного числа мышц для управления несколькими движениями, простота тренировки мышц на отдельную и комбинационную посылку управляющих сигналов. Недостаток этого способа — невозможность выполнения одновременно двух движений.

### ***Описание способа управления***

Суть способа последовательного управления состоит в том, что система управления подключается либо к приводу искусственной кисти, либо к приводу механизма бокового схвата. Переключение системы производится произвольно, по желанию инвалида-оператора.

В общем случае подобная система управления может быть представлена блок-схемой (Рис.24). Двухканальная система управления состоит из токосъемного устройства, предварительных усилителей (У), преобразователей (П), оконечных усилителей (У), функциональных преобразователей (ФП), Усилителя мощности (УМ), блока сравнения. С помощью переключающего устройства реле (Р), система может быть соединена с одним из двух исполнительных механизмов ИМ1 или ИМ2 приводов кисти или механизма бокового отведения соответственно.

В исходном состоянии система управления соединена, например, с приводом кисти и управление осуществляется, как и в протезах с одной функцией: сигналы с мышц-сгибателей кисти управляют переключением. При изменении положения приемной гильзы относительно статора потенциометра неподвижно закрепленного на неподвижной части пассивного лучезапястного узла, изменяется сопротивление на потенциометре.

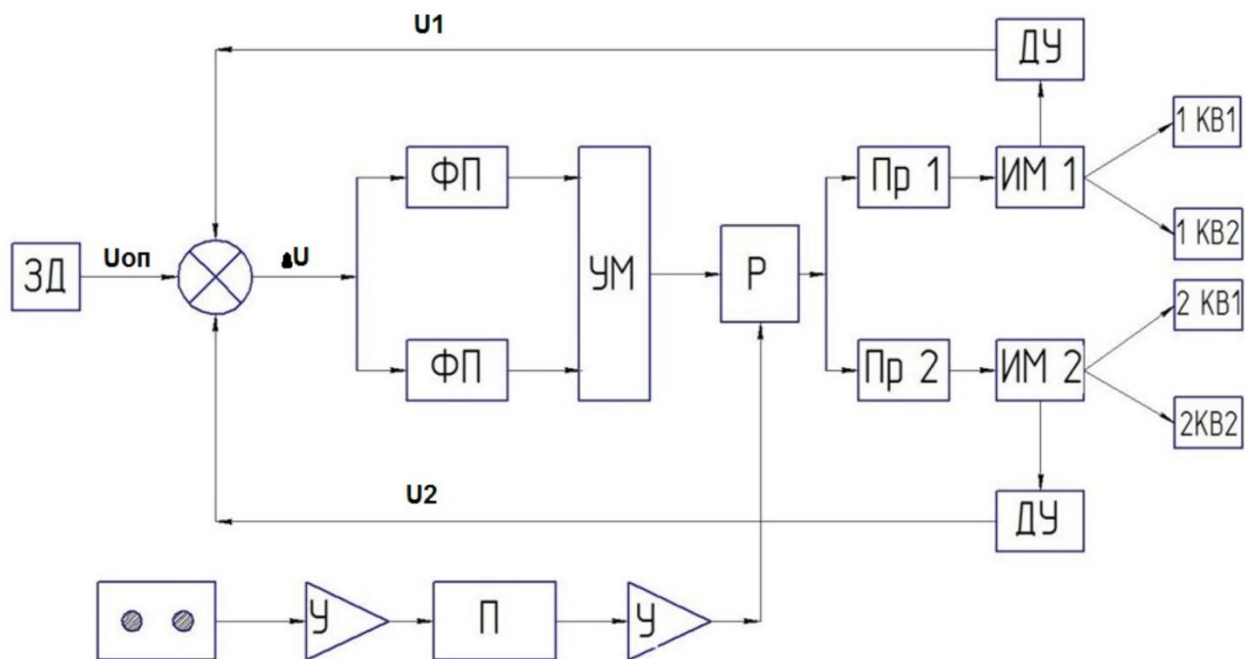


Рис. 1. Схема управления разрабатываемым электромеханическим протезом предплечья

где, ЗД - задающий датчик; Р - двухпозиционное реле; ФП -функциональный преобразователь; Пр –привод; УМ -усилитель мощности; ИМ- исполнительный

механизм; ДУ-датчик угла; КВ – конечный выключатель; У – предварительный усилитель; П – преобразователь;

Таким образом формируется сигнал  $U_{оп}$ . Сигнал  $U_{оп}$  поступает в блок сравнения, куда поступает и сигнал с ДУ. В блоке сравнения эти два сигнала сравниваются и образуется их разность:

$$\Delta U = U_{оп} - U_1(U_2)\Delta U,$$

где  $U_{оп}$  – напряжение задающего датчика (потенциометра).  $U_1$  и  $U_2$  – напряжение ДУ.

$\Delta U$  может быть, как положительная, так и отрицательная. Эта разность поступает на два фазовых преобразователя, и в зависимости от того получилась разность положительно или отрицательной, изменяется полярность сигнала поступающего на усилитель мощности. После этого сигнал усиливается в усилителе мощности УМ. Затем сигнал поступает на реле (Р), которое включает в работу один из проводов (Пр1, Пр2). На реле при переключении сигнала управления поступает кратковременный биоэлектрический сигнал повышенной амплитуды с управляющей мышцы и контакты реле подключают, например, привод (Пр1), который управляет работой первого исполнительного механизма (ИМ1) привода механизма схвата кисти. Инвалид-оператор осуществляет управление механизмом с помощью вращения потенциометра, при помощи ротации подвижной приемной гильзы предплечья. Пронация гильзы управляет схватом, а супинация, соответственно раскрытием кисти. Управление электродвигателем исполнительного механизма (ИМ2) осуществляется так же, как и двигателем (ИМ1). По такому же механизму пронация гильзы предплечья, вращая потенциометр, обеспечивает работу механизма и тем самым отведение, а супинация приведение второго пальца.

Переключение системы снова на управление искусственной кистью производится повторной посылкой кратковременного резкого сигнала с управляющей мышцы, в результате чего переключающее устройство возвращается в исходное состояние, т. е. контакты реле (Р) подключают к системе управления

электродвигатель исполнительного механизма ИМ1. К схеме подключаются конечные выключатели для обеспечения точной остановки механизма, подающий команду на выключение электропривода при переходе на управление исполнительным механизмом.

### ***Заключение***

На современное протезирование уделяют все меньше времени, чем этого хотелось. И без качественно новых подходов, здесь просто не обойтись. В ходе выполнения данной работы была сформирована система управления, со сгибанием и разгибанием пальцев искусственной кисти и функцией бокового схвата вторым пальцем с реализованной позиционной обратной связью. В первую очередь, обеспечивающую максимально возможное использование реабилитационного потенциала инвалидов после ампутации верхних конечностей, за счет простоты использования и уменьшения времени на тренировку мышц для использования этого протеза. Используя такой протез, инвалид сможет вернуться к полноценной бытовой и трудовой деятельности. При этом сокращается объем компенсаторных действий и время выполнения двигательных операций при пользовании протезом руки. За счет реализации активной функции отведения-приведения второго пальца.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. В.И.Покровский. Малая медицинская энциклопедия. Москва. 1996.
2. В.И.Филатов. Справочник по протезированию. Ленинград. 1978.
3. Реферат на тему: «Протез предплечья с биоэлектрическим управлением двумя функциями. Биоуправляемые протезы плеча» Минск. 2008.

УДК 616.71

А. Р. МАЗИТОВА

*amalia-mazitova@mail.ru*

Науч. руковод. – ст. преп. Н. С. ИВАНОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ИСПОЛНЕНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПУЛЬСОКСИМЕТРОВ

**Аннотация.** В настоящее время пульсоксиметры очень востребованы, так как позволяют легко контролировать важнейшие показатели кровеносной системы даже в домашних условиях. Рассматривается строение пульсоксиметров для понимания их принципа действия.

**Ключевые слова:** пульсоксиметры, конструктивное исполнение, принцип действия, структура.

Принцип определения  $SpO_2$  основан на разном поглощении света оксигемоглобином и гемоглобином.

Интенсивность ослабленного света высчитывается с помощью закона Бугера-Ламберта-Бера:

$$I(l) = T * I_0 e^{-k_\lambda l}$$

Где  $T$  – коэффициент пропускания света кожей,  $I_0$  – интенсивность излучаемого света,  $l$  – толщина исследуемой части тела,  $k_\lambda$  – величина поглощения света гемоглобином, оксигемоглобином и фонового поглощения (поглощение всеми компонентами ткани тела, кроме гемоглобина и оксигемоглобина),  $\lambda$  – длина волны излучаемого света.

Для того, чтобы прибор реагировал на отраженный от оксигемоглобина и гемоглобина свет одинаково, необходимо подобрать диапазон излучения от красной области спектра, которая лучше поглощается гемоглобином, до инфракрасной области, которая лучше поглощается оксигемоглобином.

Следовательно, излучатели должны находиться в диапазоне 600-700 нм для красной области и 780-10000 нм. Доказано, что при длине 660 нм гемоглобин имеет большую поглощающую способность, а при длине волны 880-940 нм оксигемоглобин.



Исходя из этого интенсивности ослабленного света будут равны:

$$I_1 = T_1 * I_{01} e^{-(k_{\phi 1} + k_{Hb1} * c_{Hb} + k_{HbO1} * c_{HbO}) * l}$$

$$I_2 = T_2 * I_{02} e^{-(k_{\phi 2} + k_{Hb2} * c_{Hb} + k_{HbO2} * c_{HbO}) * l}$$

Где  $k_{\phi 1}, k_{\phi 2}$  – коэффициенты фонового поглощения света для длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  соответственно;  $k_{Hb1}, k_{Hb2}$  – молярные коэффициенты поглощения гемоглобина;  $k_{HbO1}, k_{HbO2}$  – молярные коэффициенты поглощения оксигемоглобина;  $c_{Hb}, c_{HbO}$  – молярные концентрации гемоглобина и оксигемоглобина в тканях тела.

Коэффициенты пропускания света кожей ( $T_1$  и  $T_2$ ) рассчитываются как отношение остаточного излучения, прошедшего через тело к потоку, излученному на тело.

$$T_{1,2} = \frac{\Phi}{\Phi_0}$$

Молярные коэффициенты поглощения оксигемоглобина и гемоглобина для длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  высчитываются по формуле:

$$k_{Hb1}, k_{Hb2} = \frac{\Phi'}{\Phi'_0}$$

$$k_{HbO1}, k_{HbO2} = \frac{\Phi'}{\Phi'_0}$$

$\Phi'$  - поток излучения, поглощенного телом,  $\Phi'_0$  - поток излучения, упавшего на тело.

Из уравнений приведенных выше найдем  $c_{Hb}, c_{HbO}$ .

Данные уравнения характерны для фазы диастолы, а для фазы систолы молярные концентрации оксигемоглобина и гемоглобина возрастают на величины  $\Delta c_{Hb}$  и  $\Delta c_{HbO}$ .

Следовательно уравнения интенсивности примут вид:

$$\Delta I_1 = T_1 * \Delta I_{01} e^{-(k_{\phi 1} + k_{Hb1} * (c_{Hb} + \Delta c_{Hb}) + k_{HbO1} * (c_{HbO} + \Delta c_{HbO})) * l}$$

$$\Delta I_2 = T_2 * \Delta I_{02} e^{-(k_{\phi 2} + k_{Hb2} * (c_{Hb} + \Delta c_{Hb}) + k_{HbO2} * (c_{HbO} + \Delta c_{HbO})) * l}$$

Решив эту систему уравнений, выводим  $\Delta c_{Hb}$  и  $\Delta c_{HbO}$  и рассчитываем насыщенность артериальной крови кислородом по формуле:

$$SpO_2 = \frac{\Delta c_{HbO}}{\Delta c_{HbO} + \Delta c_{Hb}} * 100\%$$

Фотоплетизмографический датчик содержит два светоизлучающих диода с длинами волн, соответствующими красному и инфракрасному диапазонам излучения, а также широкополосный фотоприемник.

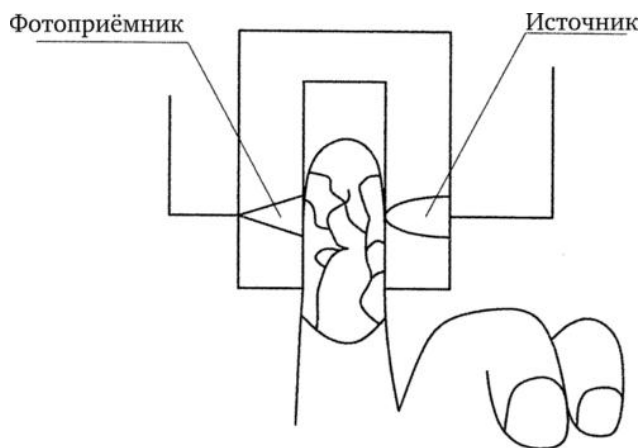


Рис. 1. Расположение фотоплетизмографического датчика

Датчик выполняется на основе просвечивающего метода (рис. 1), в котором фотоприемник принимает ослабленный свет от излучателя после прохождения сосудов.

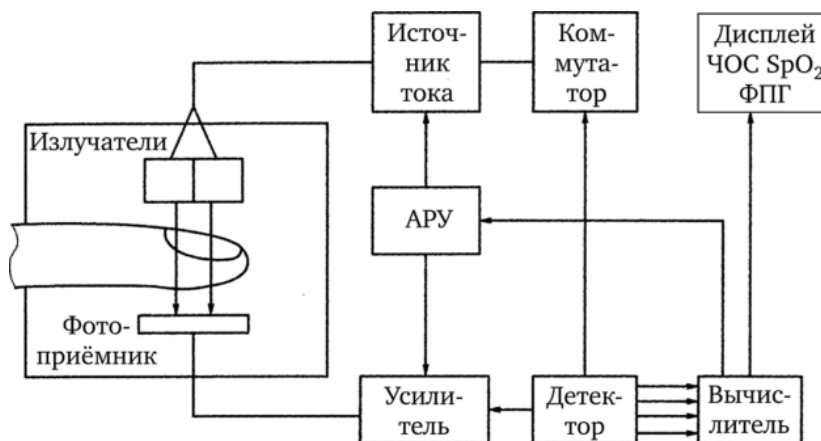


Рис. 2. Структура пульсоксиметра

Фотодетекторы преобразуют ослабленный свет красного и инфракрасного излучения в электрические сигналы, которые следуют через усилитель. Излучатели датчика переключаются между собой с частотой около 1000 Гц, что

позволяет использовать для регистрации излучения один коммутируемый фотоприемник. В усилительном тракте сигналы «красного» и «инфракрасного» излучения делятся на два канала с помощью импульсов управления коммутатора, переключающих светодиоды.

Из-за разных оптических свойств кожи, толщины тканей, неравномерности пульсации кровотока, используемый усилитель должен обеспечивать усиление сигналов в высоком динамическом диапазоне (выше 60 Дб)

Реализация требуемого динамического диапазона достигается использованием цифровой АРУ (автоматическая регулировка усиления), охватывающей каскады усиления ФПГ сигнала и источника тока, питающего светодиода.

Коммутация светодиодов на достаточно высокой частоте позволяет использовать принцип одновременного считывания при выделении сигналов различных каналов в усилительном тракте, что улучшает соотношение сигнал/шум. Ослабление фоновых засветок достигается конструктивным исполнением датчика с применением оптического экранирования.

Система в случае неправильных условий определения выводит сообщение о решении проблемы: убрать шумы, артефакты или пересмотреть показания прибора

Так как рассматриваются пульсоксиметры, которые размещаются на пальцах, рассмотрим модуль ADPD144RI.

ADPD144RI имеет корпус размерами 2,8 x 5 мм со встроенными светодиодами с длиной волны 660 нм (область красного излучения) и с длиной волны 880 нм (область инфракрасного излучения). В конструкции также имеется 4 фотоприемника. Светодиоды расположены на таком расстоянии, чтобы обеспечивать оптимальное соотношение сигнал/шум на высоких частотах. Данный модуль оптимизирован для максимального уменьшения оптических перекрестных точек.

Чтобы увеличить динамический диапазон оптической зоны регистрируемого отраженного сигнала нужно уменьшить количество помех от освещения и

уменьшить шум вспомогательных программных обеспечений. Например, этой цели можно достигнуть, применяя ADPD4100 производства Analog Devices.

ADPD4100 и ADPD4101 позволяют получить соотношение сигнал/шум величиной до 100 дБ. Такой динамический диапазон обеспечивает высокий уровень сигнала даже при малом кровоснабжении сосудов.

Такие интегрированные оптические аналогово-входные интерфейсы имеют 8 встроенных источников тока с низким уровнем шума и 8 отдельных входов фотоприемника.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филист С.А., Шаталова О.В. Изготовление биотехнических и медицинских аппаратов и систем. – 2-ое изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт. – 2019. – 309 с.
2. Филист С.А. Узлы и элементы биотехнических систем: измерительные преобразователи и электроды: учебное пособие для вузов/ С.А. Филист, О.В. Шаталова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 309 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-10387-8. – Текст: электронный// Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/455754>
3. Федотов А.А., Акулов С.А., Конюхов В.Н. Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий: комплекс метод. указаний/ – Самара: Самар. нац. исслед. ун-т. Самара. – 2016. – 56 с.

А. Р. МАЗИТОВА

*amalia-mazitova@mail.ru*

Науч. руковод. – ст. преп. Э. Ю. АБДУЛЛИНА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## КОМПОНЕНТЫ ЭНДСКОПИЧЕСКИХ КАПСУЛ

**Аннотация.** В гастроэнтерологии эндоскопические методы исследования очень востребованы, так как позволяют визуализировать стенки, полости органов ЖКТ. Рассматривается строение эндоскопических капсул для понимания их принципа действия. Производится сравнение разных моделей.

**Ключевые слова:** капсульная эндоскопия; строение капсул; принцип работы; компоненты капсулы.

Эндоскопическая капсула 1 содержит оптическое окно 2, в котором расположены источники освещения 3, оптическую систему 4, камеру 5, источник питания 6, радиочастотный передатчик 7 с антенной 8.

Также в видеокапсуле располагается генератор возбуждающих импульсов 9, который соединен с кольцевыми электродами 10 и 11, располагающихся с внешней стороны устройства.

Дополнительный источник питания соединен с генератором возбуждающих импульсов 9.

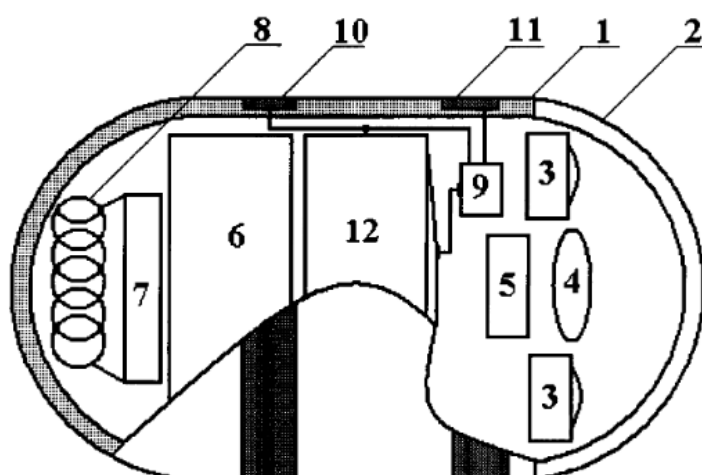


Рис. 1. Структура видеокапсулы

При исследовании пищеварительной системы пространство перед капсулой освещается с помощью источников освещения 3, расположенных за опти-

ческим окном 2. Камера 5 делает снимки полостей органов, а оптическая система 4 является объективом для камеры. Запись информации на внешнее устройство происходит с помощью антенны 8, которая передает видеосигнал с радиочастотного передатчика 7.

При этом запускается генератор возбуждающих импульсов 9, подающий на электроды 10 и 11 электрические импульсы. Эти импульсы вызывают у кишечника волнообразное сокращение стенок, что способствует продвижению капсулы в дистальную часть кишечника. Данная конструкция капсулы предотвращает остановку капсулы, например, при обнаружении непроходимости в кишечнике.

Зачастую капсулы оснащены радиочастотными передатчиками ISM диапазона (индустриальный, научный и медицинский диапазон). Радиочастотная передача информации использует обмен сигналами между меткой, расположенной на эндоскопической капсуле, и приемником. В этого процесса лежит радиочастотное электромагнитное излучение (радиочастотная идентификация). Когда промаркированный объект оказывается в зоне действия приемника, распространяемые чипом электромагнитные волны сканируются приемником, который анализирует и дешифрует их и отправляет данные в программу учета.

Самыми дальнедействующими в данном диапазоне считаются передатчики с сигналом на частоте 433 МГц. К таким можно отнести следующие микросхемы:

- Узкополосный передатчик малой мощности CC1070
- Узкополосный передатчик малой мощности CC1050
- Передатчик малой мощности CC1150

Данные передатчики характеризуются малыми размерами (5x5 мм; 7,8x4,4 мм; 4x4 мм соответственно), им подходит батарейный тип питания, устойчивы к помехам.

Для того, чтобы капсула получала энергию питания от блока ресивера можно заменить передатчик на трансивер – капсула получит энергию и отправит данные.

Рассмотрим тип связи, использующийся в капсуле MiroCam НВС (human body communication) передает информацию через тело человека через электроды, расположенные на коже. Из-за высокой электропроводности человеческого тела по сравнению с воздухом данный тип связи является энергосберегающим, при этом скорость передачи данных составляет 2Мб/с.

НВС делится на:

- Связь по электрическому полю
- Электромагнитная связь

Варианты исполнения антенны

*Спиральная антенна*

Так как добротность спиральных антенн достаточно высока, то полоса пропускания узкая, при этом и межвитковое расстояние будет влиять на характеристики антенн. КПД спиральной антенны уменьшается при ее укорочении. Однако спиральная антенна, у которой более высокая добротность и низкий коэффициент укорочения может занимать больше места по сравнению с антенной, у которой низкая добротность и малый коэффициент укорочения.

Для определения числа витков, зависящего от диаметра намотки, диаметра провода и межвиткового расстояния, необходимо укорачивать антенну до тех пор. Пока не обнаружится резонанс на нужной частоте. Настройку антенны можно выполнять сжатием или растяжением спирали.

*Рамочная антенна*

Рамочные антенны находят применение, в основном, в передатчиках, в особенности, когда критичны размеры и вес конструкции. Рамочные антенны изготавливаются как часть печатной платы. Для настройки часто используют подстроечные или постоянные конденсаторы.

Эндоскопическая капсула также включает в себя микроконтроллер, который управляет светочувствительной матрицей и оптикой таким образом, чтобы синхронизировать процессы освещения ЖКТ и фиксацией изображения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рапопорт С.И., Расулов М.И. Зачем нужна капсульная эндоскопия?. – Москва: ГБОУ ВПО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М.Сеченова» Минздрава России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zachem-nuzhna-kapsulnaya-endoskopiya/viewer> (29.08.2022)
2. Синёв Ю.В., Иванова О.В., Хомов А.Д., Грунин И.Б., Волоцков В.И. Капсульная эндоскопия (медицинская технология). – Москва: ФГУ «Российский научный центр рентгенорадиологии Росмедтехнологий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.rncrr.ru/upload/Doc/fs2009112.pdf> (29.08.2022)
3. Шумилин С. Разработка специализированного микроконтроллера для капсульной эндоскопии. – Москва: ООО «ИД Электроника», Электронные компоненты №3. – 2016. – 62-64 с.
4. Жуков И.Ю., Михайлов Д.М., Федоров Е.Д., Иванова Е.В., Конев В.Н., Хабибуллин Т.Р. Беспроводная управляемая расширяющаяся эндоскопическая капсула для проведения обследования ЖКТ. – Москва: ООО «Спецтехника и связь», Спецтехника и связь №3. – 2013. – 49-53 с.
5. Радиоприемные устройства: Учебник для студентов вузов по специальности РС, РВ и ТВ. Под ред. Н.Н. Фомина. – Москва: Радио и связь, 1996
6. Прокис Дж. Цифровая связь. – Москва: Радио и связь. – 2000
7. Texas Instruments Радиочастотные компоненты малой мощности. – Москва: КОМПЭЛ. – 2008. – 7,8,11 с.
8. Глушук С.Ф. Эндоскопическая видеокapsула, патент. – Томск: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский политехнический университет. – 2009



В. В. НИКОЛАЕВА, Э. И. ИДИЯТОВА  
*nikolaeva.valeriya0505@gmail.com, idiatovaelvira@gmail.com*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР МЕТОДОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДИАГНОСТИКИ НАРУШЕНИЙ СЕТЧАТКИ**

**Аннотация.** Сетчатка – это тонкая внутренняя и наиболее чувствительная оболочка глаза. Ее основная функция – восприятие проецируемого изображения, и преобразование его в нервные импульсы, передаваемые в головной мозг. Сетчатка имеет сложное строение, за счет чего часто подвергается различным заболеваниям. Причин поражения сетчатки множество, среди которых наиболее часто встречаемые: нарушения кровоснабжения, черепно-мозговые и глазные травмы, наследственные или приобретенные болезни. Однако на ранних стадиях заболевания поражения ретины не сопровождаются клиническими признаками. Своевременное обнаружение и лечение патологии позволяет восстановить зрение.

**Ключевые слова:** сетчатка, электроретинография, электроокулография, постоянный потенциал глаза.

Сетчатка глаза играет огромную роль в формировании и восприятии изображения. Она обеспечивает две основные функции: световосприятие и светопоглощение. Нарушения функционального состояния сетчатки часто приводят к потере зрения [1].

Наиболее широкое распространение среди диагностических исследований патологий сетчатки получили электрофизиологические методы, основанные на измерении биоэлектрических явлений в исследуемом органе. Выявление функциональных нарушений зрения происходит путем регистрации биоэлектрических импульсов в различных участках зрительной системы. Измеряя эти показания, можно обнаружить те патологии глаза, что не заметны при других методах исследования.

Электрофизиологические методы исследования обладают следующими преимуществами [2]:

1. Объективная оценка функционального состояния сетчатки и зрительного пути.
2. Возможность ранней диагностики на субклиническом уровне ряда заболеваний сетчатки и зрительного нерва, а также в ряде случаев выявлять носителей патологических генов.

3. Дифференциальная диагностика заболеваний сетчатки и зрительного нерва.

4. Объективный контроль в динамике за течением заболевания и эффективностью проводимого лечения.

5. Возможность достаточно точно характеризовать функциональное состояние сетчатки и зрительного нерва при помутнениях прозрачных сред глаза.

6. Возможность оценить функциональное состояние органа зрения у детей раннего возраста, когда субъективные исследования неэффективны.

Среди основных электрофизиологических методов выделяют электроретинографию (ЭРГ) и электроокулографию (ЭОГ).

Электроретинография – графическое представление биоэлектрической активности, возникающей в ответ на световую стимуляцию сетчатки [3]. Источником регистрируемого сигнала является нейронная активность в области клеточных мембран, меняющих свою полярность на деполяризацию или гиперполяризацию. Электроретинограмма состоит из двух основных а- и b-волн, отражающих суммарную биоэлектрическую активность всех клеточных элементов сетчатки, что представлено на рисунке 1.

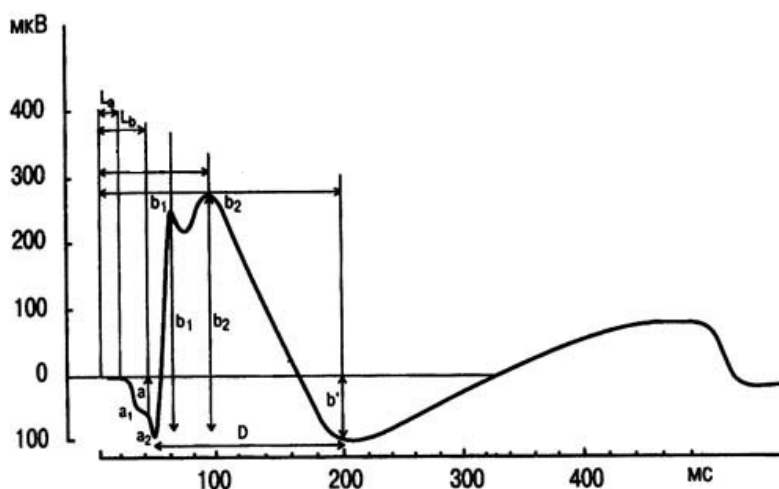


Рис. 1 Схематическое изображение общей ЭРГ:  
*a1* и *a2* – амплитуда *a*-волны; *b1* и *b2* – амплитуда *b*-волны;  
*b'* – амплитуда *b'*-волны; *D* – длительность *b*-волны; *La* – латентный период *a*-волны; *Lb* – латентный период *b*-волны

ЭРГ отлично подходит в тех случаях диагностики, когда невозможно полноценно осмотреть глазное дно вследствие помутнения оптических сред.

Однако имеются у методики и ряд недостатков. Во время процедуры пациент испытывает определенный дискомфорт, представляющий собой жжение, повышенное слезотечение, ощущение инородного предмета в глазу. Все это связано с методом проведения методики, а именно электродами, используемыми при исследовании. Еще одним недостатком является длительность проведения процедуры, около часа.

Электроокулография – метод, регистрирующий постоянный потенциал глаза при его движении, отражающий протекающие в сетчатке обменные процессы. ЭОГ используют при выявлении изменений в ретинальном пигментном эпителии сетчатки и фоторецепторов, в диагностике различных заболеваний сетчатки дистрофической, воспалительной и токсической природы, при циркуляторных нарушениях и других патологиях. Ретинальный пигментный эпителий определяет биоэлектрическую активность глаза, являясь основным источником постоянного потенциала глаза [4]. Этот потенциал распространяется по глазному яблоку и в ткани вокруг него. Биопотенциал регистрируют с поверхности кожных покровов вокруг глазного яблока при движении глаз, при этом положение головы остается неизменным. Если человек смотрит прямо вперед, то регистрируется стабильный базовый потенциал.

Постоянный потенциал напрямую зависит от интенсивности света, его длины волны и от адаптации глаза к темноте и свету. В норме потенциал покоя находится в определенных пределах, но при различных патологиях сетчатки глаза его значение отличается от общепринятой нормы.

Таким образом были рассмотрены основные электрофизиологические методы диагностирования функционального состояния сетчатки такие как электроокулография и электроретинография. Рассмотрены их достоинства и недостатки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физиология зрения URL: [http://www.bio.bsu.by/phha/19/19\\_text.html#00](http://www.bio.bsu.by/phha/19/19_text.html#00)
2. Электрофизиологические методы исследования в офтальмологии.[Электронный ресурс] URL: <https://www.oftakit.ru/topatients/articles/elektrofiziologicheskie-metody-issledovaniya-v-ofthalmologii/>
3. Маслова Н. И., Андреева Е. А. Возможности нейроофтальмологического обследования в ранней диагностике рассеянного склероза// Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2013 Т.12. №2. Стр 44-51. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-neurooftalmologicheskogo-obsledovaniya-v-ranney-diagnostike-rasseyannogo-skleroza-1/viewer>
4. Форум «Белые цветы 2019» Ямгутдинов Р. Р., Мухамадеев Т. Р. Устройство для исследования биоэлектрических процессов комплекса фоторецептор-пигментный эпителий [Электронный ресурс] URL: <https://sno.kazangmu.ru/ru/>

УДК 53.087.62

В. В. НИКОЛАЕВА, Э. И. ИДИЯТОВА  
*nikolaeva.valeriya0505@gmail.com, idiatovaelvira@gmail.com*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА РЕГИСТРАЦИИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА**

**Аннотация.** В статье рассмотрено устройство регистрации биоэлектрических процессов в сетчатке, применяемое в медицине для диагностики ее функционального состояния. Приведена и описана структурная схема устройства.

**Ключевые слова:** сетчатка глаза; регистрация; структурная схема.

В настоящее время по данным Росстата на 1000 человек регистрируется около 30 глазных заболеваний. В связи с этим можно отметить потребность Российских медицинских учреждений в надежном медицинском офтальмологическом оборудовании. Одними из наиболее эффективных методов диагностики патологий зрительного аппарата являются аппараты для электрофизиологических исследований, которые регистрируют биоэлектрические сигналы с поверхности тела. Проведя патентное исследование и сравнительный анализ устройств для регистрации биопотенциалов, среди которых были патенты на полезную модель №42944, №110631 и патент на изобретение №2 220 654, была спроектирована структурная схема устройства регистрации биоэлектрических процессов сетчатки глаза, которая представлена на рисунке 1.

Блок питания 20 выполнен на основе литий-ионных батарей, выдающих напряжение  $\pm 18,5\text{В}$ . При помощи DC/DC-преобразователя и стабилизаторов напряжение преобразуется в уровни, необходимые для питания всех микросхем, для аналоговой части  $\pm 15\text{В}$ ,  $+5\text{В}$  и для цифровой  $+5\text{В}$ . В блоке питания присутствует схема контроля заряда батарей, которая сигнализирует с помощью двух светодиодов о снижении напряжения на батареях.

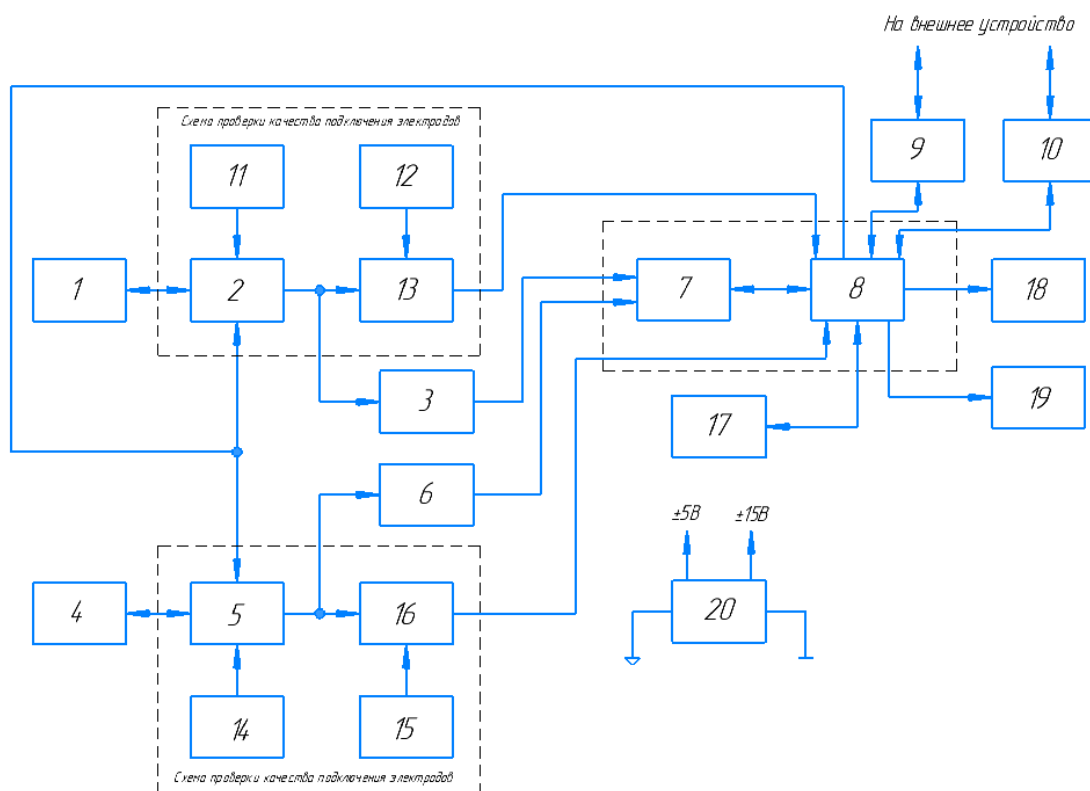


Рис. 1. Структурная схема устройства:

1, 4 – датчик потенциалов; 2, 5 – электронный аналоговый ключ; 3, 6 – блок усиления и фильтрации; 7 – аналого-цифровой преобразователь; 8 – микроконтроллер; 9 – интерфейс внешнего устройства, 10 – Bluetooth-модуль, 11, 14 – источник тока; 12, 15 – блок опорного напряжения; 13, 16 – блок сравнения напряжений, 17 – блок клавиатуры и дисплея; 18 – блок стимуляции; 19 – блок звуковой сигнализации; 20 – блок питания

Устройство состоит из двух измерительных каналов, каждый из которых снимает сигнал с собственной пары электродов. Каждый канал содержит схему проверки качества подключения электродов и блок усиления и фильтрации 3, 6. Так как каналы идентичны, принцип работы описан на основе одного канала.

После подачи питающего напряжения с блока питания 20 на микросхемы датчик потенциалов 1, представляющий собой накожные малополяризующиеся электроды, снимает биоэлектрические сигналы. Электронный аналоговый ключ 2 производит переключение между режимами регистрации биопотенциалов и оценки качества подключения электродов. Регистрируемый электрический сигнал через электронный аналоговый ключ поступает на блок усиления и фильтрации 3, состоящий из операционных усилителей, необходимых для усиления

регистрируемого сигнала до уровня подачи на микроконтроллер, и фильтров высоких и низких частот, устраняющие влияние различных помех и шумов. Усиленный и отфильтрованный сигнал преобразуется в цифровую форму с помощью аналого-цифрового преобразователя 7 для обработки микроконтроллером 8. Микроконтроллер 8 задает время проведения исследования, выдает управляющий сигнал на электронный аналоговый ключ для переключения между режимом измерения и оценки качества подключения электродов. Передача данных может осуществляться как через интерфейс USB 9, так и через Bluetooth-модуль 10. В качестве внешнего устройства может быть применен либо персональный компьютер, либо мобильный телефон, что повышает мобильность предлагаемого устройства и уменьшает масса-габаритные показатели.

Схема проверки качества подключения электродов состоит из электронного аналогового ключа 2, источника тока 11, блока опорного напряжения 12 и блока сравнения напряжений 13. Принцип его работы заключается в следующем.

Ток от источника тока 11 по сигналу микроконтроллера 8 через электронный аналоговый ключ 2 поступает на датчик потенциалов 1 и возникающее между электродами напряжение сравнивается со значением с блока опорного напряжения 12. В случае если напряжения между электродами превышает опорное напряжение, что свидетельствует о недостаточном контакте между электродами и кожей, блок сравнения напряжений 13 подает сигнал на микроконтроллер 8, который организует с помощью блока звуковой сигнализации 19 предупреждающий звуковой о недостаточном контакте электрода с кожей.

Блок стимуляции 18 состоит из мощного светодиода и драйвера, управляющего яркостью свечения светодиода с помощью широтно-импульсной модуляции. Длительность каждого подаваемого на драйвер светодиода импульса задается микроконтроллером 8.

Через блок клавиатуры и дисплея 17 происходит управление работой микроконтроллера и вывод информации о его состоянии. Кнопки клавиатуры отвечают за начало регистрации биоэлектрического сигнала, за временную приостановку регистрации, сброс микроконтроллера и выбор способа передачи информации на внешнее устройство.

Таким образом была спроектирована структурная схема устройства для регистрации биоэлектрических процессов сетчатки глаза, которое может использоваться в целях диагностики таких патологий, как отслоение сетчатки, пигментный ретинит, воспаление сетчатки и других. Основной особенностью и отличием данного устройства от рассмотренных изобретений и полезных моделей является наличие беспроводной передачи данных через Bluetooth-модуль, автономные источники питания, а также схема проверки качества подключения электродов, которая позволяет не допустить плохой контакт между электродом и кожей и предотвратить помехи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладков А.В., Сивец Ю.В., Авдеева К.Ю. Новый подход в использовании математического аппарата в построении трехмерной модели позвоночника // Хирургия позвоночника: Клиника травматологии, ортопедии и нейрохирургии НИИТО, 2005. С. 100–104.
2. Орлов С. В., Бобарыкин Н. Д., Латышев К. С. Математическая модель ста-бильности трех-позвонкового комплекса // Мат. моделирование. 2006. Т. 18, № 10.
3. Denis F. Spinal instability as defined by the three column spine concept in acute spinal trauma // Clin. Orthop. 1984. 189:65.



УДК 615.47

К. С. НОВОСЕЛОВА, А. Б. ВАЛИЕВА

*Kk.uchebka@gmail.com*

Науч. руковод. – ст. преп. А. Б. ВАЛИЕВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ В ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

**Аннотация.** В статье были рассмотрены принцип действия помещений с организацией отрицательного перепада давления, после чего был произведен подбор приточных и вытяжных воздухораспределителей, приведено обоснование выбора оборудования с последующим последовательным нанесением приточно-вытяжной системы на план отделения.

**Ключевые слова:** распределитель, воздух, расчет, изолирующая секция.

Воздух для организма человека является фактором внешней среды, оказывающий постоянное и непосредственное воздействие на организм человека, воздух играет наиболее важную роль. Без него невозможно продолжительное сохранение жизненных функций. Он принимает большое участие в тепловом обмене организма. Применение требований к стерильности медицинских палат гарантировано защищает от распространения вирусов и бактерий в организме новорожденных и снижает вероятность смертности и обострения в результате токсикоза или преждевременных родов.

Обустройство асептических помещений позволяет грамотно подходить к лечению, восстановлению и наблюдению за пациентами, а также предотвратить множество внутрибольничных инфекций. В противном случае, медицинские учреждения являлись бы источником инфекций и представляли опасность не только для больных, уязвимых к болезням, но и персоналу. В настоящее время разработана новая, более совершенная система вентиляции — кондиционирование воздуха, которая позволяет автоматически поддерживать в течение необходимого времени оптимальные параметры температуры, влажности, скорости движения и чистоты воздуха.

Первостепенно необходимо присвоить соответствующий класс чистоты помещениям отделения совместного пребывания матерей с новорожденными и определить кратности воздухообмена для помещений, входящих в состав отделения согласно нормативной документации, после чего провести расчет нормативного и фактического расхода воздуха для комплекса чистых помещений.

Рассмотрим изолирующую секцию отделения совместного пребывания матерей с новорожденными, изображенную на рисунке 1.

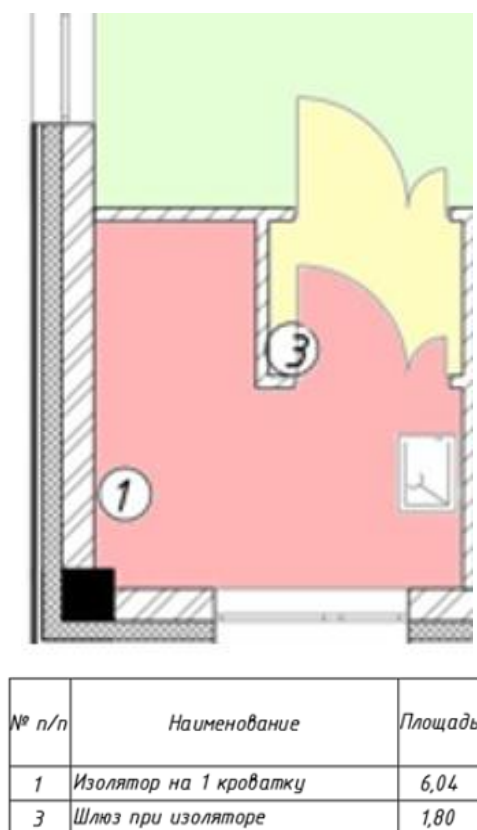


Рис. 1. План изолирующей секции отделения совместного пребывания матерей с новорожденными

В изоляторе, имеющем класс чистоты Б, необходимо организовать отрицательный перепад давления, в шлюзе при изоляторе нужно заложить компенсацию притоком на отрицательный перепад давления, для исключения перетока инфицированного воздуха в смежные помещения.

Для этого достаточно увеличить объем вытяжного воздуха на  $L_k=100$  м<sup>3</sup>/ч на каждую дверь, относительно объема приточного воздуха и предусмотреть в шлюзе дополнительный объем приточного воздуха для компенсации отрица-

тельного перепада давления в изоляторе. Количество дверей в шлюзе равно  $n=2$ , соответственно, дополнительный расход на перепад давления рассчитывается по формуле (1):

$$L_{\Pi} = L_k \cdot n = 200 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (1)$$

Таким образом, расход на дисбаланс давления равен:

$$L_{\Pi} = L_k \cdot n = 100 \cdot 2 = 200 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Корректно подобранные расходы воздуха на приток и вытяжку в изоляционной секции представлены на рисунке 2.

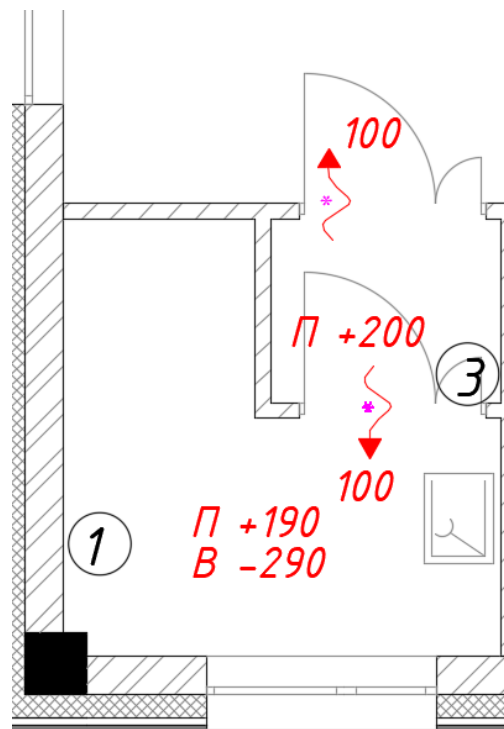


Рис. 2. Переголки, расходы на приток и вытяжку в изолирующей секции

Проектный расчет подразумевает использование распределителей воздуха РВ-АМС. В таблице 1 приведены габаритные размеры и площади живого сечения распределители.

Таблица 1

Габариты и площадь живого сечения РВ-АМС

Обозначение	Габаритные размеры, мм	Площадь живого сечения, м <sup>2</sup>
РВ-АМС-11	600x600	0,23
РВ-АМС-12	1200x600	0,54

Для подбора приточных воздухораспределителей необходимо выполнить расчет площади живого сечения в каждом помещении

$$S_{max1} = \frac{L_{\text{ПР1}}}{v_{\text{min}} \cdot 3600} = \frac{190}{0.15 \cdot 3600} = 0,537 \text{ м}^2$$

$$S_{min1} = \frac{L_{\text{ПР1}}}{v_{\text{max}} \cdot 3600} = \frac{190}{0.2 \cdot 3600} = 0,403 \text{ м}^2$$

Для обеспечения требуемых параметров микроклимата в изоляторе необходимо установить два воздухораспределителя РВ-АМС-11 600х600, суммарной площадью живого сечения 0.46м<sup>2</sup>. Для качественного обеспечения помещений чистотой в данных изоляторах для реализации вытяжной системы нужно использовать диффузоры DVS 200, с обратным клапаном.

Максимальная скорость воздуха на выходе из распределителя в шлюзах может приниматься как 0.3 м/с. [4]

$$S_{max3} = \frac{L_{\text{ПР3}}}{v_{\text{min}} \cdot 3600} = \frac{200}{0.15 \cdot 3600} = 0,37 \text{ м}^2$$

$$S_{min3} = \frac{L_{\text{ПР3}}}{v_{\text{max}} \cdot 3600} = \frac{200}{0.3 \cdot 3600} = 0,185 \text{ м}^2$$

Требуется установить один воздухораспределитель РВ-АМС-11 600х600, площадью живого сечения 0.23м<sup>2</sup>.

В изоляторах вытяжка преобладает над притоком. Этот объем воздуха  $\Delta L$  должен перетекать из шлюза в помещение изолятора, как в более грязное помещение, и удаляться оттуда другой вытяжной системой.

Для организации такого перетока необходимо предусмотреть переточное устройство между помещениями 1 и 3, а также между помещением 3 и коридором. В соответствии с техническими данными производителя в этих помещениях необходимо реализовать DVS125,

Приточные воздухораспределители для помещения №1 и №3, подобранные по расчетам, представлены на рисунке 3.

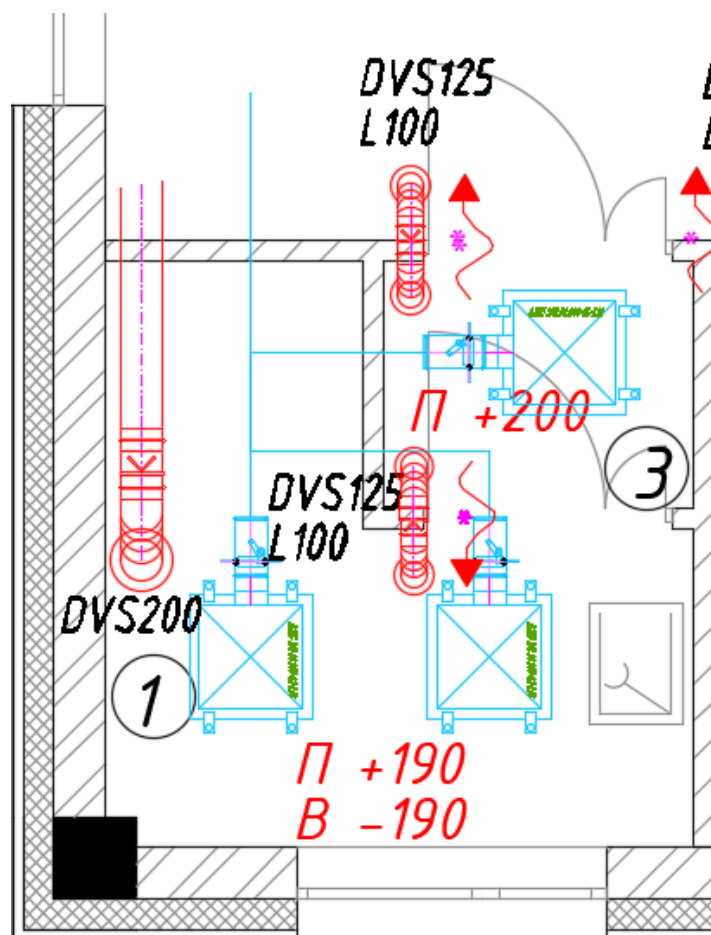


Рис. 3. Расположение приточных распределителей в помещении №1

Рассчитанные площади живого сечения и подобранное оборудование представлены в таблице 2.

Таблица 2

Подобранное оборудование для помещений 1 и 3

№ пом	Наименование помещения	$S_{MAX}, m^2$	$S_{MIN}, m^2$	$S_{ПРИНЯТАЯ}, m^2$	Оборудование приток	Кол-во	Диффузоры
1	Изолятор	0,537	0,403	0,46	РВ-АМС-11 600x600	2	200
3	Шлюз	0,37	0,185	0,23	РВ-АМС-11 600x600	1	–

Для подбора сечения воздуховодов в изолирующей секции на каждом участке необходимо произвести расчет по формуле 2.

$$S_{\text{возд}} = \frac{L}{v_{\text{возд}} \cdot 3600}, m^2, \quad (2)$$

где  $v_{\text{возд}} = 3 \dots 4$  м/с – скорость воздуха в воздуховоде;  $L$  – расход воздуха на данном участке, м/с.

По данной формуле находится минимальное и максимальное сечение и по таблице подбора воздуховодов определяется подходящий диаметр.

Для каждого участка диаметр воздуховодов подбирается в зависимости от расхода воздуха.

Подбор диаметра воздуховодов для помещения 1:

$$S_{B1max} = \frac{L_{ПР1}}{v_{min} \cdot 3600} = \frac{190}{3 \cdot 3600} = 0,036111 \text{ м}^2 ;$$

$$S_{B1min} = \frac{L_{ПР1}}{v_{max} \cdot 3600} = \frac{190}{4 \cdot 3600} = 0,027083 \text{ м}^2.$$

Подбор диаметра воздуховодов для помещения 3:

$$S_{B3max} = \frac{L_{ПР3}}{v_{min} \cdot 3600} = \frac{200}{3 \cdot 3600} = 0,0185 \text{ м}^2 ;$$

$$S_{B3min} = \frac{L_{ПР3}}{v_{max} \cdot 3600} = \frac{200}{4 \cdot 3600} = 0,0138 \text{ м}^2.$$

Таким образом, в соответствии с техническими характеристикам производителя, необходимо завести в помещение воздуховоды  $\phi 160$ . Расположение приточных распределителей и диффузоров для данной секции представлена на рисунке 4.

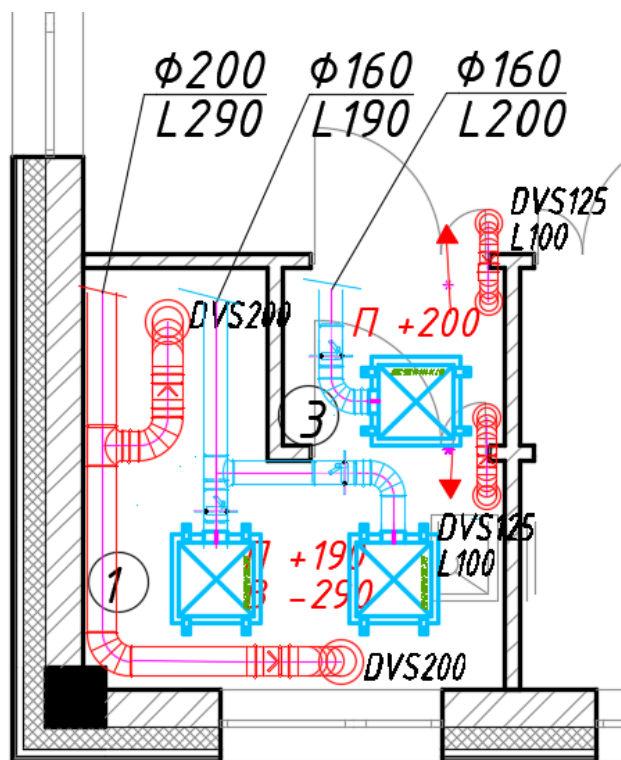


Рис. 4. Расположение приточно-вытяжной системы в изолирующей секции

В данной статье была представлена система распределителей, являющаяся оптимальной для подачи чистого воздуха в помещения данного отделения, так как, использование нормативных требований и корректный подбор распределителей обеспечивают необходимый уровень чистоты в помещениях. По результатам проделанной работы сделан вывод об актуальности применения чистых помещений и систем воздухораспределителей, а также подчеркнуты достоинства представленной приточно-вытяжной системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.В.Гудзовский, А.А.Аксенов. Экспертиза качества воздушной среды в чистых помещениях. –«Технология чистоты», 1994,№2,с.21-25
2. ГОСТ Р ИСО 14644–4–2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию
3. Федотов А.Е. Чистые помещения: учебное пособие./ Под редакцией А.Е. Федотова. Второе издание, переработанное и дополненное. Москва, АСИНОКОМ, 2003 г. – 576 с.
4. Санитарные правила СП 2.1.3678-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг".
5. Ю.В. Миллер, Н.В. Шилкин. Примеры расчетов вентиляции и воздухообмена в помещениях жилых и общественных зданий, ООО ИИИ «АВОК-ПРЕСС», 2020.
6. Борисоглебская А.П., Табунщиков Ю.А. Проектирование инженерных систем лечебно-профилактических учреждений /Р НП «АВОК» 7.8-2019.

УДК 615.47

К. С. НОВОСЕЛОВА, А. Б. ВАЛИЕВА

*Kk.uchebka@gmail.com*

Науч. руковод. – ст. преп. А. Б. ВАЛИЕВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **КОМПЛЕКС ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ В ОТДЕЛЕНИИ СОВМЕСТНОГО ПРЕБЫВАНИЯ МАТЕРЕЙ С НОВОРОЖДЕННЫМИ**

**Аннотация.** В статье описаны чистые помещения в палатных отделениях, принципы классификации чистых помещений, согласно нормативной документации, был произведен анализ помещений и присвоен соответствующий класс чистоты

**Ключевые слова:** чистые помещения, класс чистоты, палатное отделение.

Палатное отделение является ключевым функциональным элементом стационара для диагностики заболеваний, лечения и ухода за пациентами. Обычно палатное отделение рассчитано на шестьдесят коек, но в отдельных случаях их количество могут увеличить или уменьшить. Палатное отделение включает в себя не только палатную секцию, но и совместные помещения, помещения для персонала и специализированные кабинеты.

Палатная секция – это изолированный комплекс палат и лечебных помещений для больных с похожими заболеваниями. Стандартная палатная секция для взрослых рассчитана на тридцать коек. Помимо палат, в состав палатной секции входят процедурные, перевязочные, подсобные помещения, помещения для хранения анализов, для чистого и грязного белья, санитарный узел и изоляторы.

Классы чистоты помещений отличаются от разделения помещений на зоны и определяются как требования к уровню допустимого микробного загрязнения. Всего существует четыре класса чистоты: А, Б, В, Г. Первый два класса с особыми требованиями к низкому количеству микроорганизмов. К ним относятся родовые блоки, операционные, перевязочные, процедурные и т.д. В палатной секции в качестве чистых помещений выступает ряд помещений.



Чистое помещение характеризуется числом частиц, равных или не превышающих установленной величины (0,1; 0,3; 0,5 мкм и т.д.) в единице объема воздуха (счетной концентрацией частиц). Чистота воздуха в обычных помещениях оценивается по массовой концентрации загрязнений в воздухе. Чистое помещение строится и эксплуатируется таким образом, чтобы минимизировать поступление, выделение и удержание частиц внутри помещения в первую очередь и для контроля других существенных параметров (температура, влажность, давление). Обеспечение чистоты воздуха средствами вентиляции и кондиционирования нужно для выполнения требований к микроклимату, подачу в помещение требуемого объема наружного воздуха, необходимую чистоту воздуха в зависимости от назначения помещения, удаление вредных веществ и пр.

Комплекс чистых помещений в палатном отделении дневного пребывания матерей с новорожденными в соответствии с нормативной документацией включает в себя послеродовые палаты с совместным пребыванием ребенка, палаты для недоношенных, грудных, травмированных новорожденных (второй этап выхаживания), изоляторы и шлюзы прилегающие к изоляторам, они предназначены для отсечения инфекции красной зоны и предотвращения перетока грязного воздуха в зеленую зону, поэтому данные помещения рекомендуется включать в перечень чистых, а для помещения для сцеживания грудного молока нормативная документация не регламентирует класс чистоты, но в соответствии с рекомендациями АВОК, не являющимися обязательными, этому помещению можно присвоить класс чистоты Б и обозначить чистым для повышения качества работ. На рисунке 1 представлен план помещения дневного пребывания матерей с новорожденными, включающий в себя вышеперечисленные помещения.

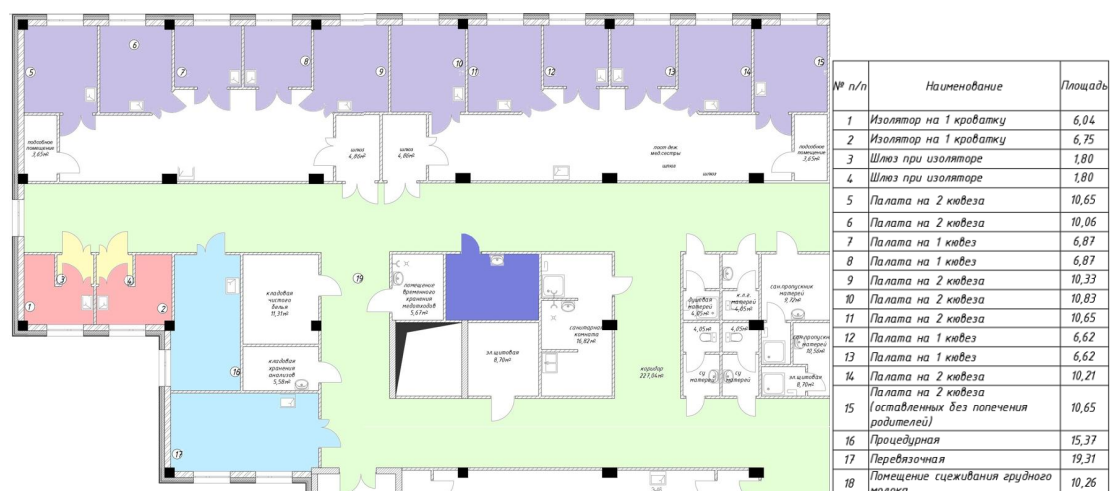


Рис. 1. План отделения дневного пребывания матерей с новорожденными

Для защиты новорожденных от инфекций или микроорганизмов внешней среды разработаны и нормативно утверждены специальные требования к стерильности палат для новорожденных.

Стерильность помещений реализуется с помощью применения технологии «чистых помещений». Основной задачей этой технологии является снижение риска наличия, поступления, распространения и накопления патогенных бактерий и микроорганизмов внутри помещения.

В дальнейшем будет произведено определение кратности воздухообмена помещений, входящих в состав отделения в соответствии с нормативной документацией, после чего будут рассчитаны нормативные и фактические расходы воздуха для комплекса чистых помещений и подобрано оборудования для корректного функционирования комплекса чистых помещений в отделении совместного пребывания матерей с новорожденными.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 52539-2006 Чистота воздуха в лечебных учреждениях
2. Стандарт АВОК. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. - М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. -16 с.
3. ГОСТ Р 56638–2015 «Чистые помещения. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Общие требования».
4. Борисоглебская А.П., Табунщиков Ю.А. Проектирование инженерных систем лечебно-профилактических учреждений /Р НП «АВОК» 7.8-2019.
5. Приложению 3 СП 2.1.3678

УДК 615.47

К. С. НОВОСЕЛОВА, А. Б. ВАЛИЕВА

*Kk.uchebka@gmail.com*

Науч. руковод. – ст. преп. А. Б. ВАЛИЕВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ В ОТДЕЛЕНИИ СОВМЕСТНОГО ПРЕБЫВАНИЯ МАТЕРЕЙ С НОВОРОЖДЕННЫМИ**

*Аннотация.* В статье представлены чистые помещения с организацией положительного, либо отрицательного перепада давления в отделении совместного пребывания, описаны приборы, позволяющие контролировать параметры чистых помещений и представлены конкретные модели соответствующих устройств

*Ключевые слова:* чистое помещение, параметры, давление, датчик.

В настоящее время разработана новая, более совершенная система вентиляции – кондиционирование воздуха, которая позволяет автоматически поддерживать в течение необходимого времени оптимальные параметры температуры, влажности, скорости движения и чистоты воздуха.

Во избежание нарушения чистоты помещения и последствий нужна правильно организованная приточно-вытяжная система. Одним из методов поддержания чистоты воздуха в помещении является перепад давления. Чтобы предотвратить попадание загрязнения снаружи, в помещении поддерживается избыточное давление.

Например, если вы хотите предотвратить утечку загрязненного воздуха из лабораторий, где ведется работа с опасными веществами, в помещении создается отрицательное падение давления (разрежение).

Опираясь на п. 7.5.4 СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41—01—2003» в случае отсутствия тамбур-шлюза для обеспечения организации дисбаланса необходимо создать разность давлений не меньше 10 Па относительно давления в защищаемом помещении, но не меньше 100 мЗ/ч на каждую дверь.

Если объем воздуха, подаваемого в помещение, соответствует объему удаляемого воздуха, то в помещении будет поддерживаться постоянное давле-

ние в соответствии с атмосферным давлением. Когда объем подаваемого воздуха становится больше объема вытяжного, нарушается баланс воздуха и начинает резко повышаться давление в помещении.

В отделении совместного пребывания матерей с новорожденными помещениями с дисбалансом давления являются следующие помещения, изображенные на рисунке 1: изоляторы (обозначенные красным цветом) и перевязочная с процедурной (обозначенные голубым цветом).

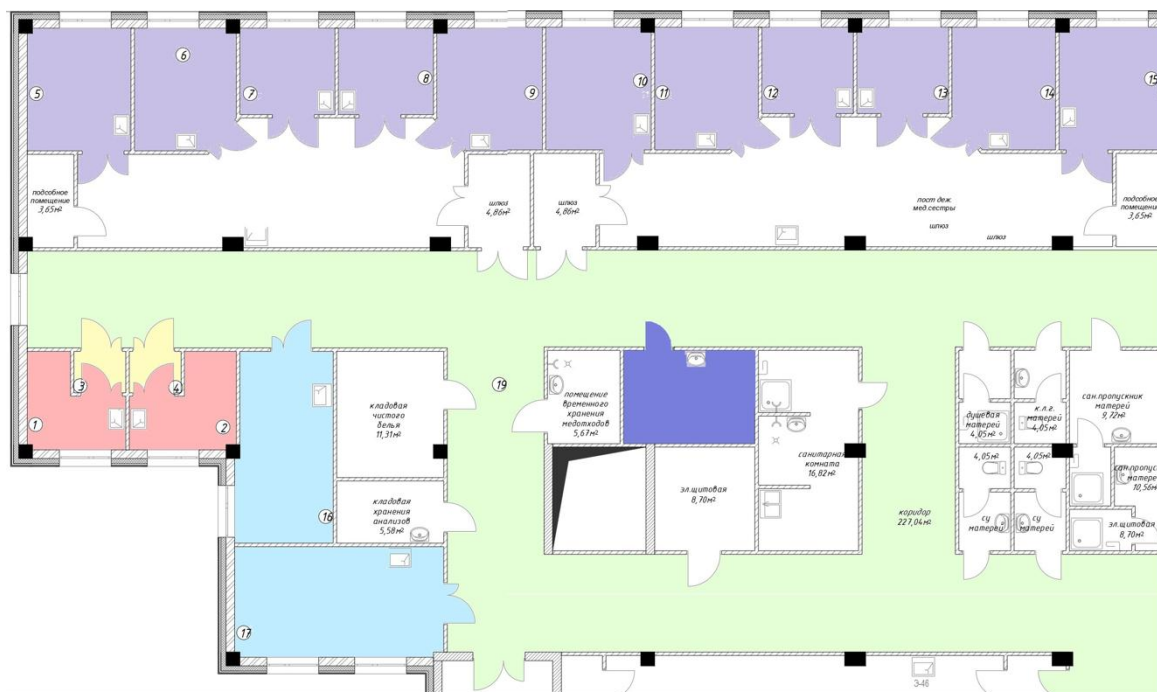


Рис. 1. План отделения дневного пребывания матерей с новорожденными

В изоляторе необходимо организовать отрицательный перепад давления, это реализуется за счет превышения объема вытяжного воздуха относительно приточного. Таким образом, в помещении создается разрежение, а нехватка притока компенсируется подсосом воздуха через переточное устройство. Из этого следует, что объем недостающего воздуха необходимо предусмотреть в чистом шлюзе, иначе в палату попадет грязный воздух из коридора через шлюз.

Процедурные и асептические перевязочные являются помещениями класса чистоты Б с организацией положительно перепада давления, то есть приток должен преобладать над вытяжкой. Однако в данных помещениях осуществляются манипуляции в том числе и с вредными веществами, и в целях защиты

пациентов и персонала данные манипуляции осуществляются в универсальном вытяжном шкафу с системой принудительной вытяжной вентиляции, что является местной вытяжной системой.

Производительность шкафа может превышать объем приточного воздуха в 1,5-2 раза, поэтому при его работе вытяжка будет существенно превышать нормативный объем притока, что создаст в помещении отрицательный перепад давления. Для недопущения подобной ситуации необходимо предусмотреть подачу дополнительного объема приточного воздуха для компенсации местной вытяжки, причем время работы вытяжного шкафа должно совпадать с временем подачи дополнительного притока.

Для контроля дисбаланса давления в таких помещениях, необходима возможность регулирования баланса подачи и расхода отработанного воздуха и обеспечивать приемлемый уровень расхода. То есть нужны правильные регуляторы воздушного потока, а ограждающие конструкции помещения не должны быть идеально изолированы, но при этом должны обеспечивать минимальную утечку воздуха.

В целях поддержания перепада давления следует рассмотреть датчик избыточного давления. Датчик давления – это прибор, предназначенный для мониторинга давления в жидкостной либо газообразной среде с передачей сигнала о полученных измерениях на соответствующее оборудование. Это необходимо для своевременной корректировки параметров различных технологических процессов. Информация о давлении воздуха также позволяет косвенно измерять другие переменные значения, такие как скорость воздушного потока.

Для примера изучим монитор давления в помещении PresSura™ модели RPM10 разработан для точного измерения перепада давления в больничных изоляторах и операционных. Благодаря уникальному тепловому датчику давления TSI, продукты PresSura обеспечивают наиболее точные и стабильные измерения. Модель RPM10 также принимает входные сигналы температуры и отно-

сительной влажности для всестороннего мониторинга в операционных. Внешний вид устройства приведен на рисунке 2.



Рис. 2. Внешний вид монитора давления в больничной палате PRESSURA RPM10

Локальный монитор обеспечивает легкую визуальную индикацию состояния комнаты. Если давление пропадает, модель RPM10 активирует звуковые и визуальные сигналы тревоги, предупреждая персонал о состоянии сигнала тревоги. RPM10 имеет регулируемые задержки срабатывания сигнализации, чтобы избежать ложных срабатываний. Когда в комнате никого нет, RPM10 можно переключить в режим без изоляции, отключив все сигналы тревоги.

Рассмотрим счетчики твердых частиц для чистых помещений. Счетчики твердых частиц для чистых помещений – это устройства для мониторинга окружающей среды в чистых помещениях со встроенным резервированием обеспечивают уверенность, необходимую для надежного мониторинга критических процессов и демонстрации соответствия.

Также для контроля чистоты воздух нужно своевременно проводить анализ воздуха на содержание взвешенных частиц, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц внутри помещения. В век нанотехнологий особое значение приобретает контроль содержания твердых частиц в воздухе рабочих мест на производствах, требующих особо чистых сред и поверхностей. Чистые помещения классифицируются в зависимости от количества частиц разных размеров в литре воздуха. Это размеры 0,2 мкм, 0,3 мкм, 0,5 мкм и 5 мкм.

В настоящее время существуют три основных методики регистрации взвешенной частицы: фотометрическая, оптическая и конденсационная. Оптический широко используется аналитической техникой, особенно для контроля чистых помещений. По чувствительности уступает лишь методам на основе использования конденсационных счетчиков, используемых для мониторинга содержания наночастиц. Они позволяют отслеживать количество частиц различных фракций, которые содержатся в помещении, что является нужным для контроля соответствия конкретному классу чистоты.

Рассмотрим счетчик аэрозольных частиц AEROTRAK Remote 7110, показанный на рисунке 3. Он предназначен для измерений счетной концентрации частиц в тестовом аэрозоле при определении эффективности фильтрующих элементов в соответствии с ГОСТ Р ЕН 1822-5-2014 «Высокоэффективные фильтры очистки воздуха ЕРА, НЕРА и ULPA. Часть 5. Определение эффективности фильтрующих элементов».



Рис. 3. Внешний вид счетчика AEROTRAK Remote 7110

Конструктивно счетчик выполнен в виде единого блока, включающего измерительную часть и микропроцессорное устройство. В измерительную часть входят: источник излучения (гелий-неоновый лазер), фокусирующая система, измерительный объем и фотоприемник.

Принцип действия счетчика основан на регистрации рассеянного аэрозольными частицами оптического излучения. При прокачке аэрозоля через измерительный объем счетчика, аэрозольные частицы попадают в траекторию лазерного луча и рассеивают падающее излучение. Рассеянное частицей излу-

ние регистрируется фотоприемником, расположенным под углом  $90^\circ$  по отношению к источнику излучения.

Интенсивность светового импульса пропорциональна размеру аэрозольной частицы, а количество импульсов определяет число зарегистрированных частиц. С учетом расхода пробы рассчитывается счетная концентрация аэрозольных частиц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.В.Гудзовский, А.А.Аксенов. Экспертиза качества воздушной среды в чистых помещениях. –«Технология чистоты», 1994, №2, с.21-25
2. ГОСТ Р ИСО 14644–4–2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию
3. Федотов А.Е. Чистые помещения: учебное пособие./ Под редакцией А.Е. Федотова. Второе издание, переработанное и дополненное. Москва, АСИНОКОМ, 2003 г. – 576 с.
4. Санитарные правила СП 2.1.3678-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг".



Н. В. РУЗАНОВА, Р. Р. ГИЛЯЗЕВА, Д. Ш. БАГАУТДИНОВА  
*nineli48@gmail.com*

Науч. руковод. – ст. преп. А. И. МЕЗЕНЦЕВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТНЫХ УСТРОЙСТВ В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Аннотация.* В статье определены наиболее приоритетные сферы использования экзоскелетов; определена эффективность использования экзоскелета в каждой сфере.

*Ключевые слова:* экзоскелет; сферы использования; эффективность использования.

В современном мире идет постоянное развитие науки и технологий. Человек взаимодействует с природой и пытается изменить условия своей жизни, не нарушая ее законов. На данный момент появилась потребность в устройствах, совмещающих в себе работу машины и человеческих способностей. Использование машинно-человеческих систем позволяет усилить физические возможности человека. Примером разработки и внедрения такой системы является экзоскелет.

Экзоскелет – устройство, целью работы которого является увеличение мышечной силы человека, восполнение утраченных его телом функций и использование возможностей расширенной амплитуды перемещений за счет наружного каркаса и приводящих элементов.

Разработка экзоскелетов сегодня является одним из самых перспективных научных направлений. Области применения, где может использоваться такое устройство, не имеют границ – от использования в медицине до внедрения на производстве.

Можно выделить области применения, где использование экзоскелетов наиболее приоритетно: 1) медицинская; 2) промышленная; 3) военная.

В медицинской отрасли экзоскелеты применяются в реабилитации инвалидов для восполнения функций при утрате или ограничении подвижности конечностей.

Преимуществом использования в данной области экзоскелета является повышение мобильности людей с ограниченными возможностями здоровья, а также использование в его конструкции принципа вертикализации. Восстановление естественного для организма вертикального положения позволяет сделать процесс реабилитации наиболее эффективным.

Пример: экзоскелет EchoAtlet I разработки российской компании «ЭкзоАтлет», предназначенный для реабилитации пациентов с локомоторными нарушениями нижних конечностей, имитирующий естественный шаг с перекастом стопы, позволяющий ходить по лестнице и другим неровным поверхностям. При весе в 23 кг конструкция выдерживает до 100 кг веса пациента ростом 160-190 см.

В промышленной отрасли экзоскелеты применяются для увеличения работоспособности, уменьшение уровня утомляемости и предотвращения растяжений.

Преимуществом использования в данной области экзоскелета является полное отражение структуры суставов, мускулов и конечностей человека, что позволяет снизить нагрузку на позвоночник. Благодаря этому устройства широко применяются на крупных производствах, заводах и в машиностроении.



Рис. 1. EchoAtlet I (ЭкзоАтлет) и X-Soft (Экзорайз)

Пример: экзоскелет X-Soft российской компании «Экзорайз» применяется с целью профилактики профессиональных заболеваний, защиты оператора от травм, увеличения его физических возможностей и повышения эффективности труда. Устройство состоит из гибкого основания повышенной прочности, распределенной системы эластомеров и корсета. При весе конструкции в 2,5 кг, она не стесняет движений и позволяет работать с тяжелыми инструментами длительное время, минимизирует риски работы в опасных зонах и позволяет переносить тяжеловесные детали и грузы.

В военной отрасли экзоскелеты применяются здоровыми военнослужащими для усиления их силовых возможностей, снижения физических нагрузок и увеличения работоспособности.

Преимуществом использования в данной области экзоскелета является эргономичность конструкции, позволяющей без труда бежать, передвигаться на местности или управлять автомобилем.

Пример: пассивный экзоскелет для военных производства корпорации «Ростех». При весе конструкции в 6 кг, имеется возможность переноса боевой экипировки и вооружения массой до 60 кг. Устройство скрыто под одеждой, не сковывает движений и уменьшает нагрузку на позвоночник. На данный момент изделия производятся для инженерных войск и используются в госпиталях для реабилитации.

Таким образом, на основании проведенного анализа можно сделать вывод, что экзоскелетные устройства используются во многих областях и их применение позволяет оптимизировать процессы реабилитации, производства и военных нужд. Повсеместное распространение экзоскелетов в медицине позволит большему количеству больных вернуться к практически прежним условиям жизни, а в промышленности и армии – при минимизации силовых затрат работоспособность станет наиболее эффективной.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экзоскелет «ExoAtlet I» [Электронный ресурс] URL: <https://exoatlet.ru/exoatlet/> (дата обращения: 05.09.2022).
2. Экзоскелет «X-Soft» [Электронный ресурс] URL: <https://exorise.com/projects/x-soft.html> (дата обращения: 10.09.2022).
3. Армейский экзоскелет [Электронный ресурс] URL: <https://ru.rt.com/gvom> (дата обращения: 05.09.2022).
4. Воробьев А.А., Андрищенко Ф.А., Засыпкина О.А., Соловьева И.О., Кривоножкина П.С., Поздняков А.М. Терминология и классификация экзоскелетов // Вестник ВолГМУ. 2015. №3 (55). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/terminologiya-i-klassifikatsiya-ekzoskeletov> (дата обращения: 06.09.2022).
5. Воробьев А.А., Петрухин А.В., Засыпкина О.А., Кривоножкина П.С., Поздняков А.М. Экзоскелет как новое средство в абилитации и реабилитации инвалидов (обзор) // Современ. тех. мед.. 2015. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekzoskelet-kak-novoe-sredstvo-v-abilitatsii-i-reabilitatsii-invalidov-obzor> (дата обращения: 06.09.2022).
6. Ekso Bionics [Электронный ресурс] URL: <https://eksobionics.com/> (дата обращения: 05.09.2022)

УДК 616.71

В. К. ТЕТЕРИНА

*victoriateterina@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Е. С. МОРОЗОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **РАСШИРЕННЫЙ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРОВИ**

**Аннотация.** В статье представлены различные виды гематологических анализаторов. Рассмотрены критерии классификации анализаторов крови.

**Ключевые слова:** анализатор; кровь; гематология; эритроциты; лейкоциты; моноциты; лаборатория; автоматический; анализ; проба; субполяция.

### ***Введение***

Гематологические автоматические анализаторы – одни из основных диагностических приборов современной лаборатории. Гематологический анализатор позволяет выполнять анализы крови по 20 и более пунктам всего за одну минуту. Также автоматические анализаторы обладают надежностью, точностью и воспроизводимостью результатов с погрешностью около 1–3%. Данные показатели возможны благодаря использованию элементов, которые не изменяют свои характеристики со временем. Современные анализаторы клинического анализа крови позволяют получать показатели эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина, MCV, MCH, MCHC, RDW и др.

### ***Критерии классификации гематологических анализаторов***

Гематологические анализаторы классифицируют по следующим критериям:

- 1) количество исследуемых параметров;
- 2) требуемый объем крови;
- 3) производительность;
- 4) возможность подсчета ретикулоцитов;
- 5) особенности пробоподготовки;
- 6) возможность дифференцировки лейкоцитов.

### ***Количество исследуемых параметров***

Всего существует четыре типа гематологических анализаторов крови, заточенных под конкретный вид исследований, на которых специфицируется лаборатория:

1) анализирует до 8 показателей при проведении исследования, не проводя деление лейкоцитов на субпопуляции.

2) анализирует среднее число показателей (до 20) и снабжен возможностью деления лейкоцитов на 3 субпопуляции (3-DIFF система). К такому виду относится анализатор Dirui BCC-3000B.

3) анализирует до 28 показателей и способен делить лейкоциты на 5 популяций (5-DIFF система) – анализатор Hemaray83.

4) анализирует до 40 показателей и более и работает с делением ретикулоцитов, что обеспечивается подключением расширительного модуля или расширением функционала самого устройства при заказе и редко доступно в стандартной поставке анализатора [1]. К такому виду анализаторов относятся такие аппараты, как Beckman Coulter DxH 800, Mindray BC-6800, Siemens Advia 2120i, Sysmex XN-1000.

### ***Требуемый объем крови***

В зависимости от того, какой параметр исследуется, применяются различные методы исследования. Каждый из методов требует определенного количества пробы крови. Значение этого параметра для разных анализаторов лежит в пределах 10–200 мкл. Прежде всего, этот показатель важен для неонатологии и педиатрии, где взятие достаточно большого объема пробы крови не всегда возможно. В современной мировой практике лабораторной диагностики принято использование венозной крови, стабилизированной ЭДТА [2].

### ***Производительность***

Производительность современных гематологических анализаторов варьируется от 30 до 125 проб крови в час.

При выборе анализатора по этому параметру обычно исходят из следующих соображений. Прибор должен обеспечить выполнение исследований всего объема проб крови за день в течение 3–4 часов (в первой половине рабочего дня лаборатории) [3]. Это обусловлено тем, что результаты анализов желательно иметь до того, как врачи-гематологи начнут выполнять анализы мазков крови. Поэтому необходим прибор, выдерживающий высокие пиковые нагрузки. Для реанимации или приемных отделений, наоборот не требуется прибор с высокой пиковой нагрузкой, т. к. поток анализов идет на протяжении всего дня в небольших объемах [4].

### ***Возможность подсчета ретикулоцитов***

Одним из компонентов развернутого гематологического анализа крови является подсчет ретикулоцитов – молодых эритроцитов, образующихся в костном мозге. Предшественники эритроцитов – ретикулоциты составляют в норме небольшой процент в гемограмме, но являются важным компонентом дифференциальной диагностики анемий, миелодиспластического синдрома, критерием эффективности терапии. Существует два способа подсчета ретикулоцитов: ручной и автоматизированный.

Ручной метод довольно трудоемкий, недостаточно стандартизирован и отличается невысокой воспроизводимостью из-за невозможности адекватной оценки большого числа клеток. Причина сложности подсчета заключается в низком содержании ретикулоцитов относительно зрелых эритроцитов [5].

Автоматизированный подсчет с анализом более 40 тыс. клеток образца крови обеспечивает достоверность результата и одновременно повышает информативность оценки абсолютного и относительного содержания ретикулоцитов в пробе крови.

### ***Особенность пробоподготовки***

По способу подготовки проб гематологические анализаторы делятся на две большие группы.

К первой относятся полуавтоматические анализаторы (Mindray BC-6800, Dirui BCC-3000B, Sysmex XN-1000), в которых подготовка проб отделена непосредственно от анализа и производится в специальных приборах – дилютерах. Использование такой раздельной схемы приводит как к комтаминации проб, так и к значительному увеличению времени на их подготовку [6].

Вторая группа - полностью автоматические анализаторы (Beckman Coulter DxH 800, Sysmex XN-1000) – в свою очередь делится на еще две группы. Приборы первой группы позволяют работать только с предразведенной кровью, вторая группа анализаторов может работать непосредственно с цельной кровью. Для гематологического анализа может использоваться как капиллярная, так и венозная кровь. Использование венозной крови с точки зрения аналитической точности более предпочтительно. Однако возможность широкого применения анализа венозной крови ограничивается отсутствием в обращении закрытых систем взятия материала и высокой инвазивностью самой методики взятия крови [7].

### ***Возможность дифференцировки лейкоцитов***

Высокотехнологические гематологические анализаторы способны осуществлять дифференцированный счет лейкоцитов по 5-ти (5Diff) основным популяциям, используя различные принципы дифференцирования клеток: нейтрофилы, эозинофилы, базофилы, моноциты и лимфоциты, оценивать наличие незрелых гранулоцитов, анализировать ретикулоциты и их субпопуляции, проводить оценку стволовых гемопоэтических клеток и субпопуляций лимфоцитов [8].

### ***Заключение***

В статье рассмотрены основные критерии при выборе гематологического анализатора. По результатам обзора выявлено следующее:



- 1) количество исследуемых параметров в разрабатываемом устройстве должно превышать значения 40;
- 2) для проведения гематологического анализа должно быть достаточно 165 мкл пробы крови;
- 3) для ускоренной работы производительность анализатора должна превышать 125 проб/час;
- 4) в разрабатываемом устройстве должен быть встроен автоматизированный подсчет ретикулоцитов;
- 5) для минимизации времени на подготовку пробы в устройство должна быть встроена пробоподготовка с необходимыми реагентами;
- б) использование приборов с полным дифференцированным подсчетом лейкоцитов (5Diff) позволяет повысить точность дифференциального подсчета лейкоцитов, провести скрининг нормы и патологии, динамический контроль за лейкоцитарной формулой и резко сократить ручной подсчет лейкоцитарной формулы, оставляя примерно до 15-20% образцов крови для световой микроскопии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Состав и функции крови [Электронный ресурс] URL: <https://studarium.ru/article/92> (Дата обращения 07.05.22)
2. Агаджанян Н.А., Торшин В.И., Власова В.М. Учебник для студентов вузов, обучающихся по медицинским специальностям. 2-е издание, исправленное. М.: РУДН, 2001. – 408 с.
3. Гематологические анализаторы [Электронный ресурс] URL: <http://medtehural.ru/laboratory/equipment/gematologicheskie-analizatory> (Дата обращения 07.05.22)
4. Критерии для выбора гематологического анализатора [Электронный ресурс] URL: <https://stormoff.ru/mediacenter/articles/vybor-gematologicheskogo-analizatora/> (Дата обращения 07.05.22)
5. Гематологические анализаторы - с функцией подсчета ретикулоцитов анализатора [Электронный ресурс] URL: [https://medeq.ru/store/laboratoriya/gematologiya/gematologicheskie-analizatory/filters/podschet\\_retikulocitov](https://medeq.ru/store/laboratoriya/gematologiya/gematologicheskie-analizatory/filters/podschet_retikulocitov) (Дата обращения 07.05.22)
6. Гематологические анализаторы [Электронный ресурс] URL: <https://erbarus.com/products/gematologiya/> (Дата обращения 07.05.22)
7. Медицина [Электронный ресурс] URL: [http://www.rusnauka.com/15\\_KPSN\\_2015/Medecine/7\\_193744.doc.htm](http://www.rusnauka.com/15_KPSN_2015/Medecine/7_193744.doc.htm) (Дата обращения 07.05.22)
8. Патент RU2359242C2, 20.06.2009. Гематологический анализатор с устройством перемешивания, функционирующий с цельной кровью.

УДК 616.77

К. Р. УРАЗБАХТИНА

*kamalova.kr@ugatu.su*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Е. С. МОРОЗОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ БИОНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА РУКИ**

**Аннотация.** Протезирование руки – способ вернуться к полноценной жизни для пациентов, перенесших операцию. Во всем мире инвалидность относится к числу наиболее острых медико-социальных проблем. Ежегодно только в России признаются инвалидами свыше 1 млн. человек, причем больше половины из них – это люди с ампутированными конечностями. К числу причин, приводящих к ампутации нижних конечностей, следует отнести военные конфликты, дорожный и производственный травматизм, стихийные бедствия и техногенные катастрофы, также такие заболевания, как облитерирующие поражения сосудов, атеросклероз и сахарный диабет.

**Ключевые слова:** бионический протез; протез кисти руки.

Основным критерием для любого медицинского электронного устройства является наличие развязки, предохранителей или иных способов защиты как пациента, так и врача от удара электрическим током.

Документами, определяющими параметры тока, напряжения, изоляции и т.д. медицинских изделий, являются стандарты ГОСТ Р 50326 – 2020, ГОСТ ИЕС 60601 от 2011 года и ГОСТ 31508 – 2012. Также существуют нормативные стандарты на протезы: ГОСТ Р 57765-2017, ГОСТ Р ИСО 13405-3 и ГОСТ Р 56138.

Бионический протез является медицинским устройством с классом риска 2б, что соответствует медицинским изделиям с повышенным классом риска.

Медицинское оборудование, опасность которого определяется риском для здоровья пациента и медицинского персонала, должно: защищать пациента и пользователя от чрезмерной вибрации, шума, ионизирующего, теплового излучения, механических повреждений; производиться с применением безопасных материалов; гарантировать электромагнитную совместимость; обеспечивать химическую, электрическую безопасность; быть безопасным в применении

при сочетании с материалами, газами, веществами, с которыми оно вступает в непосредственный контакт.

Надежность является одним из эксплуатационных свойств бионических протезов рук, так как она в значительной степени определяет эффективность применения изделия по назначению, а также требуемый уровень надежности во многом определяет стоимость изготовления.

В зависимости от назначения и условий эксплуатации, надежность может включать в себя безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость и долговечность. [1]

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  можно представить как вероятность того, что время безотказной работы  $t_0$  объекта больше некоторого заданного времени  $t$ :

$$P(t) = P(t < t_0). \quad (1)$$

Практически величина вероятности безотказной работы определяется статистическим путем по информации об отказах за выбранный промежуток времени  $t_i$ :

$$\bar{P}_i = (N - n_i) / N, \quad (2)$$

где  $N$  – число объектов в начале испытаний;  $n_i$  – число объектов, отказавших за время  $t_i$ .

Протезы являются ремонтируемыми медицинскими изделиями, поэтому их расчет сводится к нахождению вероятности безотказной работы  $P(t)$ , параметров потока отказов  $\omega(t)$ , средней наработки на отказ  $T_0$ .

Параметр потока отказов (среднее число отказов за время исследований) равно

$$\bar{\omega} = \Delta n_i / (N \Delta t), \quad (3)$$

где  $\Delta n_i$  – число отказов в интервале времени,  $N$  – число объектов в начале испытаний,  $\Delta t$  – интервал времени.

Для ремонтируемых объектов удобным для практики критерием надежности является среднее число часов работы между двумя соседними отказами, обычно называемое наработкой на отказ  $\overline{T}_0$ .

$$\overline{T}_0 = \sum t_i / n, \quad (4)$$

где  $\sum t_i$  – сумма всех интервалов времени  $t_i$ ,  $n$  – число объектов, отказавших за время  $t_i$ .

Помимо небольших размеров протеза, его легкости и простоты в понятие эргономики входит также шумоподавление, безопасность пациента при эксплуатации и многое другое. [2]

При реализации протеза блок питания следует размещать отдельно от системы управления для минимизации шумов, также можно сделать встроенный индикатор заряда, что часто присутствует на уже продаваемых изделиях.

Не маловажным шагом является переход к интегральным микросхемам для уменьшения параметров массы и габаритов, а также стойкость к шумам различного происхождения.

Создание бионического протеза руки невозможно без предварительного моделирования отдельных звеньев устройства, обладающих такими же или похожими характеристиками.

Так, бионический протез можно представить в виде мехатронного модуля движения, представленного на рисунке 1.

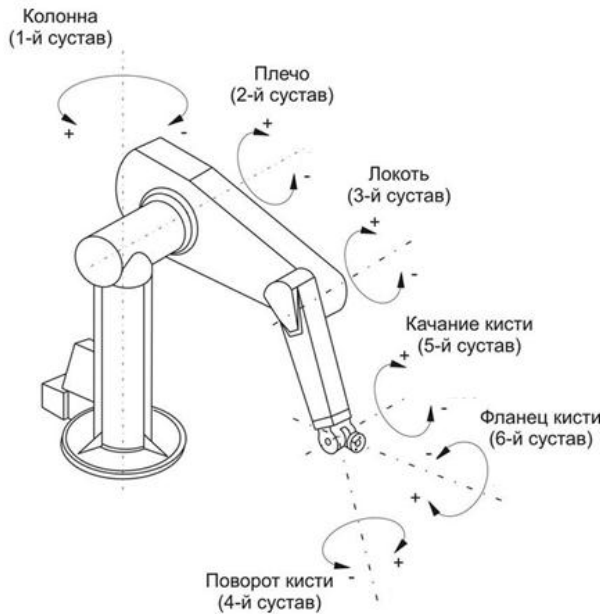


Рис. 1. Внешний вид мехатронного модуля движения  
Одно звено (сустав) описывается рядом уравнений:

$$\begin{cases} J \frac{d\omega_m}{dt} = k_M i_{я} - M_H; \\ M_H = C_1 \omega_m + C_2 \sin \theta_m; \\ T_{я} \frac{di_{я}}{dt} + \frac{k_E}{R_{я}} \omega_m + i_{я} = u_{я} / R_{я}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $J$  – суммарный момент инерции ротора двигателя и механического звена мехатронного модуля,  $i_{я}$  – ток якоря,  $\theta_m = \int \omega_m dt$  – угол поворота звена робота,  $T_{я}$  – ток якоря двигателя постоянного тока (ДПТ).

Промежуточный шаг имеет вид:

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} + C_1 \frac{d\theta_m}{dt} + \frac{k_m k_e}{R_{я}} \frac{d\theta_m}{dt} - C_2 \sin \frac{d\theta_m}{dt} - \frac{k_m k_{\phi}}{R_{я}} \frac{d\theta_m}{dt} = k_m i_{я} - T_{я} k_m \frac{di_{я}}{dt}, \quad (6)$$

Где  $J$  – суммарный момент инерции ротора двигателя и механического звена робота,  $i_{я}$  – ток якоря,  $T_{я}$  – ток якоря двигателя постоянного тока,  $k_m$  – коэффициент момента,  $k_e$  – коэффициент ЭДС ДПТ,  $k_{\phi}$  – коэффициент магнитного потока.

Получившиеся динамические звенья были промоделированы в программе SimInTech, предназначенной для изучения и освоения отдельных вопросов, связанных с проектированием мехатронных модулей движения. [3]

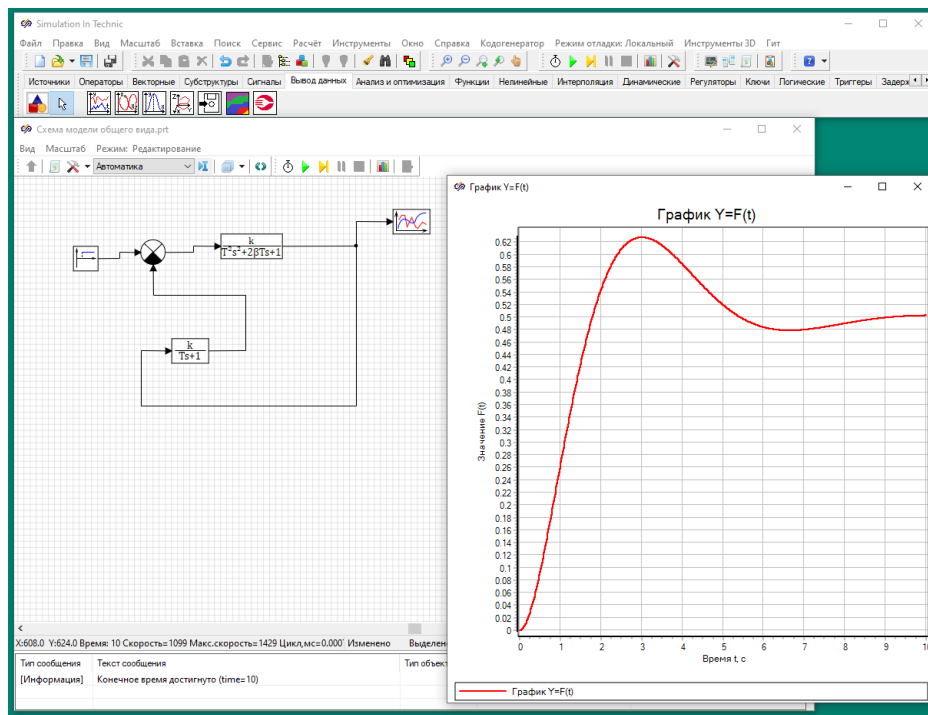


Рис. 2. Модель одного звена мехатронного модуля, состоящая из типовых динамических звеньев

Плохие динамические характеристики системы, представленные на рисунке 2 объясняются отсутствием подстройки коэффициентов, входящих в состав динамических звеньев.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов Н. И., Макаренко А. В., Сорокин А. Е. Источники питания мехатронных модулей автономных мобильных объектов //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – №. 3. – С. 203-211.
2. Денисов В. А., Жуков А. В. Математическое моделирование работы шагового двигателя в составе мехатронного модуля компенсации износа режущего инструмента //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – №. 6-1. – С. 54-58.
3. Морозов В. В. и др. Имплантируемая система вспомогательного кровообращения на базе мехатронных модулей. – 2006.

УДК 616.77

К. Р. УРАЗБАХТИНА

*kamalova.kr@ugatu.su*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Е. С. МОРОЗОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДИФИКАЦИЙ БИОНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗА РУКИ**

*Аннотация.* Потеря любой конечности или любого органа для человека — это большая проблема. В некоторых случаях с ней приходится мириться, но иногда современные средства протезирования способны сделать из человека «с ограниченными возможностями» человека с «дополненными возможностями», как выражаются представители некоторых компаний этой отрасли.

*Ключевые слова:* бионический протез; протез кисти руки.

Самой важной составляющей в проблеме инвалидизации является недопустимость в постановке барьеров, «рамок» для людей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ). Для такого рода вопросов создается множество фондов, ученые разных стран пытаются найти способ повышения уровня жизни инвалидов и полного исчезновения разницы в возможностях здоровых людей и людей с ОВЗ.

Протез – это пример устройства, которое значительным образом улучшает условия жизни, помогая в быту и на работе. Таким образом, создание бионического протеза руки становится задачей, способствующий снижению количества невыполнимых или трудновыполнимых задач для инвалидов, повышению их самостоятельности, исчезновению недопонимания у окружающих. Люди с бионическим протезом уже не являются «белыми воронами» в обществе. [1]

Помимо вышесказанного, в разработке протеза есть и экономическая выгода, а именно – снижение уровня нетрудоспособного населения и безработицы, что в целом положительно влияет на все население.

Если говорить коротко, то протезы можно разделить на три большие группы: декоративные, выполняющие функции эстетики; механические, позволяющие пользователю (инвалиду) совершить одно действие и бионические, в

которых есть «мозг», позволяющий совершать несколько видов действий, различных по уровню сложности. Последний вид протеза – бионический – является самым сложным не только в изготовлении, но и в его разработке.

В поисках оптимального соотношения сложности в реализации, конечной цены и потребительской способности компании-изготовители создают различные по содержанию биопротезы. [2, 3]

Существует мнение, что пользователи в более молодом возрасте чаще выбирают «рабочие» протезы, отличающиеся от внешнего вида обычной руки, когда пользователи средней возрастной категории предпочитают обычные на вид кисти.

Разница не только во внешнем виде. Она заключается в стоимости, в простоте обслуживания, изготовления и т.д. Далее, на рисунке 1, представлены «рабочая» рука и кисть одного производителя.



Рис. 1. Рабочая рука и бионическая кисть соответственно

Основной темой исследований является создание системы управления бионическим протезом руки (мехатронным модулем), моделирование происходящих процессов в отдельных звеньях и подбор компонентов с внесением корректировок и добавлением отдельных звеньев.



Как и любое устройство, прибор, систему, бионический протез можно разделить на составляющие, требования к которым по химическому составу и физическим характеристикам различны.

Основными критериями по подбору материалов являются [4]:

1. Материал не должен вызывать местной воспалительной реакции;
2. Материал не должен вызывать системных патологических процессов;
3. Материал не должен вызывать или усиливать осложнений, обусловленных изделием;
4. Материал должен сохранять заявленные свойства в течение всего срока эксплуатации.

Для создания каркаса и исполнительного механизма, в частности, пальцев, крюков и т.д. используют тантал, титан, цирконий, некоторые виды сплавов, например, корунд, титан – ниобий, титан – молибден. Также организм воспринимает как собственную ткань платину и другие металлы платиновой группы: золото, иридий, осмий, палладий и родий, но из-за высокой цены и малого запаса их на Земле, эти вещества в создании протезов не используются.

Легированная сталь, в отличие от выше описанных, не является биосовместимым или биоинертным материалом, она подвержена коррозии и конфликту с тканями организма.

Для системы управления жестких требований по химическому составу не предъявляется. Основным материалом выступает кремний высокой степени очистки.

Отдельно следует выделить датчики и электроды для приема электрических импульсов от биообъекта (пациента). Здесь используются материалы, способные воспринимать даже незначительные импульсы.

При взаимодействии с тканью (кожей) электрод или датчик должен быть обратимым или не поляризоваться, т.к. после данного физического процесса происходит порождение заряда на поверхности электрода, который имеет электродвижущую силу (вектор направления) обратную принимаемому сигналу.

Таким образом, создается источник с противоположным значением и искажающий полезный сигнал (сигнал, идущий от человека). Примером химического состава могут стать каломельные или хлорированные серебряные электроды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камлюк В. С., Камлюк Д. В. Мехатронные модули и системы в технологическом оборудовании для микроэлектроники. – 2016.. С. 384.
2. Яцун С. Ф., Рукавицын А. Н. Разработка биоинженерного мехатронного модуля для экзоскелета нижних конечностей человека //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – №. 4-5. – С. 1351-1354..
3. Морозов В. В. и др. Имплантируемая система вспомогательного кровообращения на базе мехатронных модулей. – 2006.
4. Нестерин В. А., Волокитина Е. В. Компоненты интеллектуальных мехатронных модулей. – 2014. С.306

УДК 616.77

К. Р. УРАЗБАХТИНА

*kamalova.kr@ugatu.su*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Е. С. МОРОЗОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ОПТИЧЕСКИЕ ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БИМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

*Аннотация.* Несмотря на общую природу световых и радиоволн, многие годы оптика и радиоэлектроника развивались самостоятельно, независимо друг от друга. Казалось, что источники света – возбужденные частицы и генераторы радиоволн – имеют мало общего. Лишь с середины XX столетия появились работы по созданию молекулярных усилителей и генераторов радиоволн, которые положили начало новой самостоятельной области физики – квантовой электронике.

*Ключевые слова:* лазеры; лазеры в медицине; фотоника; оптоэлектроника.

Квантовая электроника изучает методы усиления и генерации электромагнитных колебаний с использованием вынужденного излучения квантовых систем. Достижения в этой области знаний находят все большее применение в науке и технике. Ознакомимся с некоторыми явлениями, лежащими в основе квантовой электроники и работы оптических квантовых генераторов — лазеров.

Лазеры представляют собой источники света, работающие на базе процесса вынужденного (стимулированного, индуцированного) испускания фотонов возбужденными атомами или молекулами под воздействием фотонов излучения, имеющих ту же частоту. Отличительной чертой этого процесса является то, что фотон, возникающий при вынужденном испускании, идентичен вызвавшему его появление внешнему фотону по частоте, фазе, направлению и поляризации. Это определяет уникальные свойства квантовых генераторов: высокая когерентность излучения в пространстве и во времени, высокая монохроматичность, узкая направленность пучка излучения, огромная концентрация потока мощности и способность фокусироваться в очень малые объемы. Лазеры создаются на базе различных активных сред: газообразной, жидкой или твердой. Они могут давать излучение в весьма широком диапазоне длин волн - от

100 нм (ультрафиолетовый свет) до 1.2 мкм (инфракрасное излучение) - и могут работать как в непрерывном, так и в импульсном режимах. Лазер состоит из трех принципиально важных узлов: излучателя, системы накачки и источника питания, работа которых обеспечивается с помощью специальных вспомогательных устройств.

Излучатель предназначен для преобразования энергии накачки (перевода гелий-неоновой смеси в активное состояние) в лазерное излучение и содержит оптический резонатор, представляющий собой в общем случае систему тщательно изготовленных отражающих, преломляющих и фокусирующих элементов, во внутреннем пространстве которого возбуждается и поддерживается определенный тип электромагнитных колебаний оптического диапазона. Оптический резонатор должен иметь минимальные потери в рабочей части спектра, высокую точность изготовления узлов и их взаимной установки.

Создание лазеров оказалось возможным в результате реализации трех фундаментальных физических идей: вынужденного излучения, создания термодинамически неравновесной инверсной населенности энергетических уровней атомов и использования положительной обратной связи.

Полученные результаты в ходе работы с оптическими приборами:

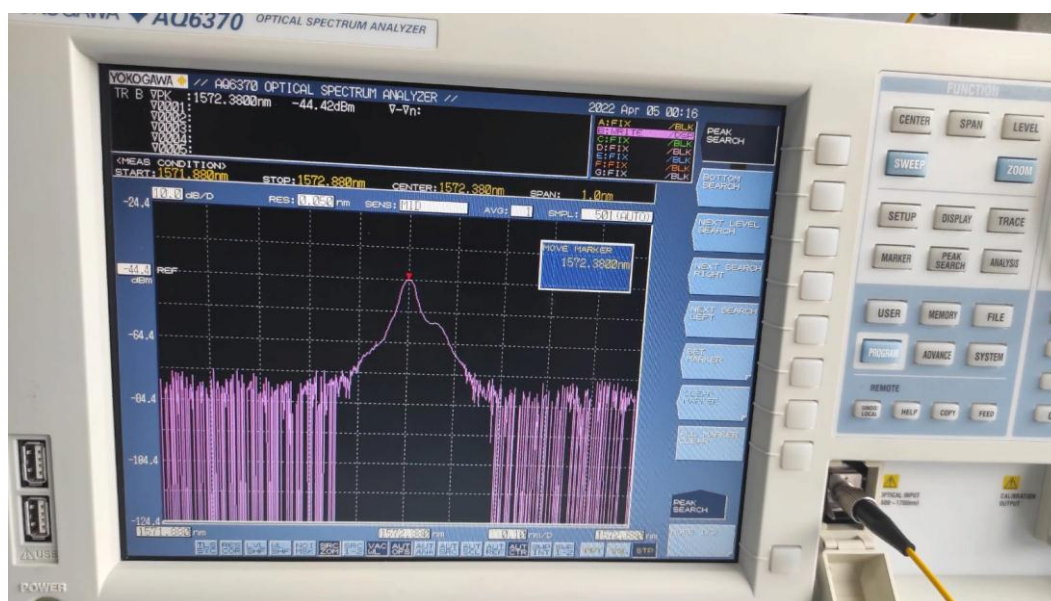


Рис. 1. Опыт 1

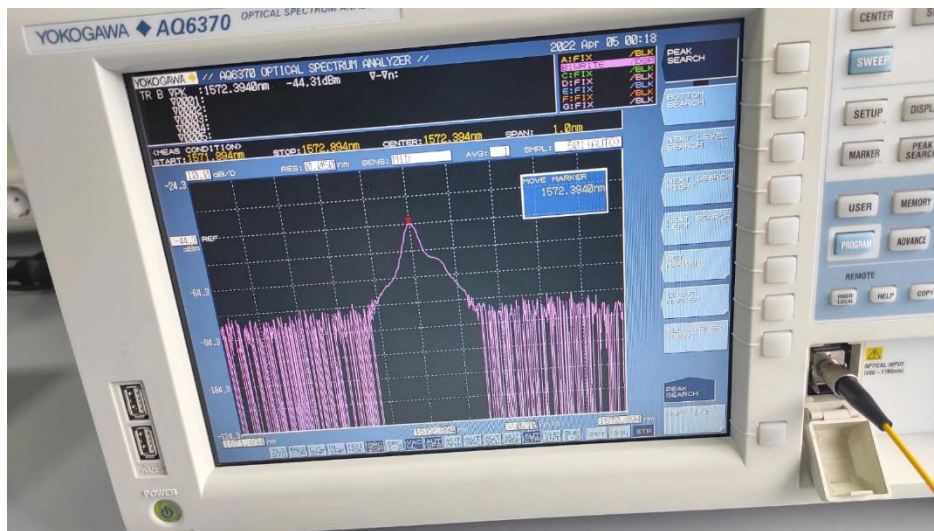


Рис. 2. Опыт 2



Рис. 3. Опыт 3

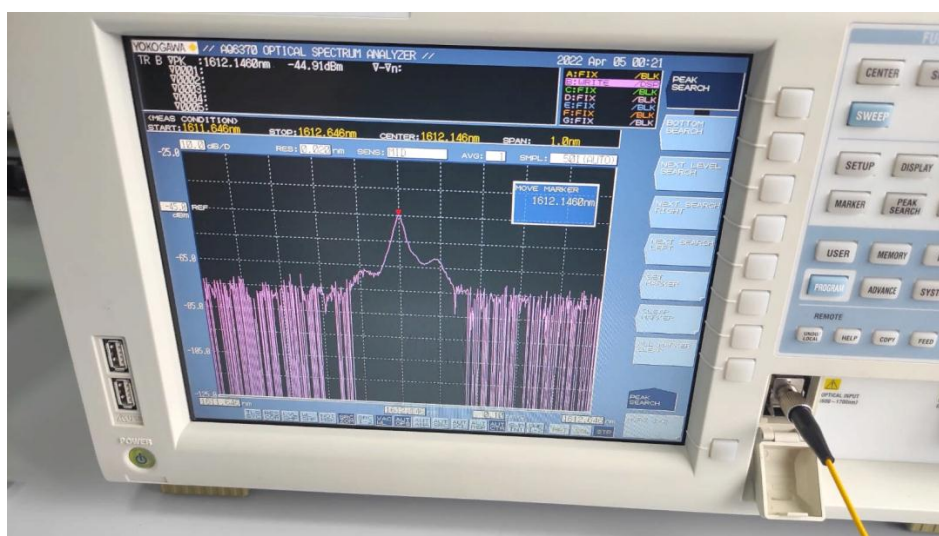


Рис. 4. Опыт 4



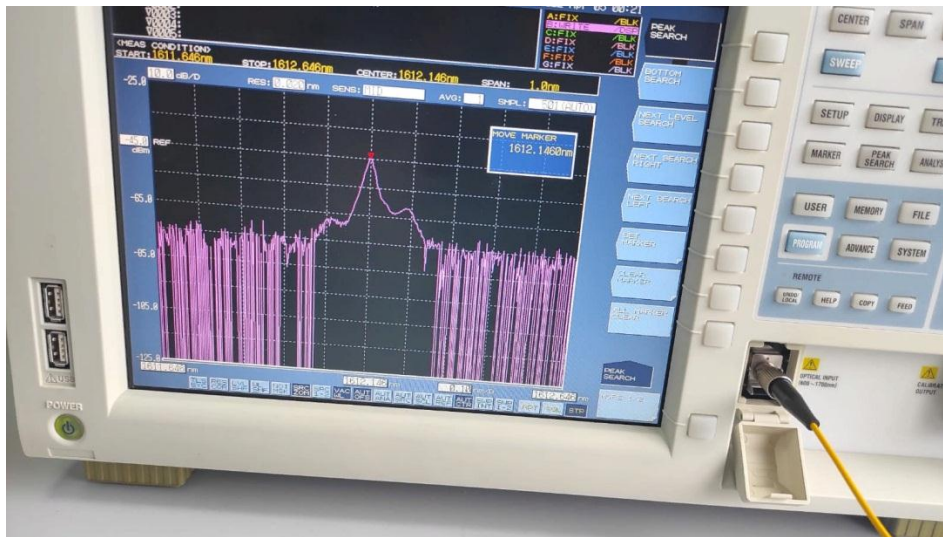


Рис. 5. Опыт 5

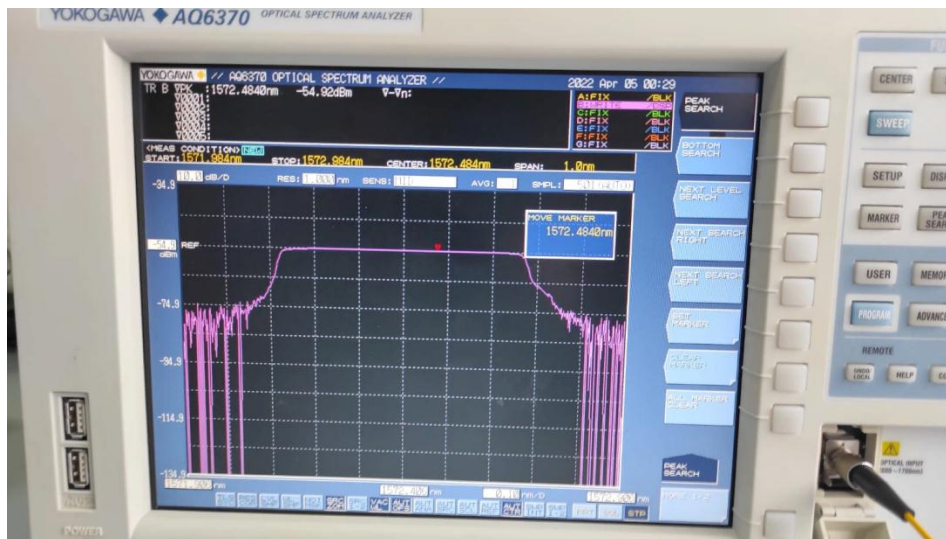


Рис. 6. Опыт 6

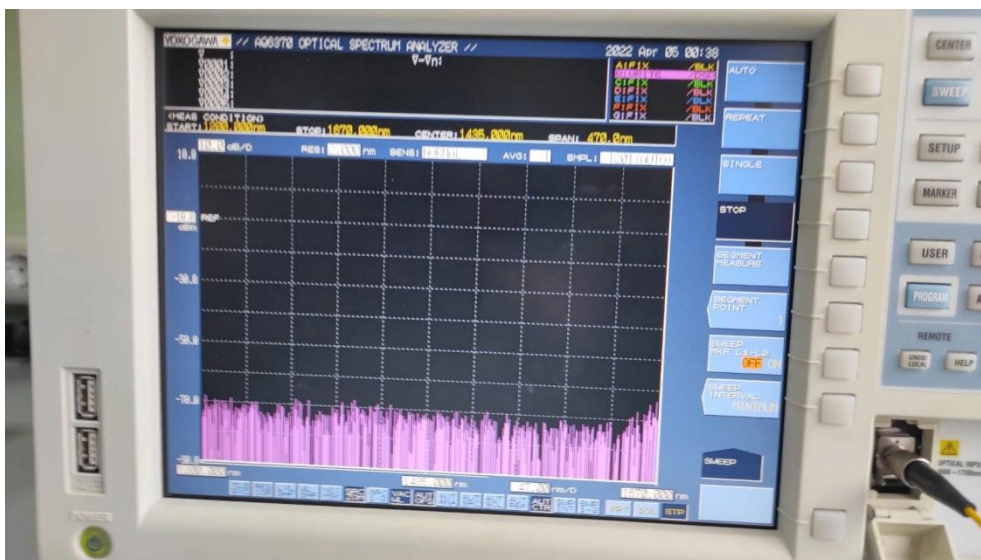


Рис. 7. Опыт 7

Выходные данные различных спектров излучения, полученных в ходе опытов, представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ Опыта	Длина волны	Дб
1	1572.3800	-44,4
2	1572.3940	-44,3
3	1591.0260	-45,1
4	1612.1460	-45,0
5	1612.1460	-45,0
6	1572.4840	-54,9
7	Отсутствие сигнала	

Вывод: приборы фотоники и оптоэлектроники широко применяются в различных лазерных и оптических биомедицинских технологиях. Уникальные свойства оптического, и в том числе лазерного излучения, весьма эффективно используются для достижения оптимального диагностического, терапевтического и хирургического эффектов практически во всех областях современной медицины.

При разработке лазерных и оптических биомедицинских технологий, для адекватного и эффективного использования устройств фотоники в медицине и биологии необходимо знать оптические свойства биотканей, глубоко разбираться в процессах, происходящих в биотканях при оптическом воздействии, хорошо знать свойства и особенности устройства современных медицинских оптических и лазерных приборов, средств доставки лазерного излучения, понимать роль фотонных устройств при решении диагностических, терапевтических и хирургических задач, обладать информацией о преимуществах, недостатках и перспективах современных лазерных и оптических биомедицинских технологий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов В. К. и др. Лазерные технологии изготовления индивидуальных имплантатов и матриц для тканевой инженерии //Оптический журнал. – 2007. – Т. 74. – №. 9. – С. 73-79.
2. Тимченко К. А., Новосельцева А. П., Аристов А. А. Исследование методик съема значений оптических плотностей тканей с поверхности головы //Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного форума с международным участием, г. Томск, 12-14 апреля 2016 г.—Томск, 2016. – 2016. – С. 272-277.
3. Раткин Л. Лазерные технологии для nanoиндустрии про //Наноиндустрия. – 2011. – №. 3. – С. 28-30.
4. Подмастерьев К. В. и др. Метрологическое обеспечение биомедицинских приборов и технологий для функциональной диагностики //Биотехносфера. – 2012. – №. 5-6 (23-24). – С. 92-96.

УДК 004.7

А. Р. ХАКИМЬЯНОВ

*Arturh99@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Ю. О. УРАЗБАХТИНА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В ЛПУ

**Аннотация.** В наше время невозможно представить эффективную работу лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ) без интеграции во все сферы его деятельности информационных технологий. Современные российские медицинские учреждения модернизируются с внедрением автоматизации процессов, интеграции специализированных информационных пространств различных ЛПУ в единую иерархическую структуру. Разработаны технологии электронных регистратур и медицинских карт пациентов. С развитием систем передачи данных стало возможно применение телемедицины, открывающей широкие возможности взаимодействия субъектов лечебно-профилактического процесса. Обеспечение бесперебойной работы ЛПУ жизненно важно для пациентов.

**Ключевые слова:** медицинские информационные системы; информационная безопасность.

Одной из главных проблем при создании медицинских информационных систем (МИС) является обеспечение информационной безопасности (ИБ). При проектировании МИС необходимо учесть обеспечение сохранности данных о здоровье пациента, ходе его лечения, а также информации о самой МИС: кодов ее модулей, методов хранения и обработки данных и пр. При этом часть данных, вводимых, обрабатываемых и хранимых в процессе функционирования медицинских информационных систем, являются персональными или могут составлять врачебную тайну, требующей особой защиты от доступа злоумышленников.

Особенностью медицинской информации является ее конфиденциальность. Права граждан на конфиденциальность информации о факте обращения к врачу и иных передаваемых ими при обращении за медицинской помощью сведений установлены Федеральным законом от 21.11.2011 №323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» и постановлением Правительства Российской Федерации от 22.07.1993 5488–1 «Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан».



Ключевыми факторами при создании МИС должны стать: обеспечение целостности базы данных для недопущения потери критически важной информации; возможность наблюдения за состоянием самой системы; возможность восстановления утраченных данных. [1]

Уровень информационной безопасности определяется уровнями конфиденциальности, целостности и доступности. Эти уровни взаимосвязаны. С увеличением числа механизмов защиты конфиденциальности и целостности базы данных непременно усложняется процедура получения, а, следовательно, и обработки информации, снижается скорость работы программного обеспечения (ПО) и его надежность. Таким образом, при формировании систем ИБ для эффективного функционирования ЛПУ требуется учитывать специфику организации, а именно: массовость, требующая максимально возможное сокращение времени приема пациентов; срочность оказываемых услуг, требующих немедленного доступа к медицинской карте; минимизация простоя оборудования ввиду их дороговизны. Максимальная защищенность практически остановит деятельность ЛПУ, поэтому необходимо внедрение минимального, но достаточного уровня защиты.

Основные направления возможных нарушений информационной безопасности:

- утечка данных (полное нарушение конфиденциальности при получении злоумышленником доступа к БД или частичное — при получении злоумышленником доступа к неразрешенной для него информации);
- утрата данных (разрушение носителей, стирание информации при непосредственном доступе к данным или посредством информационной системы);
- несанкционированная модификация данных (посредством информационной системы или при непосредственном доступе к БД);
- отказ функционирования (в связи с повреждением информационной системы);
- некорректное функционирование информационной системы (вследствие несанкционированного изменения модулей информационной системы).

Следующая совокупность сервисов безопасности достаточна для построения защиты, соответствующей современным требованиям:

- идентификация/аутентификация;
- разграничение доступа;
- протоколирование/аудит;
- экранирование;
- туннелирование;
- шифрование;
- контроль целостности;
- контроль защищенности;
- обнаружение и нейтрализация отказов;
- оперативное восстановление;
- управление конфигурацией системы.

Модель защиты “усредненной” медицинской организации представлена на рисунке 1. [2]

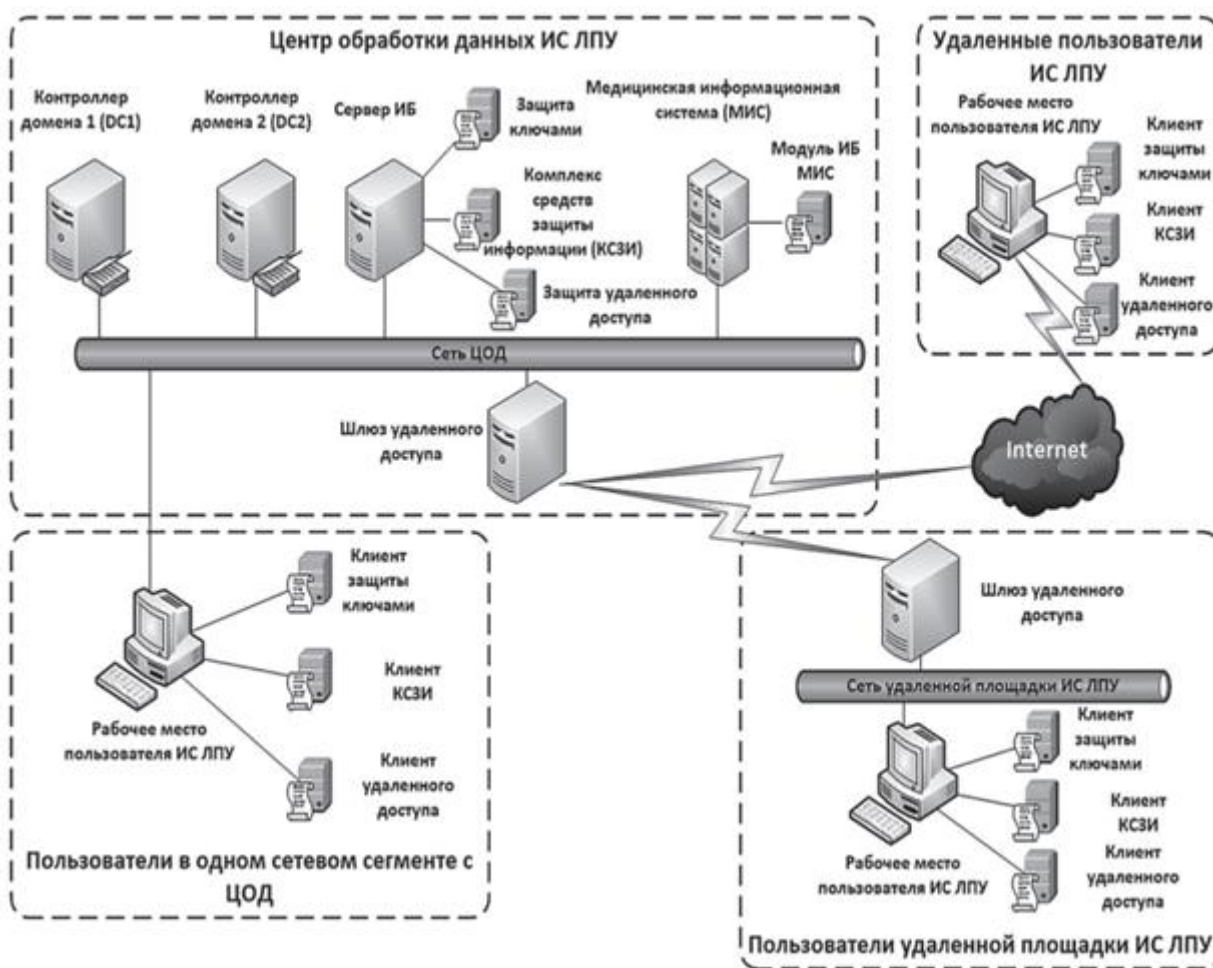


Рис. 1. Модель защиты МИС

Описание элементов модели:

– контроллер домена – серверы, образующие логическую структуру информационной среды: корневой домен, дочерние домены, пользователи и их права в информационной среде;

– МИС – сервер приложений, который включает в себя МИС;

– модуль ИБ МИС – определяет права и полномочия пользователей МИС, а также подключаемых дополнительных программно-аппаратных комплексов;

– сеть удаленной площадки ИС ЛПУ – локально-вычислительная сеть в границах площадки, на которой располагаются компоненты вычислительной среды;

– шлюз удаленного доступа – сервер, который обеспечивает защиту от угроз, связанных с взаимодействием между центром обработки данных (ЦОД) и удаленными площадками или удаленными пользователями по каналам связи, как доверенным, так и каналами общего доступа;

– сервер ИБ – сервер, на котором располагаются компоненты ИБ всей сети;

– защита ключами – серверное ПО, расположенное на сервере ИБ, которое управляет идентификацией и аутентификацией пользователей и устройств с помощью электронных ключей;

– комплекс средств защиты информации (КСЗИ) – серверное ПО, расположенное на сервере ИБ, которое обеспечивает соответствие всей информационной среды техническим мерам, предусмотренным приказом ФСТЭК России от 18 февраля 2013 г. № 21; [3]

– защита удаленного доступа – серверное ПО, расположенное на сервере ИБ, которое регламентирует удаленный доступ в соответствии с установленными политиками ИБ;

– клиент защиты ключами – клиентское ПО, которое входит в состав рабочего места пользователя и обеспечивает идентификацию и аутентификацию,

как пользователя, так и программно-аппаратных средств, которые он использует;

– клиент КСЗИ – клиентское ПО, которое входит в состав рабочего места пользователя и обеспечивает взаимодействие с комплексом средств защиты информации;

– клиент удаленного доступа – клиентское ПО, которое входит в состав рабочего места пользователя, обеспечивает доступ к удаленным компонентам информационной среды, а также обеспечивает доступ к ресурсам Internet в соответствии с политиками ИБ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпов О. Э., Микерин Д. С. Защита информации в медицинских информационных системах — необходимость внедрения //Автоматизация процессов, цифровые и информационные технологии в управлении и клинической практике лечебного учреждения: научные труды / Под ред. О. Э. Карпова. — М.: Деловой экспресс, 2016. — С. 187–204.
2. Гулиев Я. И., Цветков А. А. Обеспечение информационной безопасности в медицинских организациях. – 2016.
3. Приказ Федеральной службы по техническому и экспертному контролю России от 18.02.2013 г. (зарегистрирован Министерством юстиции РФ 14.05.2013 г.) № 21 “Состав и содержание организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных” [Электронный ресурс] /Сайт ФСТЭК России. - Режим доступа: Приказ ФСТЭК России от 18 февраля 2013 г. N 21 - ФСТЭК России (fstec.ru). - Дата доступа: 10.09.2022.

А. Р. ХАКИМЬЯНОВ

Arturh99@mail.ru

Науч. руковод. — канд. техн. наук, доц. Ю. О. УРАЗБАХТИНА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЕРТИЛЬНОСТИ СПЕРМАТОЗОИДОВ ЧЕЛОВЕКА

**Аннотация.** На протяжении последних десятилетий проблема бесплодия остается одной из ведущих в современной медицине и приобретает медико-социальное значение [1]. Это связано с увеличением частоты распространения бесплодия в парах, что приводит к снижению рождаемости, и как следствие, к снижению численности населения. В мире распределение бесплодия из-за мужского фактора варьируется от 20% до 70%, а процент бесплодных мужчин варьируется от 2,5 до 12%. Согласно исследованиям, показатели бесплодия самые высокие в Африке, а в Северной Америке, Австралии и Центральной и Восточной Европе варьировались от 4,5–6%, 9% и 8–12% соответственно [2, 3]. В России от 8 до 17% пар признаются бесплодными. За последние 20 лет наметилась стойкая тенденция к росту числа мужчин, страдающих бесплодием: их количество увеличилось до 50% (среди бесплодных пар) [4, 5]. Использование современных молекулярно-биологических методов исследований способно расширить наше понимание о том, какие именно нарушения вносят основной вклад в развитие бесплодия у мужчин, а также может являться первым шагом для разработки будущей терапии.

**Ключевые слова:** сперматозоид; фертильность.

Эякулят является продуктом деятельности двух систем:

- яичек, вырабатывающих «концентрат» сперматозоидов, составляющий 2–5% от объема эякулята;
- группы желез, вырабатывающих семенную жидкость (секрет простаты, составляющий 25–35%, секрет семенных пузырьков – 50–60%, пара- и бульбоуретральных желез – 5–10%).

Выброс содержимого секреторных желез и «концентрата» сперматозоидов из дистального отдела семявыносящих протоков происходит в просвет уретры. Далее в результате мышечных сокращений уретры эякулят перемещается с ее содержимым (слизь, выделения пара- и бульбоуретральных желез; клетки, слущенные со стенок уретры), затем происходит порционный выброс сформировавшегося эякулята. В первых порциях эякулята находится наибольшее количество сперматозоидов.

На данный момент универсальным клиническим методом оценки качества сперматозоидов является спермограмма, нормы основных параметров которой регулируются ВОЗ. С каждым изданием нормы снижаются, так как исходят от средних показателей фертильности мужчин, что свидетельствует о негативной тенденции. Исследование морфологии является очень значимым этапом спермограммы, при этом успешное качество окрашивания сперматозоидов для подсчета по строгим критериям Крюгера может быть достигнуто лишь при использовании сложных методов. Сперматозоид с эталонным строением (по критериям Крюгера) имеет овальную головку с четко выделенной более светлой зоной, хвостом и шейкой. Указанную светлую зону также именуют акросомой. Обычно она занимает примерно 50–70% верхней части сперматозоида. Клетка также должна иметь тонкую шейку, не закрученный, слегка извилистый хвост одной толщины по всей длине с незначительным сужением посередине.

Морфология сперматозоидов по Крюгеру основывается на нескольких параметрах:

- головка имеет овальную форму 4–5 мкм в длину;
- ширина головки составляет 2,5–3,5 мкм;
- акросома (мембранный пузырек, содержащий ферменты для разрушения оболочки яйцеклетки) занимает не менее 40% площади головки;
- шейка длиннее головки в 1,5 раза и составляет не менее 7–8 мкм;
- цитоплазматическая капля на шейке составляет не более  $\frac{1}{3}$  от ширины головки;
- хвост ровный, длина составляет 40–50 мкм.

Важным свойством сперматозоида является его способность связываться с гиалуроновой кислотой, основным компонентом блестящей оболочки яйцеклетки. Гиалуроновая кислота (ГК) принадлежит к семейству гликозаминогликанов, синтезируется на внутренней поверхности цитоплазматической мембраны ооцита и является основным компонентом внеклеточного матрикса кумулюсно-ооцитарного комплекса. Рецепторы к ГК присутствуют на мембране

сперматозоида, что обеспечивает его прикрепление к блестящей оболочке ооцита. Предполагается, что только структурно зрелые сперматозоиды, закончившие спермиогенез, могут связываться с ГК. [6] Тест на связывание сперматозоидов с гиалуроновой кислотой является лишь частью комплексного обследования.

Оценка степени фрагментации ДНК сперматозоида важна для достижения оплодотворения, и разработаны зонды, позволяющие разделять живые сперматозоиды в магнитном поле по этому признаку – magneticactivated cell sorting (MACS, это метод подготовки спермы, созданный для оптимизации процесса отбора здоровых, не имеющих дефектов или признаков апоптоза (смерти клеток) сперматозоидов, которые затем могут быть использованы при применении методов вспомогательных репродуктивных технологий, увеличивая таким образом вероятность наступления беременности). Подобный отбор здоровых, эталонных клеток необходим для дальнейших исследований.

После завершения упаковки хроматина на завершающих стадиях сперматогенеза большая часть ДНК ассоциирована с протаминами, только 5—15% остается связанной с гистонами. Предполагают, что эти участки после оплодотворения первыми становятся местами транскрипции и нужны для активации всего мужского генома. Но из-за того, что в этих участках ДНК остаются не защищенными протаминами, они особенно чувствительны к действию повреждающих факторов. [7] При этом открытые участки чувствительны ко многим внешним факторам (в том числе и к вредным привычкам, экологии и т. п.), от чего нередко концентрация полностью здоровых клеток в лучшем случае превысит 30%.

Одним из новейших методов являются транскриптомные исследования, разработанные для изучения совокупности всех РНК-транскриптов. Транскриптомные исследования позволяют проводить изучение десятков тысяч генов одновременно, что значительно улучшает шансы при поиске новых маркерных

генов. Для этих целей отбираются зондами здоровые клетки (“захват” магнитными частицами в зависимости от поверхностных антигенов).

Исследования специфичных транскриптов сперматозоида проводятся как с помощью метода полимеразной цепной реакции (ПЦР) в реальном времени (в случае одиночных генов), так и экспрессионных чипов. Принцип первого метода следующий:

- сначала с образцами РНК проводят реакцию обратной транскрипции, запускаемой с полиА-тракта с помощью олигоТ-праймеров, в результате чего получают первую цепь комплементарной ДНК;

- затем, используя первую цепь как матрицу и пару специфических праймеров, сайты для которых расположены где-либо в представляющем интерес транскрипте, проводят ПЦР, в результате чего амплифицируется фрагмент транскрипта до количеств, позволяющих детектировать его простым гелевым электрофорезом;

- количественный характер данных достигается с помощью параллельного проведения всей процедуры с тестируемым транскриптом и неким маркерным/стандартным транскриптом, точная концентрация которого была определена ранее.

Метод экспрессионных чипов выглядит следующим образом:

- РНК, выделенная из культуры клеток, подвергается обратной транскрипции, в результате которой получается меченная кДНК;

- внесение метки (например, включение флуоресцентно меченных нуклеотидов в процессе синтеза кДНК или кРНК);

- меченная таким образом ДНК или РНК гибридизуется на микрочипе, после чего смывается.

В каждой точке чипа (в которой произошла гибридизация) детектируется флуоресцентный сигнал, возбуждаемый светом лазера и регистрируемый, как правило, сканирующим конфокальным микроскопом.



При выполнении данного типа исследований чаще всего используется сравнение профилей экспрессии у мужчин с нарушением сперматогенеза и фертильных мужчин, с целью выявления характерных маркеров фертильности.

Представленные выше системные методы обладают очевидным преимуществом при общем скрининге, однако не являются исчерпывающими в плане исследования функций отдельных генов. В данном случае использование модельных животных является одним из прогрессивных методов, позволяющих изучать патологию развития болезни в контексте целого организма. Существуют различные стратегии получения модельных организмов, в частности, они могут быть направлены как на нарушение функции гена (нокаут), так и на изменение функции уже существующего гена (трансген).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулаков В. И., Назаренко Т. А., Тер-Аванесов Г. В. Бесплодный брак: достижения, проблемы, перспективы. // Тезисы конференции «Мужское здоровье», 2003.
2. Абоян И.А., Грачев С. В., Павлов С. В. и др. Структура и корреляция мужского бесплодия.// Материалы 8-го Конгресса «Мужское здоровье», Ереван, - 2012.-С.10.
3. Agarwal A., Mulgund A., Hamada A., Chyatte M.R. A unique view on male infertility around the globe // *Reprod Biol Endocrinol.*- 2015, Vol.26(4). - p.13-37.
4. Витязева И. И., Алташина М. В., Мун Т. В., Трошина Е. А. Влияние ожирения на индекс фрагментации ДНК сперматозоидов и исходы программы ЭКО // *Проблемы эндокринологии.* 2015. – Т. 61. – № 5. – С. 48–55.
5. Mascarenhas M. N., Flaxman S. R., Boerma T., Vanderpoel S., Stevens G. A. National, regional, and global trends in infertility prevalence since 1990: a systematic analysis of 277 health surveys. // *PLoS Med.*-2012.- Vol.9(12): e1001356.
6. Назаренко Р. В., Здановский В.М. Методы селекции сперматозоидов для процедуры интрацитоплазматической инъекции сперматозоида в программах экстракорпорального оплодотворения (обзор литературы). *Проблемы репродукции.* 2019;25(2):83- 89.
7. Божедомов В. А., Виноградов И. В., Липатова Н. А., Спориш Е.А., Рохликов И. М. Нарушения структуры хроматина сперматозоидов: клиническое значение, причины, диагностика, лечение (обзор литературы). *Проблемы репродукции.* 2012;(5):80- 88.

## СЕКЦИЯ 3.4 ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.396.66

И. О. АБДРЕЕВ, В. В. ИВАНОВ, Г. С. ВОРОНКОВ, И. В. КУЗНЕЦОВ

*abdreev.ivan@yandex.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. И. В. КУЗНЕЦОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

### РЕАЛИЗАЦИЯ КООРДИНИРОВАННОГО ГРУППОВОГО КОДЕКА НА ПЛАТЕ ORANGE PI PC

**Аннотация.** В целях увеличения энергоэффективности технологий «Интернет вещей», предлагается использование координированных групповых кодеков. Для проверки предложенного решения, данный метод кодирования был реализован на плате Orange PI PC. Анализ полученных результатов показал возможность снижения энергопотребления и, как следствие, объемов энергозатрат на передачу данных между устройствами.

**Ключевые слова:** кодирование; энергоэффективность; датчики; Orange PI PC; IoT; данные.

#### ***Введение***

В настоящее время идет быстрое развитие технологии «Интернет вещей» (англ.-Internet of Things, IoT), в частности систем «умный дом», что, в свою очередь, увеличивает количество устройств и, как следствие, их общее энергопотребление. Так как количество подключаемых устройств возрастает по экспоненциальному закону [1], следовательно, и потребляемая ими энергия растет в соответствии с этим законом. Это в свою очередь повышает важность обеспечения энергоэффективности таких устройств. В системах IoT около 20% энергозатрат, от общего энергопотребления, затрачивается на обеспечения передачи данных между устройствами [2]. Классическим решением снижения энергопотребления в данной области является использование компромиссов между энергоэффективностью и качеством передаваемых сигналов. Так как датчики и сенсоры используемые в системах «Интернета вещей», передают информацию, которая обладает заведомо высокой степенью корреляции и, как следствие, избыточностью [3], перспективным решением проблемы повышения энергоэффективности является использование координированных групповых кодеков, в том числе – дифференциальной импульсно-кодовой модуляции [4]. Это позво-

лит не только понизить энергозатраты для устройств систем «Умный дома» и «Интернет вещей», но и, в свою очередь, уменьшить их электромагнитное влияние на общий эфир, в котором находится множество других устройств, а также сократить вредные выбросы в окружающую среду.

Для проверки предложенного решения требуется аппаратная реализация кодеков. *Целью работы* является реализация координированных кодеков, описанных в работах [4], на плате Orange Pi PC [5].

*Реализация:* алгоритм, представленный в работе [4] был реализован на программном языке Python 3.0. В данной программе реализована схема, представленная на рисунке 1.

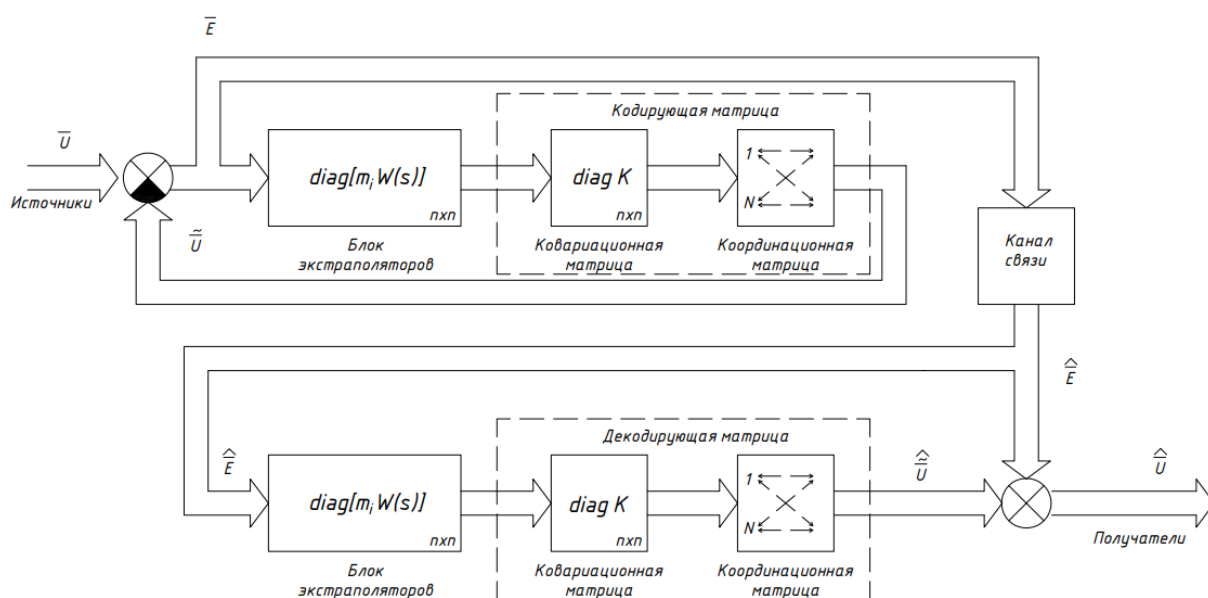


Рис. 1. Структура координированного группового кодека

Для аппаратной реализации данный программный код был установлен на плату Orange Pi PC [5]. В статье [3] было показано, что сенсорные датчики в системах IoT обладают коэффициентом корреляции от 0,5 до 1. Для проверки предложенного решения, в качестве сигналов с датчиков выступают случайно генерируемые сигналы с коэффициентами корреляции 0,9.

В результате эксперимента были получены осциллограммы сигналов, соответствующие каждому каналу связи. На Рис 2 показано сравнение амплитуд между сигналом на передатчике и канальным сигналом, для первого канала

связи. Амплитуда канального сигнала намного ниже в сравнении с амплитудой сигнала до этапа кодирования. Далее данный сигнал был полностью восстановлен на приемной части устройства, не допустив потерь или искажения данных.

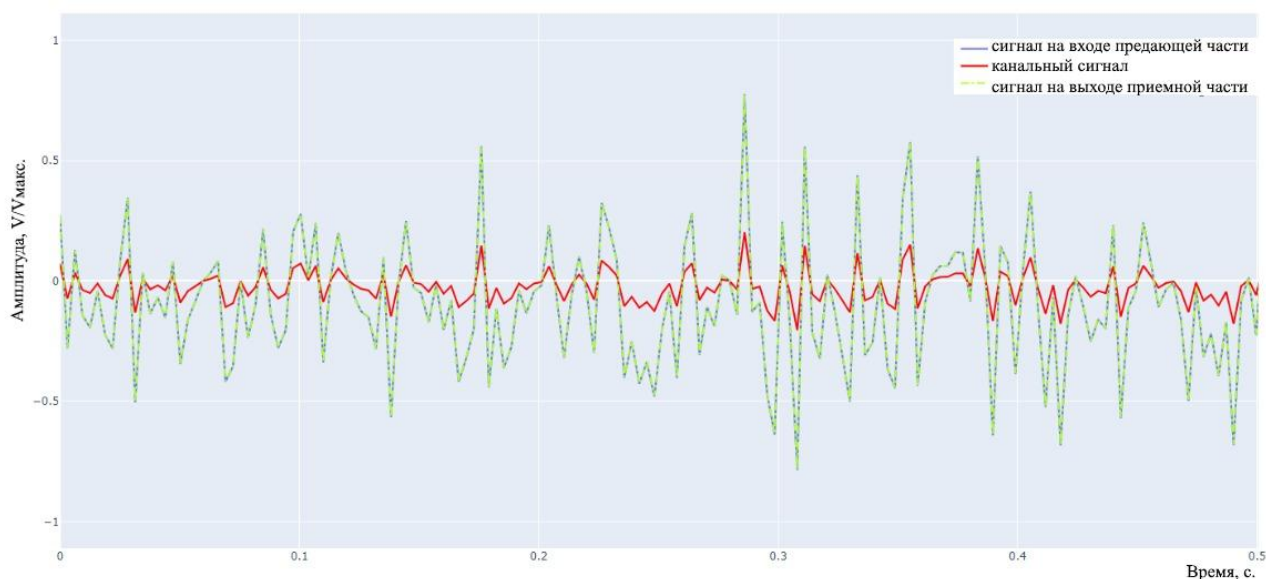


Рис. 2. Осциллограмма сигнала в первом канале связи

Из расчетов в программе, представленных на Рис, видно уменьшение уровня передаваемого сигнала по каждому каналу связи. Для примера, уровень сигнала первого канала уменьшился в 11.67 раза.

Num channel	reduction
1	-11.670165061950684
2	-11.695589065551758
3	-11.66856861114502
4	-11.693248748779297

Рис. 3. Данные об изменении уровня сигнала по каждому каналу связи

### **Заключение**

Использование координированного группового кодека позволило уменьшить уровень сигнала на выходе передатчика, и полностью восстановить его на выходе приемника. Из этого можно сделать вывод, что при сохранении прежнего отношения сигнал/шум, уменьшилась потребляемая мощность системы, и как следствие уменьшились энергозатраты на передачу данных. Данный алго-

ритм будет эффективен для систем обрабатывающих высоко коррелированные сигналы, в частности в концепции IoT.

В дальнейшем планируется реализовать предложенный метод кодирования на микроконтроллерах (Arduino, ESP8266, STM32 и др) , так как они имеют более низкое энергопотребление, по сравнению с платой Orange Pi PC.

*Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-10407).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Al-Sarawi S. et al. Internet of things market analysis forecasts, 2020–2030 //2020 Fourth World Conference on smart trends in systems, security and sustainability (WorldS4). – IEEE, 2020. – С. 449-453.
2. Zahn F., Lammel S., Fröning H. Early experiences with saving energy in direct interconnection networks //2017 IEEE 3rd International Workshop on High-Performance Interconnection Networks in the Exascale and Big-Data Era (HiPINEB). – IEEE, 2017. – С. 33-40.
3. Ganesan A., Rao J., Shin K. Exploiting consistency among heterogeneous sensors for vehicle anomaly detection. – SAE Technical Paper, 2017. – №. 2017-01-1654.
4. Voronkov G. S., Kuznetsov I. V., Sultanov A. K. Increasing the energy efficiency of OFDM systems using differential signal conversion //CEUR Workshop Proceedings. – 2017. – Т. 1901. – С. 259-263.
5. <http://www.orangepi.org/html/hardWare/computerAndMicrocontrollers/details/Orange-PiPC.html> (дата обращения: 13.09.2022).

УДК 551.594

М. С. АРСЛАНОВ

*osnovamarsel@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. В. ВОРОБЬЁВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ВЛИЯНИЕ АВРОРАЛЬНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

**Аннотация.** В статье рассматривается современное положение прогнозирования авроральных осадков в современном мире и то, насколько данное исследование важно для современного научного мира. Телекоммуникации, буровые установки, системы навигации – работоспособность всего этого оборудования напрямую зависит от мощности и продолжительности полярного сияния в тех местах, где оно выражено наиболее ярко. Примером может служить полярная зона Российской Федерации, где полярные сияния – не редкость. В данной статье разбираются методы прогнозирования авроральных осадков и разработка системы автоматизации данных методов.

**Ключевые слова:** авроральные осадки, телекоммуникации, методы исследования авроральных осадков, северное сияние.

### ***Введение***

Авроральными осадками и феномен их влияния на телекоммуникации называют особенности распространения радиоволн путем отражения от области полярного сияния – Авроры, наблюдая полярные сияния, еще М. В. Ломоносов высказал предположение о том, что они вызываются мельчайшими заряженными частицами. Дальнейшие наблюдения подтвердили, что области с повышенной ионизацией газа имеют то же происхождение, что и ионосферно-магнитные бури и что оба эти явления возникают одновременно. Они проявляются главным образом в приполярных областях, вблизи геомагнитных полюсов; в средних широтах полярные сияния редки.

На рис. 1 показана область полярных сияний, имеющая вид неправильного овала, границы которого непрерывно меняются.

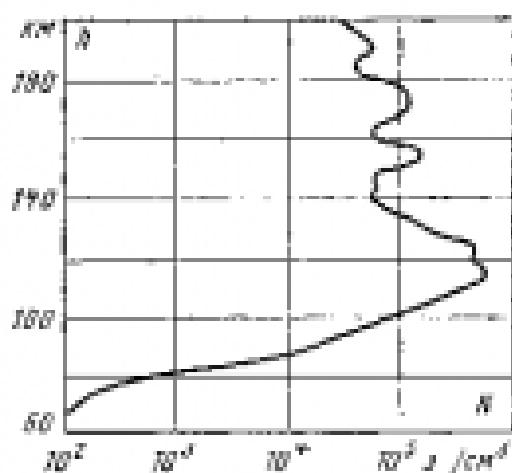


Рис. 1. Распределение электронной плотности по высоте полярного сияния

Однако в радиолокации авроральные воздействия на телекоммуникации мало изучены. На практике теле- и радиостанции подвергаются авроральному воздействию незначительно, около 94% полярных сияний происходит на высотах от 90 до 130 км над земной поверхностью, северные сияния создают помехи как для обычных вышек связи, так и для загоризонтных станций. На экранах индикаторов эти помехи появляются в виде мощных видеосигналов, среди которых практически невозможно обнаружить действительные цели, найдена возможность использования телевышек в изучаемых условиях как метод аврорального прогнозирования.

Для авроральной теле- и радиосвязи характерен повышенный уровень шумов, источником которых является сама отражающая область ионосферы, поэтому для прогнозирования возможности авроральной радиосвязи можно использовать прогноз ионосферно-магнитных бурь. (Таблица 1).

Таблица 1

Прогноз вероятности

Сегодня	Активно	Низкая	Высокая
Высокая широта	15%	20%	15%
Средняя широта	10%	1%	1%

## Прогноз Kp-индекса

	Мин.	Макс.
Воскресенье	Kp1	Kp2
Понедельник	Kp1	Kp2
Вторник	Kp1	Kp2

Указываются прогнозируемые глобальные геомагнитные условия (Kp) для средних и высоких широт (K-индексы). (Таблица 2). Эти значения указывают на ожидаемую геомагнитную активность в течение любого 3-часового периода в течение следующих трех дней. Это самый простой способ узнать, какие геомагнитные условия ожидаются в течение следующих 3 дней. Прогнозы ежедневно обновляются SWPC NOAA и могут отличаться от прогнозов сделанных командой SpaceWeatherLive. Время указано в UTC.

**Заключение**

Долгосрочный прогноз Kp – опубликован как прогнозируемые максимальные ежедневные глобальные геомагнитные условия (Kp) на ближайшие 27 дней. Это самый простой способ узнать, какие геомагнитные условия ожидаются в течение следующих 27 дней. Эти данные обновляются еженедельно с помощью SWPC NOAA. Поскольку космическую погоду предсказать заранее достаточно сложно, эти данные могут быть полезны для прогнозирования возникновения регулярно повторяющихся солнечных событий, например, таких как ветровые потоки и корональные отверстия.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Дир Ч., Холтет Я., Полярная верхняя атмосфера. Пер. с англ. М., 1983 - 456с.
2. Воробьев А.В., Пилипенко В.А., Еникеев Т.А., Воробьева Г.Р., Христовуло О.И. Система динамической визуализации геомагнитных возмущений по данным наземных магнитных станций Научная визуализация. 2021. Т. 13. № 1. С. 162-176.
3. А.В. Воробьев, В.А. Пилипенко, А.Г. Решетников, Г.Р. Воробьева, М.Д. Белов. Веб-ориентированная визуализация геофизических параметров в области аврорального овала (2020). Научная визуализация 12.3: 108 – 118.



Л. И. БАКИРОВА, Г. С. ВОРОНКОВ

*bakirova.li@ugatu.su*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Г. С. ВОРОНКОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ В ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРАХ**

**Аннотация.** В статье предлагается обзор датчиков для определения различных параметров среды с помощью оптических пучков, переносящих орбитальный угловой момент (вихревых пучков), и перспектива их приложений для создания сенсоров на основе фотонных интегральных схем (ФИС).

**Ключевые слова:** орбитальный угловой момент, датчик, вихревые пучки, фотонная интегральная схема.

В последние годы световые пучки, переносящие орбитальный угловой момент, широко используются во многих областях благодаря своим уникальным характеристикам. Такие оптические пучки описываются спиральным фазовым фронтом, т. е. их поперечное распределение электрического поля содержит множитель  $\exp(i\ell\varphi)$ , где  $\varphi$  – азимутальная координата и  $\ell$  – топологический заряд, который определяет переносимый электромагнитной волной ОУМ и может принимать любое целочисленное значение. Благодаря наличию этого множителя фазовый фронт такой волны имеет спиральную форму, при этом в поперечном сечении волны фаза претерпевает  $\ell$  раз изменение от 0 до  $2\pi$ . Таким образом, вихревые пучки представляют собой собственные функции оператора углового момента и переносят ОУМ, пропорциональный  $\ell$  [1, 2].

Оптические вихри находят применение в таких областях, как микропередача («оптический пинцет»), визуализация, микроскопия, измерительная техника, квантовая обработка информации и так далее [3-6].

Особый интерес представляют датчики на основе оптических вихревых пучков, которые имеют ряд преимуществ перед традиционными датчиками [7-9]. Принцип измерений заключается либо в анализе изменения порядка вихря, либо в интерференции оптического вихревого пучка с гауссовским пучком для обнаружения разности фаз. Благодаря таким возможностям ОУМ-пучки

можно использовать для разработки высокоэффективных датчиков. Но реализация сенсорных систем требует громоздких оптических компонентов, которые не совсем подходят для практического применения. Решением этой проблемы могут стать фотонные интегральные схемы, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с электронными аналогами [10, 11].

ФИС (фотонные интегральные схемы) изготавливаются на различных технологических платформах. Наиболее распространены в области сенсорики платформы «кремний-на-изоляторе» (SOI, silicon-on-insulator) и нитрид кремния (SiN). Сенсоры на основе нитрида кремния способны обеспечивать прозрачность для длин волн в видимом и ближайшем инфракрасном диапазоне. Кремний в качестве подложки отличается превосходной механической прочностью, химической и термической стабильностью, низкой стоимостью [12].

На рисунке 1 представлена схема датчика температуры с использованием гауссовского луча и вихревого пучка [13]. В отличие от обычного датчика температуры на основе волоконной брэгговской решетки (ВБР), где используется метод опроса по длине волны, в датчике температуры на основе вихревого пучка и гауссовского луча, температура измеряется путем анализа изменения разности фаз двух лучей, проходящих по разным путям в этой системе.

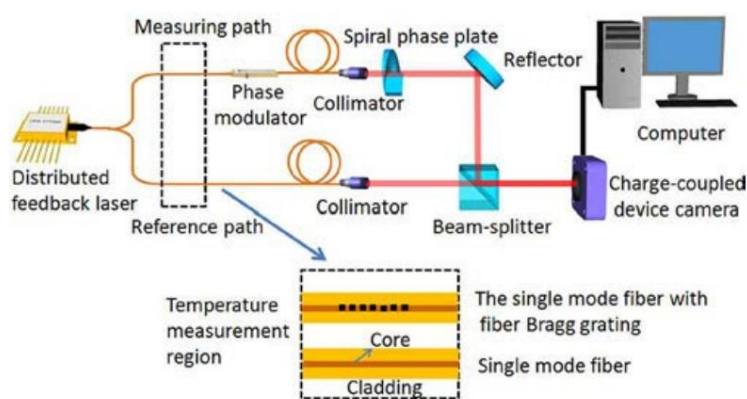


Рис. 1. Схема измерения температуры с использованием вихревого пучка и гауссовского луча [13]

Принцип работы заключается в том, что разность фаз между двумя пучками определяет угол поворота интерференционной картины. Это может

быть зафиксировано камерой в режиме реального времени. Все изображения анализируются компьютером и температура рассчитывается в соответствии с углом поворота интерференционной картины.

Чувствительность данного метода составила  $26^{\circ}/^{\circ}\text{C}$ . По аналогичному принципу авторы статьи [14] реализовали датчик температуры на ВБР с высоким разрешением и большим диапазоном. Результаты моделирования показали, что при диапазоне температур  $27^{\circ}\text{C}$ - $427^{\circ}\text{C}$ , чувствительность этого датчика составляет  $14,42 \text{ пм}/\text{ч.}^{\circ}\text{C}$ .

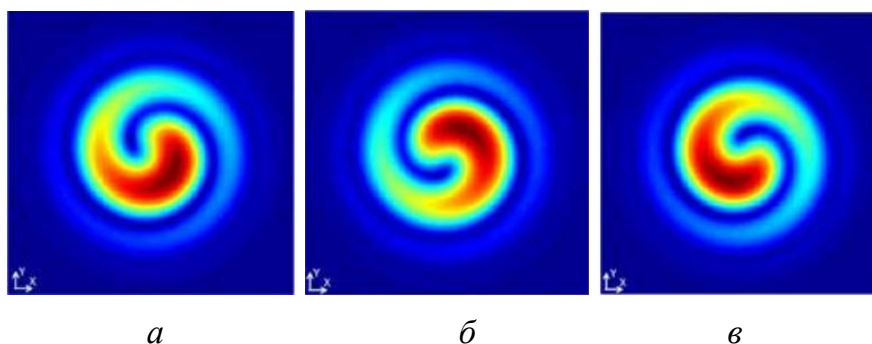


Рис. 2. Интерференционная картина двух световых путей:  
*а* – при  $0^{\circ}\text{C}$ ; *б* – при  $45^{\circ}\text{C}$ ; *в* – при  $90^{\circ}\text{C}$  [14]

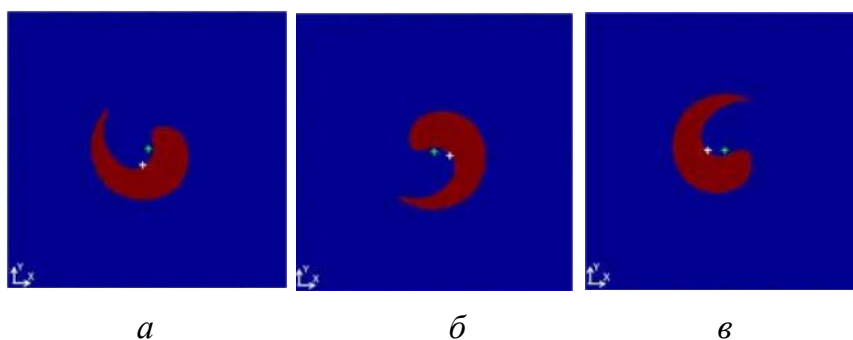


Рис. 3. Интерференционная картина после обработки изображения:  
*а* – при  $0^{\circ}\text{C}$ ; *б* – при  $45^{\circ}\text{C}$ ; *в* – при  $90^{\circ}\text{C}$  [14]

Следующий параметр, который можно измерить с помощью ОУМ – это завихренность, которая является одной из наиболее важных динамических переменных потока. В работе [15] было продемонстрировано вращение твердого тела, где завихренность потока точно известна. Очень маленькие частицы отслеживают поток жидкости и в стационарном состоянии они движутся с локальной скоростью потока и вращаются с локальной угловой скоростью жидко-

сти. В поле потока твердого тела угловая скорость вращения постоянна, а частицы, переносимые потоком, также вращаются вокруг своего центра, как если бы они были частью твердого тела. Подход имеет большие перспективы для анализа нестационарных течений с пространственно-изменяющимся полем завихренности.

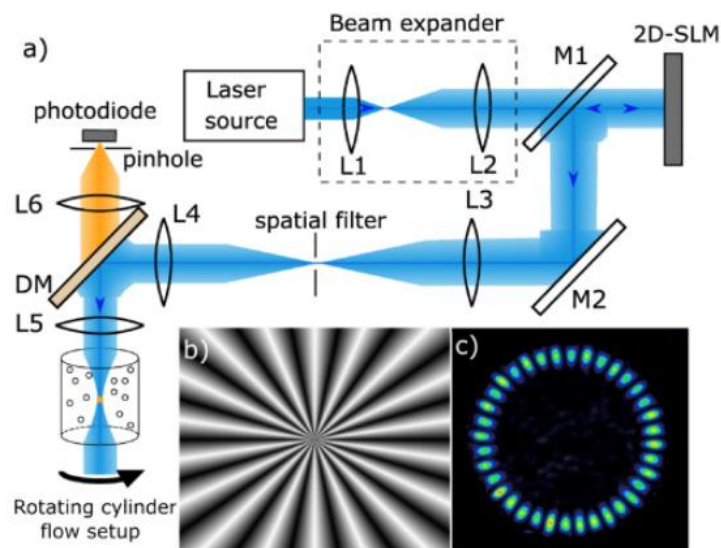


Рис. 4. Измерения угловой скорости и завихренности локального потока:  
*a* – экспериментальная установка; *б* – дифракционная картина, генерирующая моды  $LG \pm 18$ ; *с* – результирующая структура луча, используемая для освещения частиц в потоке жидкости [15]

Также ОУМ можно использовать для комплексного спектрального анализа с целью извлечения данных о форме объекта из спектра интенсивности, а также определения его позиции в пространстве с помощью фазового спектра [16]. В данном случае рассмотрен цилиндрический объект с вырезанным сектором (рисунок 5) и найдена зависимость спектра интенсивности от угла кругового сектора и зависимость фазового спектра от ориентации объекта в пространстве.

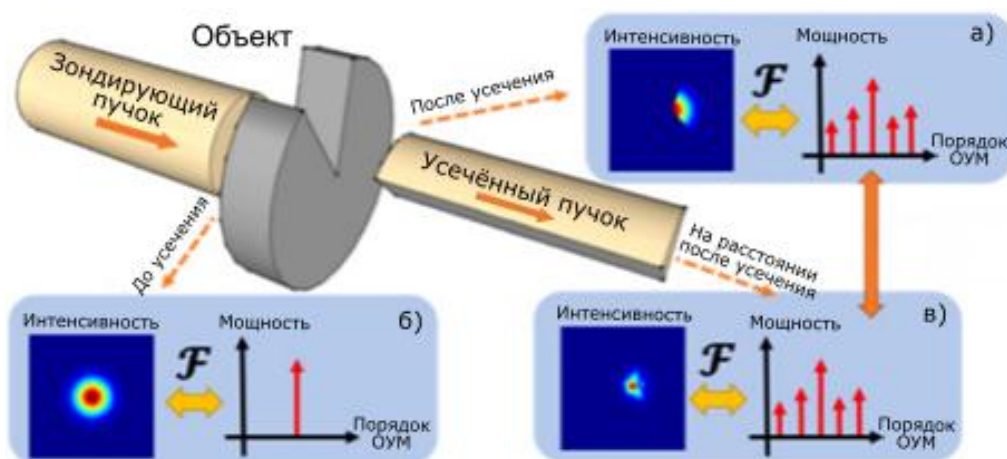


Рис. 5. Принцип использования ОУМ-спектра для определения параметров объекта: а – распределение интенсивности пучка и ОУМ-спектр перед взаимодействием с объектом; б – распределение интенсивности пучка и ОУМ-спектр сразу после взаимодействия с объектом; в – распределение интенсивности пучка и ОУМ-спектр на некотором расстоянии после взаимодействия с объектом [16]

Подводя итог, можно заключить, что применение вихревых пучков в сенсорных системах на основе интегральной фотоники имеет большой потенциал. В работе была рассмотрена малая часть сенсорных систем – датчики температуры, измерения завихренности и определения параметров объекта. Но исследование в этой области намного шире – измерение угловой скорости [17], ахатхаопределение концентрации жидкости [18-20], обнаружение объектов в мутной воде [21]. Во всех этих приложениях есть потребность миниатюризации и повышения плотности интеграции устройств [22]. В связи с этим есть актуальная задача создания сенсоров, основанных на ОУМ-пучках, на основе фотонных интегральных схем.

*Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для ФГБОУ ВО «УГАТУ» (код научной темы #FEUE-2021-0013, соглашение № 075-03-2021-014) в молодежной научно-исследовательской лаборатории НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Allen L. et al. Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre-Gaussian laser modes // *Phys. Rev. A*. 1992. Vol. 45, № 11.
2. Khonina S. N. et al. An analysis of the angular momentum of a light field in terms of angular harmonics // *J. Mod. Opt.* 2001. Vol. 48, № 10.
3. Dholakia, K., and T. Čižmá. "Shaping the future of manipulation." *Nature photonics* 5.6 (2011): 335-342.
4. Padgett, Miles, and Richard Bowman. "Tweezers with a twist." *Nature photonics* 5.6 (2011): 343-348.
5. Dennis, Mark R., et al. "Isolated optical vortex knots." *Nature Physics* 6.2 (2010): 118-121.
6. Bernet, Stefan, et al. "Quantitative imaging of complex samples by spiral phase contrast microscopy." *Optics Express* 14.9 (2006): 3792-3805.
7. Datta A., Saha A. Realization of a highly sensitive multimode interference effect-based fiber-optic temperature sensor by radiating with a Vortex beam // *Optik*. – 2020. – Т. 218. – С. 165006.
8. Lavery M. P. J. et al. Observation of the rotational Doppler shift of a white-light, orbital-angular-momentum-carrying beam backscattered from a rotating body // *Optica*. – 2014. – Т. 1. – №. 1. – С. 1-4.
9. Yao A. M., Padgett M. J. Orbital angular momentum: origins, behavior and applications // *Advances in optics and photonics*. – 2011. – Т. 3. – №. 2. – С. 161-204.
10. Subbaraman, Harish, et al. "Recent advances in silicon-based passive and active optical interconnects." *Optics express* 23.3 (2015): 2487-2511.
11. Fatkhiev, Denis M., et al. "Recent advances in generation and detection of orbital angular momentum optical beams—a review." *Sensors* 21.15 (2021): 4988.
12. Lin H. et al. Mid-infrared integrated photonics on silicon: a perspective // *Nanophotonics*. – 2018. – Т. 7. – №. 2. – С. 393-420.
13. Qiu L. Q. et al. Fiber optic temperature sensor using the orbital angular momentum and gaussian beams // *Instrumentation Science & Technology*. – 2017. – Т. 45. – №. 2. – С. 123-136.
14. Fu H. et al. A high resolution and large range fiber Bragg grating temperature sensor with vortex beams // *Optical Fiber Technology*. – 2020. – Т. 60. – С. 102369.
15. Ryabtsev A. et al. Fluid flow vorticity measurement using laser beams with orbital angular momentum // *Optics express*. – 2016. – Т. 24. – №. 11. – С. 11762-11767.
16. Xie G. et al. Using a complex optical orbital-angular-momentum spectrum to measure object parameters // *Opt. Lett.* 2017. Vol. 42, № 21.
17. Du J. et al. Single-pixel identification of 2-dimensional objects by using complex Laguerre-Gaussian spectrum containing both azimuthal and radial modal indices // *Optics Communications*. – 2021. – Т. 481. – С. 126557.
18. Datta A., Chaturvedi M. Investigation of a highly sensitive vortex beam-shined optical sensor for the detection of glucose concentration in urine // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1091. – №. 1. – С. 012017.
19. Datta A., Saha A. Investigation of an ultra-sensitive fiber-optic fuel adulteration sensor by propagating a higher-order Bessel-Gauss beam // *Optik*. – 2021. – Т. 243. – С. 167408.
20. Na Y., Ko D. K. High-resolution refractometry using phase shifting interferometry based on spatial light modulator and vortex probe // *Optics & Laser Technology*. – 2019. – Т. 112. – С. 479-484.
21. Jantzi A. et al. Enhanced underwater ranging using an optical vortex // *Optics express*. – 2018. – Т. 26. – №. 3. – С. 2668-2674.
22. Kim I. et al. Nanophotonics for light detection and ranging technology // *Nature nanotechnology*. – 2021. – Т. 16. – №. 5. – С. 508-524.

Е. П. ГРАХОВА, Е. Н. КАТЕРИНКИНА  
*Grakhova.ep@ugatu.su, keykot19@yandex.ru*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **РАЗРАБОТКА СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ С ФУНКЦИЕЙ УПРАВЛЯЕМОЙ ЧАСТОТНОЙ СЕЛЕКЦИИ**

**Аннотация.** В статье представлена разработка сверхширокополосной антенны, обеспечивающая функцию управляемой частотной селекции.

**Ключевые слова:** сверхширокополосная антенна; частотная селекция; режекторная антенна; микрополосковая антенна; сегнетоэлектрики.

В настоящее время проблема перегруженности существующих каналов связи постоянно возрастающим трафиком стоит достаточно остро и требует поиска новых решений для преодоления кризиса пропускной способности. К тому же стремительно развитие технологий и приложений беспроводной связи сопровождается появлением новых стандартов, диапазон рабочих частот которых постоянно смещается с перегруженного верхнего микроволнового диапазона в сторону миллиметровых волн. Технология сверхширокополосной (СШП) связи, работающая в широком частотном диапазоне (от 2,85 ГГц до 10,6 ГГц), способна поддерживать предельные показатели пропускной способности каналов при компактных габаритах и сравнительно низком энергопотреблении излучающих устройств.

Таким образом, перспективным решением вышеупомянутой проблемы является разработка СШП антенны, которая одновременно поддерживает работу нескольких стандартов связи (например, WLAN-IEEE 802.11a (5,15 – 5,825 ГГц), мобильной связи поколения 5G (4,8 – 4,99 ГГц)), а также обладает управляемой частотной избирательностью во всем рабочем диапазоне по обусловленным пользователем требованиям.

В основе разработки СШП антенны с функцией частотной селекции лежит прототипа микрополосковой СШП антенны «Bug» [1], предназначенной для работы в диапазоне частот 3,4 – 12 ГГц. Согласно проведенным измерени-

ям [2], результаты определения  $S_{11}$ -параметров и диаграммы направленности (ДН) демонстрируют высокую эффективность работы устройства.

Реализации частотной селекции предлагается достичь за счет применения сегнетоэлектриков – материалов обладающей спонтанной поляризацией, направление которой изменяется благодаря внешнему электрическому полю. В проектируемом устройстве предлагается использовать ниобат лития (смешанный оксид ниобия и лития). Для внедрения сегнетоэлектрика в прототип антенны, в излучающем элементе был выполнен вырез, оптимальная форма которого была определена в ходе проведения имитационного моделирования. На рисунке 1 представлены несколько образцов устройств с различной формой выреза в виде геометрических фигур: прямоугольника, квадрата, ромба, круга и дуги.

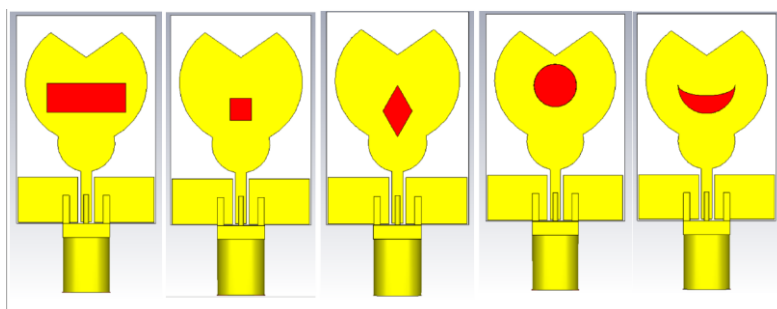


Рис. 1. Варианты реализации выреза для заполнения сегнетоэлектриком

Для каждого из образцов проведено имитационное моделирование в программном пакете CST Studio Suite и получены графики  $S_{11}$ -параметров, значения коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) и ДН. Размещение сегнетоэлектрика (обозначен красным цветом на рис. 1) в каждом случае выполнено насквозь (т.е. кристалл ниобата лития полностью заполняет форму выреза). В цикле оптимизации изменялись длина и ширина выреза, а также его расположение по высоте. По результатам был сделан вывод, что наилучшими показателями обладает образец с прямоугольной формой выреза. На рисунке 2 представлены полученные графики изменений  $S_{11}$ -параметров и КСВН.



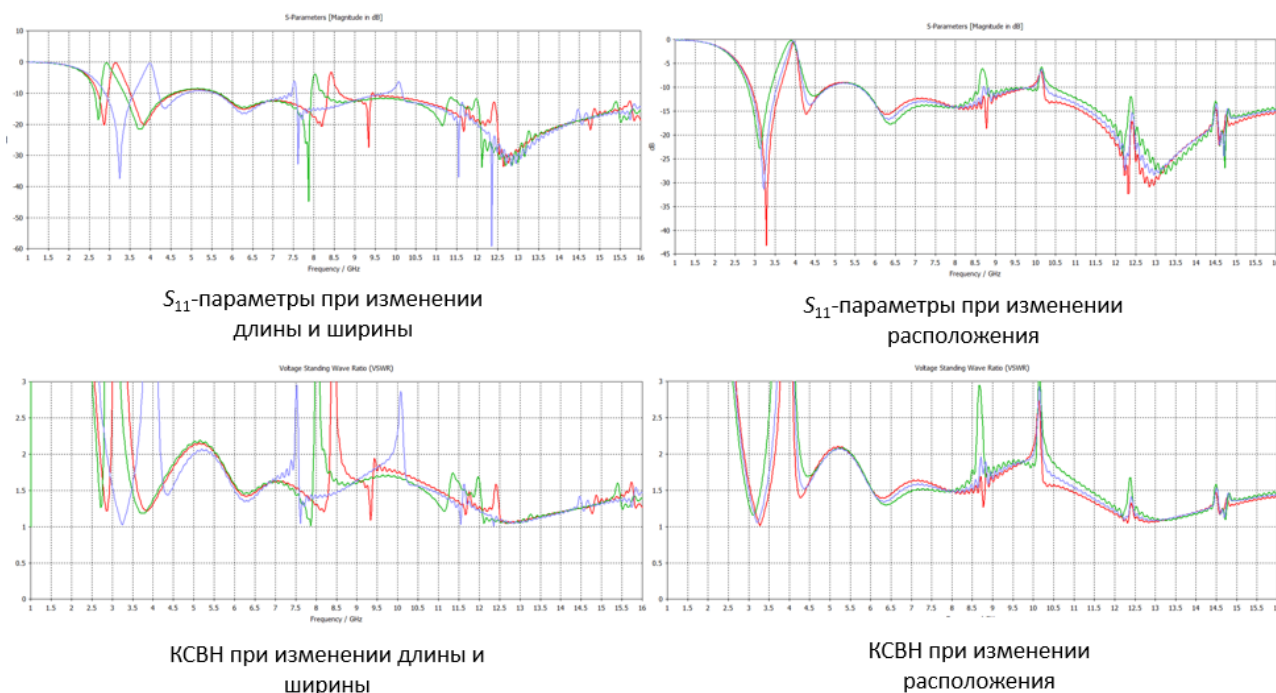


Рис. 2. Графики изменений параметров прототипа антенны в зависимости от изменения геометрических параметров выреза

Разработано два способа выполнения выреза (отличных по длине и ширине) и, соответственно, шесть вариантов реализации конфигурации устройства с различными габаритами и конструктивными решениями интеграции сегнетоэлектрика (рисунок 3). Первые два варианта предполагают использование тонкой пленки из ниобата лития, которая размещается в вырезе. Третий и четвертый выполнены при условии внедрения кристалла сегнетоэлектрика в состав излучающего элемента и подложки, то есть сквозное заполнение. Далее был рассмотрен еще один способ интеграции сегнетоэлектрика в конфигурацию антенны: кристалл внедрен в вырез и наращен сверху на толщину равную толщине металла (пятый и шестой варианты).

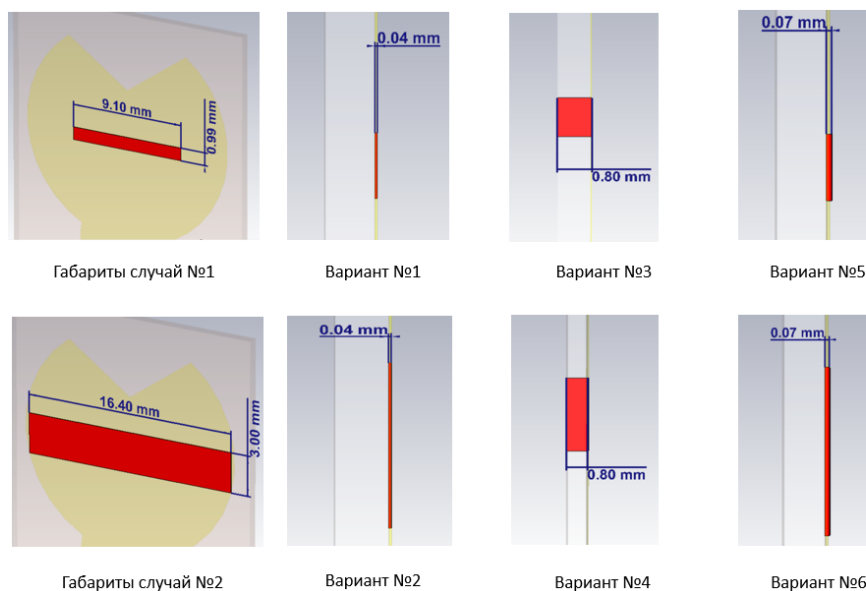


Рис. 3. Варианты внедрения сегнетоэлектрика

Для каждого варианта была исследована возможность реализации частотной избирательности антенны. Так, минимальный полученный сдвиг частоты составил 20 МГц, максимальный – 850 МГц (рисунок 4).

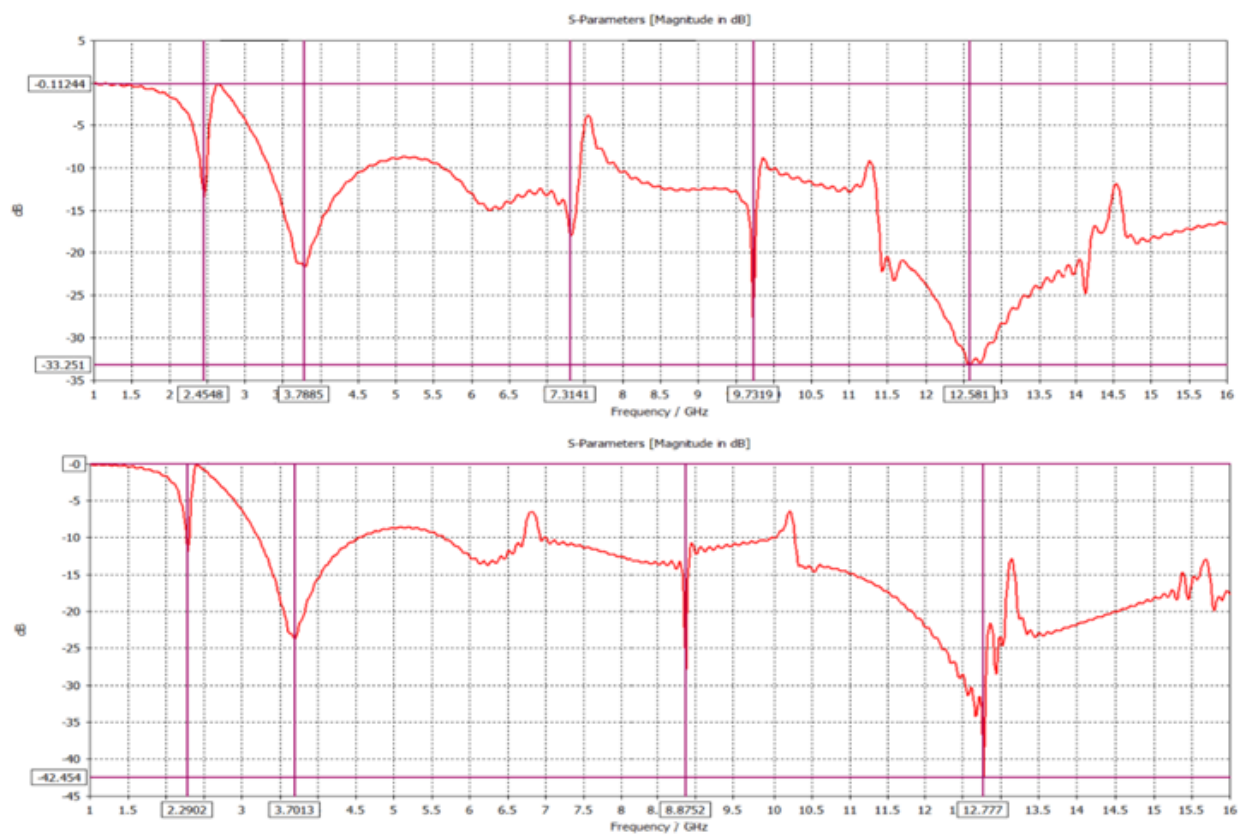


Рис. 4. Реализация функции частотной селективности

Наибольшая перестройка рабочей частоты антенны была достигнута на основе четвертого варианта интеграции выреза: в полосе 8,87 ГГц — 9,73 ГГц (рисунок 4). Также при использовании пятого варианта была реализована режекция резонансной частоты  $f = 8$  ГГц.

Таким образом, была продемонстрирована потенциальная возможность реализации функции частотной селекции для сверхширокополосной антенны в широком диапазоне частот. Подобная разработка может применяться в существующих и будущих системах связи для унификации оборудования антенно-фидерного тракта, способного поддерживать работу сразу с несколькими стандартами связи на основе одного устройства.

*Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для ФГБОУ ВО «УГАТУ» (соглашение № 075-03-2021-014) в молодежной научно-исследовательской лаборатории НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grakhova E.P., Sultanov A.K., Vinogradova I.L., Meshkov I.K., Andrianova A.V., Abdrakhmanova G.I., Ishmyarov A.A. Experimental demonstration of high-speed data transmission based on Gaussian pulses for IR-UWB radio-over-fiber systems, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Vol. 10342, 2017, pp. 10342-1-10342-7.
2. Abdrakhmanova G. I., Grakhova E. P., Knyazev N. S., Meshkov I. K., Voronkov G. S., Sultanov A. K. // Microstrip ultra-wideband antenna measurements // 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT).

## **СХЕМА ИНТЕРРОГАЦИИ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ ВБР-ДАТЧИКА**

**Аннотация.** В данной статье представлены разработанные модели интеррогатора на основе микрокольцевого резонатора (МКР), датчика на волоконной брэгговской решетке (ВБР) и приведены результаты их совместной схемы работы.

**Ключевые слова:** МКР; интеррогация; ВБР-датчик.

Датчики на основе волоконной решетки Брэгга (ВБР) зарекомендовали себя как весьма простые в реализации, но при этом крайне эффективные структуры для проведения измерений параметров окружающей среды. ВБР-датчики имеют значительные преимущества по сравнению с электронными датчиками, поскольку они компактны, устойчивы к неблагоприятным условиям окружающей среды, невосприимчивы к электромагнитным помехам, электрически пассивны и просты в реализации [1]. Такие датчики могут быть применены в различных сенсорных приложениях внутри различных структур для мониторинга температуры, атмосферного давления, уровня жидкости, отслеживания механических деформаций и др [2].

Существуют требования к системам опроса сенсоров, связанные с обеспечением минимального энергопотребления, веса, габаритов и стоимости, поэтому предложена модель интеррогатора (считывающего устройства) на основе фотонной интегральной схемы (ФИС) в виде микрокольцевого резонатора. Далее будет рассмотрена совместная схема работы ВБР-датчика и МКР-интеррогатора.

### ***Модель ВБР-датчика и его принцип работы***

ВБР является фильтром с узким вырезом на длине волны, соответствующей резонансу Брэгга. Брэгговский сдвиг длины волны может быть обусловлен

изменением эффективного показателя преломления (ПП) или периода решетки и определяется, как [3]:

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda,$$

где  $n_{\text{eff}}$  – эффективный ПП решетки;  $\Lambda$  – период решетки.

Если ВБР выступает в роли датчика температуры, то при изменении температуры окружающей среды в решетке происходит тепловое сужение или расширение ее периода. Это и приводит к сдвигу резонансной длины волны Брэгга [4].

Решетка была смоделирована с использованием ПО Ansys Lumerical со следующими параметрами: материал –  $\text{SiO}_2$ ; внешний диаметр оболочки – 150 мкм; диаметр сердцевины – 50 мкм; период решетки – 0,5 мкм; число периодов – 20000; эффективный ПП – 1,5; периодическое изменение ПП в сердцевине –  $10^{-3}$ . Смоделированная ВБР и спектры ее пропускания и отражения приведены на рис. 1а, б.

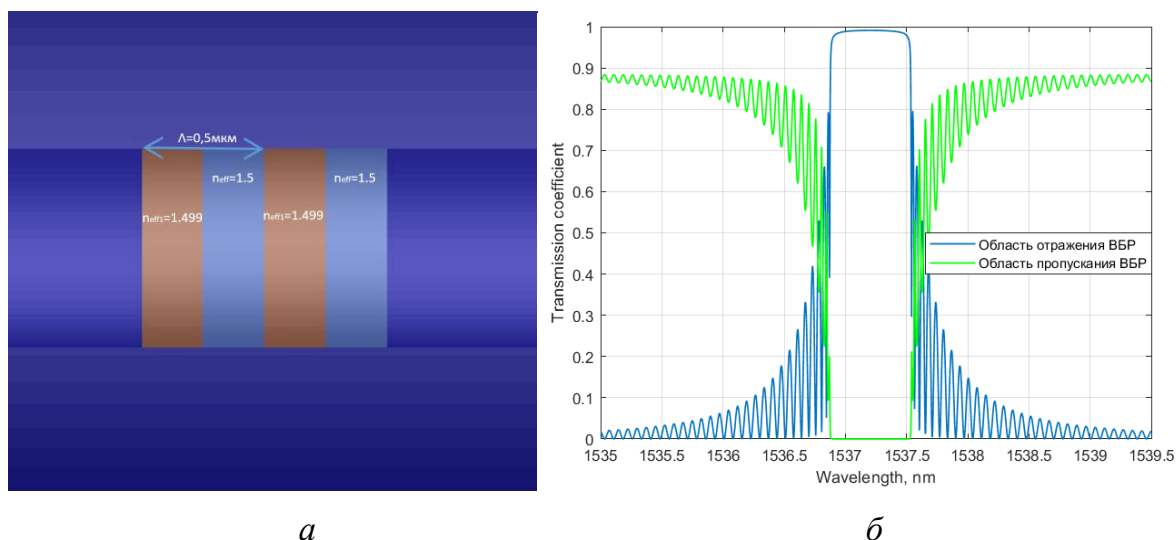


Рис. 1. (а) смоделированная ВБР; (б) спектры передачи и отражения ВБР при резонансной длине волны  $\lambda_B = 1537,2$  нм

### ***Модель интеррогатора и схема опроса датчика***

Для отслеживания и фиксирования изменения резонансной длины волны датчика предлагается интеррогация по амплитуде. Метод интеррогации по интенсивности заключается в интерпретации изменения резонансной длины вол-

ны в изменение мощности на выходе системы. В качестве интеррогатора была разработана модель микрокольцевого резонатора на платформе SOI (silicon-on-insulator, «кремний-на-изоляторе») (рис. 2).

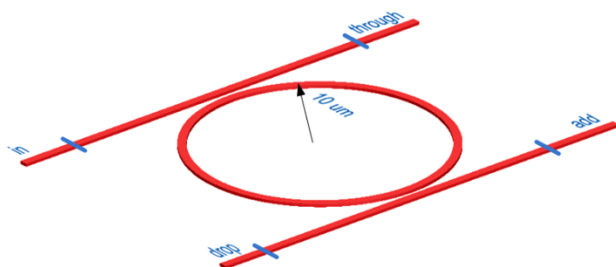


Рис. 2. Модель МКР-интеррогатора

Расчет параметра  $gap$  (минимальное расстояние между прямым волноводом и кольцом) интеррогатора основывался на критерии критической связи в структуре МКР [5]. При помощи FDTD был произведен расчет затухания в кольце и коэффициента каплинга. В результате проведенного анализа было подобрано значение  $gap$ , равное 0,1 мкм. Радиус МКР был выбран равным 10 мкм. Небольшие параметры кольца позволяет достичь большого значения FSR (free spectral range), так как FSR имеет обратную зависимость от радиуса кольца. Еще одним важнейшим параметром, используемым для характеристики МКР является добротность  $Q$ . Она дает нам представление о количестве удерживаемого света при резонансе, высокие значения этого коэффициента связаны с более резкими резонансными провалами [6], и она определяется следующим образом [7]:

$$Q = \frac{\lambda_{res}}{FWHM} = \frac{1537,64}{0,55} = 2795,7.$$

Малое значение добротности и высокий показатель FSR в совокупности увеличивают значение FWHM (full width at half maximum), что повышает вероятность попадания резонансов сенсора на участок спада или подъема (линейные участки) спектральной характеристики интеррогатора (рис. 3).

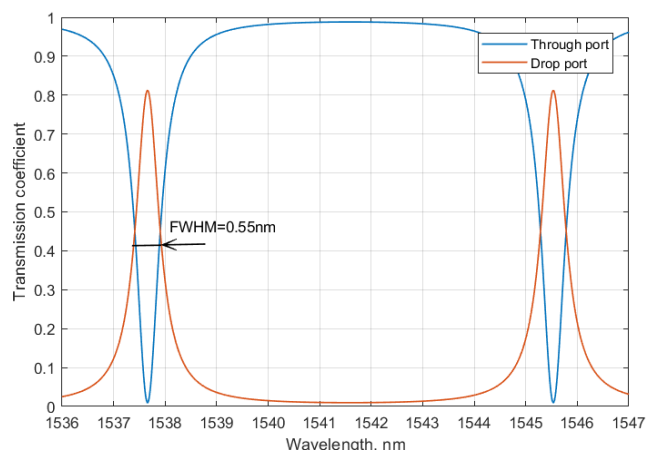


Рис. 3. Спектр на through и drop портах интеррогатора

На рисунке 4 представлена схема совместной работы датчика и интеррогатора. Широкополосное излучение от источника мощностью 0 дБм, в качестве которого выступает ONA (optical network analyzer) – библиотечный элемент Lumerical Interconnect, поступает на датчик и при прохождении света через решетку на ее выходе появляется вырез на брэгговской резонансной длине волны. Затем это излучение попадает на in-порт интеррогатора и можно наблюдать (рис. 5), как происходит изменение коэффициента передачи датчика в зависимости от того, в какую область АЧХ интеррогатора попадает брэгговская длина волны решетки. Таким образом, при совпадении резонансных длин волн у интеррогатора и сенсора на drop-порте будет максимальный коэффициент передачи, а при попадании резонанса сенсора на середину участка FSR интеррогатора коэффициент передачи будет минимальным и все излучение пройдет на through-порт.

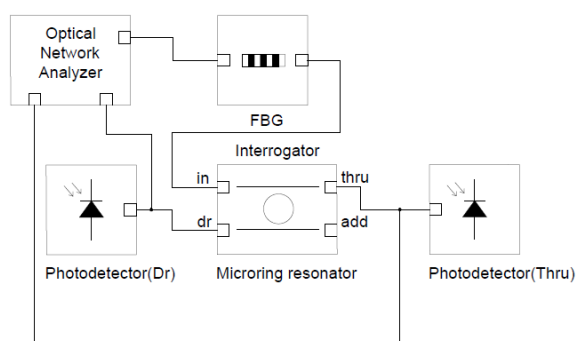


Рис. 4. Схема опроса ВБР-датчика при помощи МКР-интеррогатора (FBG – ВБР-датчик)

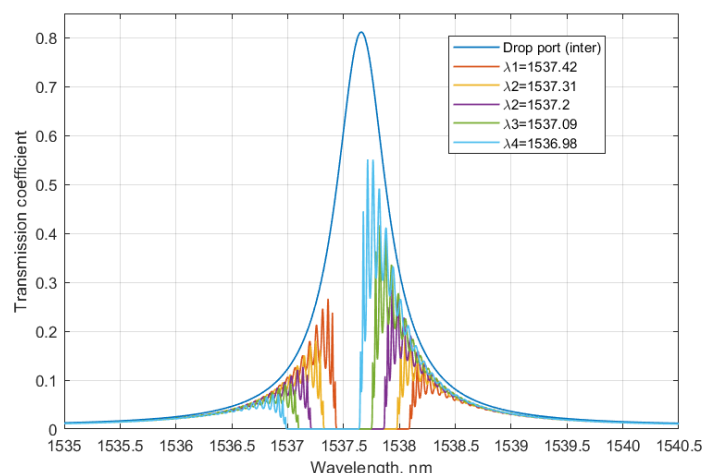


Рис. 5. Спектр работы схемы опроса ВБР-датчика с проходящим светом

К выходам двух портов МКР подключены PIN-фотодетекторы, которые позволяют при наличии широкополосного источника переводить результаты работы схемы из оптических в электрические единицы мощности (рис. 6). Оценка изменения производилась для уровня мощности на drop-порту ( $P_{dr}$ ) относительно полной мощности, проходящей через МКР ( $P_{dr} + P_{thru}$ ):

$$P = 10 \lg \left( \frac{P_{dr}}{P_{dr} + P_{thru}} \right).$$

Чувствительность  $S$  системы опроса может быть рассчитана, как:

$$S = \frac{\Delta P}{\Delta \lambda_B} = \frac{0,218}{0,11} \approx 1,98 \text{ дБ/нм}.$$

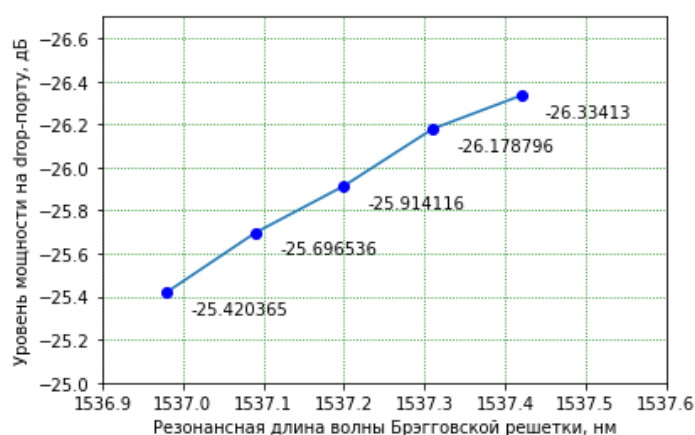


Рис. 6. График зависимости уровня относительной мощности на drop-порту интеррогатора от резонансной длины волны Брэгговской решетки



Таким образом, в работе была рассмотрена схема интеррогации по амплитуде датчика на ВБР. Выбор интеррогации решетки с пропускающей частью спектра ВБР-датчика позволил упростить схему опроса, хотя и привел к понижению чувствительности системы [1]. В дальнейшем планируется рассмотрение волноводных (WBG) и волоконных (FBG) решеток Брэгга с модификациями в конструкции применительно конкретным задач сканирования для повышения чувствительности при интеррогации решеток по интенсивности.

*Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для ФГБОУ ВО «УГАТУ» (код научной темы № FEUE-2021-0013, соглашение № 075-03-2021-014) в молодежной научно-исследовательской лаборатории НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tozzetti L. et al. Fast FBG interrogator on chip based on Silicon on Insulator ring resonator add/drop filters //Journal of Lightwave Technology. – 2022.
2. Bonopera M. Fiber-Bragg-Grating-Based Displacement Sensors: Review of Recent Advances //Materials. – 2022. – Т. 15. – №. 16. – С. 5561.
3. Hsieh T. S., Chen Y. C., Chiang C. C. Analysis and optimization of thermodiffusion of an FBG sensor in the gas nitriding process //Micromachines. – 2016. – Т. 7. – №. 12. – С. 227.
4. Morais E. et al. Liquid Level Sensor with Two FBGs Embedded in a PDMS Diaphragm: Analysis of the Linearity and Sensitivity //Sensors. – 2022. – Т. 22. – №. 3. – С. 1268.
5. Steglich P. et al. Silicon photonic micro-ring resonators for chemical and biological sensing: A tutorial //IEEE sensors journal. – 2021.
6. Cardenosa-Rubio M. C., Robison H. M., Bailey R. C. Recent advances in environmental and clinical analysis using microring resonator-based sensors //Current opinion in environmental science & health. – 2019. – Т. 10. – С. 38-46.
7. Bogaerts W. et al. Silicon microring resonators //Laser & Photonics Reviews. – 2012. – Т. 6. – №. 1. – С. 47-73.

УДК 004

А. Р. ЗАРИПОВ

*artur.zar@icloud.com*

Науч. руковод. – ст. преп. Г. И. ГАПТУЛЛАЗЯНОВА

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева – КАИ*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МЕБЕЛИ**

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема оптимизации предприятия и решение ее с помощью создания автоматизированной системы, которая направлена на улучшение процесса работы, с помощью планирования расходов. Раскрыта актуальность данной проблемы. А также сформулированы основные плюсы использования информационной системы.

**Ключевые слова:** оптимизация, СУБД, информационные системы, база данных.

Одной из ключевых проблем в современном мире у предприятия – это проблема оптимизации. Экономические проблемы отражаются сильнее всего на бизнесе, а оптимизация является ключевым экономическим фактором. Любая организация, какой бы она не была большой, успешной всегда опирается на этот фактор так как если она будет не учитывать, то в скором времени имеет возможность разориться. В большей степени остро воспринимают проблему оптимизации среднее по размеру компании, так как опыта в этом вопросе еще нет, а посредники и наемный персонал уже появляются и если не следить за оптимизацией, то предприятие имеет шанс стать убыточным. Итак, проблема оптимизации, цель исследования оптимизировать процесс предприятия, на примере изготовления предметов интерьера из натуральных материалов.

В условиях небольшой организации соответствующие решения относительно несложно принимать «из головы», основываясь на опыте и общем понимании состояния дел в собственной организации. Однако в средних и крупных организациях, имеющих множество заказов широкого ассортимента от большого числа потребителей, такая информация уже не может уместиться даже у самого опытного и дальновидного человека. Для эффективного управления становится необходимым группирование заказов. В обычных условиях это сделать довольно непросто, если решать обычными способами, то это может

привести к неэффективному использованию оборотных средств или материалов. Именно здесь на помощь приходит автоматизированная информационная система, которая помогает сделать это наиболее эффективно.

Внедрение информационной системы облегчит работу сотрудников, значительно повысит надежность и скорость обработки информации, а также увеличит прибыль организации, за счет эффективного использования оборотных средств.

Рассмотрим процесс производства каких-либо элементов интерьера. Допустим в офис компании приходит заказчик, обращается к дизайнеру и излагает свои требования допустим к комоду. Дизайнер показывает представленные в офисе готовые комоды и рисует черновой макет, где указывает понравившиеся заказчику вид и цвет материалов. После чего выезжает, вместе с технологом, на замер места расположения. С помощью лазерных рулеток и угломера они измеряют высоту, ширину, глубину и углы проемов комнаты. А также записывают места расположения розеток, проходящих коммуникаций, цвет обоев, потолка и пола для изготовления подходящего дизайна. По результатам замера дизайнер переносит черновой макет в дизайн-проект, с внесением необходимых корректировок и передает его технологу для выполнения расчетов необходимых материалов. Технолог, основываясь на дизайн-проект, рисует конструкторские чертежи деталей и составляет производственное задание. Также, в соответствии с прайс-листами на материалы и выполнение работ, рассчитывает стоимость деталей. Начальник производства, сверяясь с производственным заданием, проверяет наличие требуемых материалов на складе. Если материалы и фурнитура есть в наличии – формирует накладную на склад. Если материалов нет в наличии, начальник производства формирует заявку на закупку. По завершении изготовления и получения отчета о готовности от начальника производства, управляющая салона договаривается с заказчиком и организывает доставку заказа по указанному заказчиком адресу. Изучает дизайн-проект и выделяет сборщикам необходимое время на установку.

В качестве предмета реализации программного обеспечения возьмем за основу операционную систему Windows 10. Она является наиболее распростра-

ненной и удобной на сегодняшний день операционной системой (ОС) как для корпоративных целей, так и для личного пользования, и потому, мы будем оптимизировать автоматизированная информационная система именно под эту ОС [1].

ОС Windows 10 является более безопасной и надежной системой относительно предыдущих версий, она позволяет защитить информацию от несанкционированного доступа и позволяет разграничивать права пользователей. Популярность Windows 10 позволяет гарантировать наличие огромного количества различных прикладных программ для решения повседневных задач.

В качестве инструмента будем использовать типовые информационные запросы. Информационные запросы к базе в программе будут осуществляться с помощью языка структурированных запросов SQL.

SQL – универсальный компьютерный язык, применяемый для создания, модификации и управления данными в реляционных базах данных. SQL основывается на исчислении кортежей. В ходе создания приложения мы сможем создать приложение, которые будет включать в себя запросы SQL, благодаря этому приложению будет происходить оптимизация, так как будут уже видны места где можно улучшить рациональность расходов [2-3].

Для хранения данных в информационной системе используется реляционная база данных под управлением СУБД.

Представим информационную систему в виде поведенческой модели.

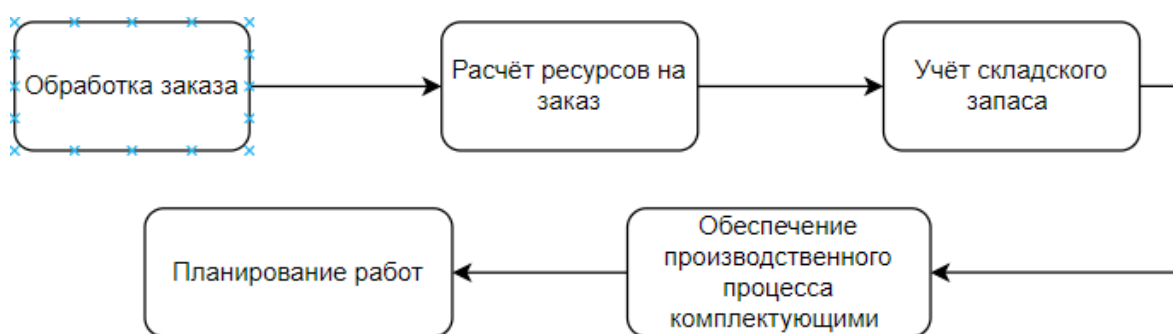


Рис. 1. Информационная система в виде поведенческой модели

Данная модель позволяет представить сценарий информационного процесса [4] в виде параллельно последовательно выполняемых действия и собы-

тий с одновременным описанием объектов, имеющих к процессу непосредственное отношение.

При описании модели также указывается точка зрения, цель моделирования и целевая аудитория. Логическая модель базы данных проектируемой системы, в которой все таблицы нормализованы и исключены транзитивные зависимости, представлена на рисунке:

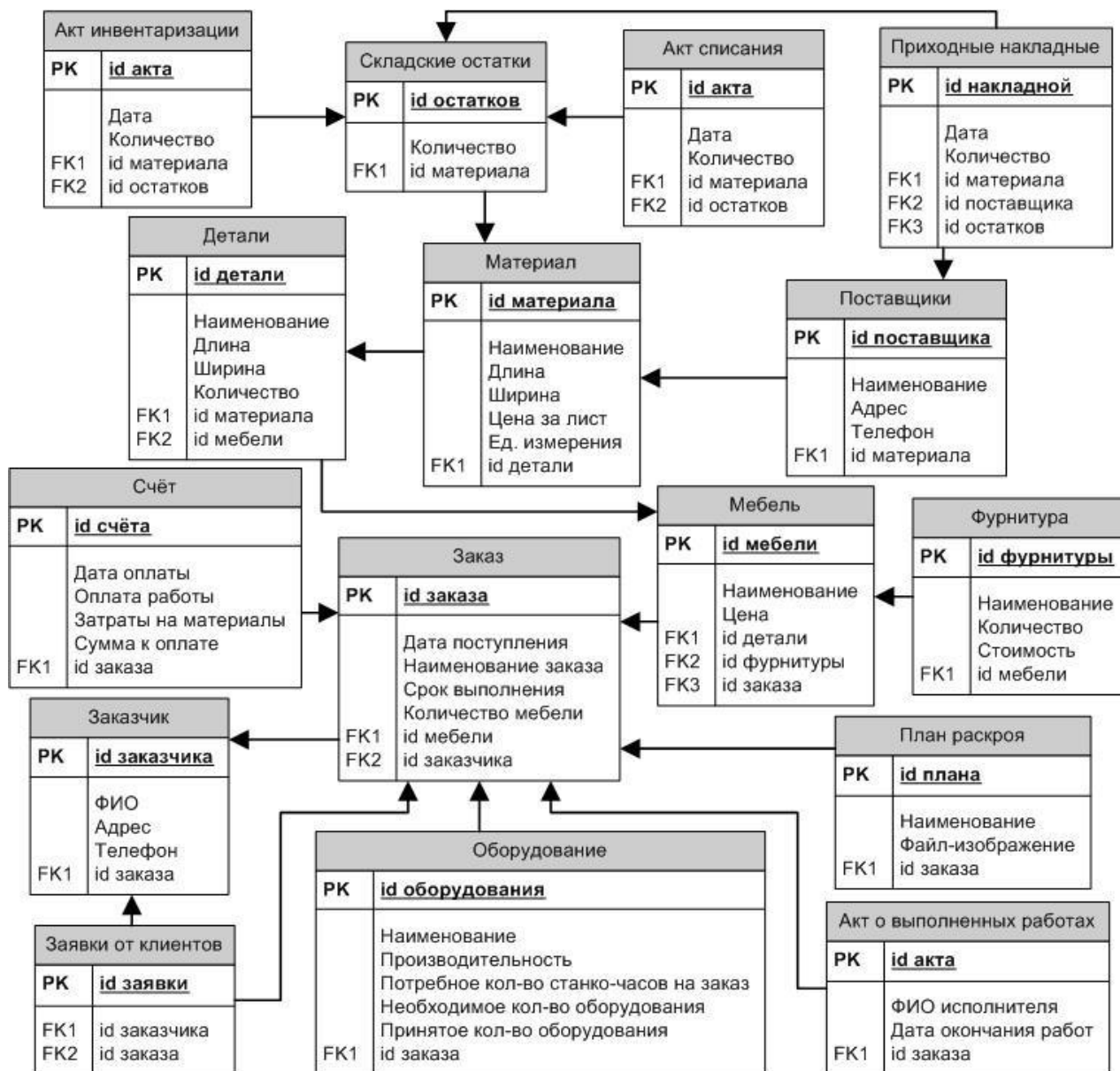


Рис. 2. Логическая модель

В результате проведенного исследования можно сделать вывод что ведение автоматизированной информационной системы поможет существенно

ускорить работу производства и уменьшить расходы на нецелесообразно израсходованные материалы, а также упростить и повысить качество работы салона.

В рамках внедрения автоматизированной информационной системы будет решать следующие задачи: обработка заказа, расчет ресурсов на заказ, планирование загруженности оборудования, учет складского запаса материалов, комплектующих, инструментов, обеспечение производственного процесса комплектующими, планирование работ по сборке мебели у заказчика.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимов, В. В. Основы алгоритмизации и программирования : учебник для СПО/ В. В. Трофимов, Т. А. Павловская ; под ред. В. В. Трофимова. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 137 с.
2. Ризаев И.С., Яхина З.Т. Базы данных. Учебное пособие. Казань: КГТУ, 2016. – 100 с.
3. Иванов, В. М. Интеллектуальные системы : учеб. пособие для вузов / В. М. Иванов; под науч. ред. А. Н. Сесекина. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 91 с.
4. Кубенский, А. А. Функциональное программирование : учебник и практикум для академического бакалавриата / А. А. Кубенский. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 348 с.

УДК 654.16

Л. В. КАТАСКИН, А. Р. ГИЗАТУЛИН

*kataskin98@yandex.ru, azat\_poincare@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф А. Х. СУЛТАНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В DFT-S-OFDM ДЛЯ БУДУЩИХ СЕТЕЙ СВЯЗИ 6G**

**Аннотация.** В данной статье предложен метод повышения энергоэффективности за счет снижения пиковой мощности излучаемого сигнала в системах с DFT-s-OFDM для будущих мобильных сетей поколения 5G и 6G, основанный на использовании улучшенного формирующего фильтра «приподнятого косинуса», а также технологии ZT-DFT-s-OFDM, позволяющий добиться повышения энергетической эффективности.

**Ключевые слова:** DFT-S-OFDM, ZT-DFT-s-OFDM, PAPR, RC, VTRC, 5G, 6G.

Энергоэффективность ключевой фактор развития всех современных сетей передачи энергии, телекоммуникационных сетей связи и современных информационных и цифровых технологий. Развитие данного направления позволит добиться в будущем экономии энергии и сохранение ресурсов для ее выработки. Будущие сети 5G и 6G позволят поддерживать широкий спектр услуг с различными техническими требованиями и в различных частотных диапазонах. При этом технологии обработки сигналов, используемых в 6G и схемы модуляции должны соответствовать жестким требованиям, предъявляемым к мобильной сети передачи данных. Существенными проблемами являются снижение значение отношения пикового уровня мощности сигнала к среднему уровню (Peak to average power ratios – PAPR) с целью повышения энергоэффективности таких систем, а также внедрение новых форм сигналов и схем модуляция, которые одновременно были бы эффективны с энергетической и спектральной точки зрения. Это приведет к улучшению таких ключевых параметров сетей, как повышение спектральной эффективности за счет использования гибридных форматов модуляций, снижению доли служебных данных в общем информационном массиве и повышению энергетической эффективности.

В работах [1-4] производился сравнительный анализ различных технологий и форматов обработки сигналов для разных возможностей передачи и приема сигналов. В качестве перспективных направлений удовлетворяющие технические требования и особенности функционирования будущих сетей, выделяют следующие технологии для передачи данных, отметим их основные достоинства и недостатки.

Мультиплексирование с несколькими несущими:

CP-OFDM:

Достоинства: простое выравнивание в частотной области, простое применение в MIMO, гибкое использование частот, простой способ реализации.

Недостатки: высокое значение OOBЕ и PAPR, высокое требование к синхронизации, низкая производительность для высококомобильных систем, жесткое кодирование циклического префикса.

W-OFDM:

Достоинства: аналогичные преимущества к у CP-OFDM, низкое значение OOBЕ по сравнению с CP-OFDM.

Недостатки: компромисс между низкой спектральной эффективностью и показателям BER (в зависимости от типа окна).

OQAM-FBMC:

Достоинства: Лучшая локализация частот (низкое OOBЕ), хорошая спектральная эффективность (не используется защитный интервал и циклический префикс), подходит для высококомобильных систем, удобно для асинхронной передачи.

Недостатки: сложная интеграция в системы MIMO, нет защиты от межсимвольной интерференции, из-за отсутствия циклического префикса, высокая сложность реализации, высокое энергопотребление из-за использования OQAM

GFDM:

Достоинства: гибкость системы, хорошая локализация частот, низкий PAPR..



Недостатки: более высокие задержки из-за блочной обработки, сложная интеграция в ММО, трудоемкость в реализации.

UFMC:

Достоинства: хорошая локализация частот, меньшая длина фильтра по сравнению с технологиями OQAM-FBMC и GFDM, совместимость с ММО.

Недостатки: нет защиты от межсимвольной интерференции, из-за отсутствия циклического префикса, сложная реализация приемника из-за увеличения размера FFT.

F-OFDM:

Достоинства: гибкая фильтрация, улучшенная локализация частот, меньшая длина фильтра по сравнению с технологиями OQAM-FBMC и GFDM, совместимость с ММО.

Недостатки: высокая сложность реализации.

Мультиплексирование с одной несущей.

CP-DFT-s-OFDM:

Достоинства: все преимущества CP-OFDM, низкое значение PAPR.

Недостатки: высокое ООБЕ, строгие требования к синхронизации, жесткое кодирование циклического префикса.

ZT-DFT-s-OFDM:

Достоинства: гибкий защитный интервал, улучшенная спектральная эффективность, низкие показатели ООБЕ по сравнению с CP-DFT-s-OFDM.

Недостатки: строгие требования к синхронизации, необходим сильный контроль сигнализации, ограниченная производительность канала для модуляции более высокого порядка.

UW-DFT-s-OFDM:

Достоинства: гибкий защитный интервал, улучшенная спектральная эффективность, низкие показатели ООБЕ и PAPR

Недостатки: строгие требования к синхронизации, необходим сильный контроль сигнализации, ограниченная производительность канала для модуляции более высокого порядка, сложная реализация

Использование мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) является основополагающим способом организации беспроводных сегментов связи в существующих и будущих сетях в прямом и обратном канале. Данная технология обладает рядом преимуществ, например, применение различных схем модуляции для каждой поднесущей, что позволяет адаптивно варьировать помехоустойчивость и скорость передачи информации при компенсации межсимвольной и межканальной интерференции. Благодаря прямоугольной форме огибающей спектра, несмотря на большое количество поднесущих и высокую сложность обработки принимаемых данных, радиочастотный спектр используется с высокой эффективностью. Однако, как известно, OFDM-сигналы обладают достаточно большим минусом – высоким значением PAPR и чувствительностью к частотному и временному рассогласованию [5].

PAPR в общем виде можно выразить с помощью выражения (1):

$$PAPR\{\tilde{s}(t)\} = \frac{\max |\operatorname{Re}(\tilde{s}(t)e^{j2\pi f_c t})|^2}{E\left\{\left|\operatorname{Re}(\tilde{s}(t)e^{j2\pi f_c t})\right|^2\right\}} = \frac{\max |s(t)|^2}{E\{|s(t)|^2\}}, \quad (1)$$

где  $\tilde{s}(t)$  – сигнал с произвольной модуляцией и сложной последовательностью данных;  $s(t)$  – выходной сигнал квадратурного модулятора;  $f_c$  – частота несущей.

В связи с этим, в случаях, где ограничена зона покрытия для мобильного терминала, можно использовать технологию OFDM с дискретным преобразованием Фурье и расширением спектра с низким PAPR (DFT-s-OFDM). Также большинство многочастотных сигналов можно преобразовать в соответствующие версии с одной несущей. Типичным примером является DFT-s-OFDM. В данном случае предварительное кодирование DFT переносит входные сигналы

в частотную область. DFT-s-OFDM позволяет синтезировать блочные одиночные несущие сигналы с различной полосой пропускания путем изменения размера блока DFT-spread, а также учитывает длительность внутреннего защитного интервала без влияния на продолжительность символа. Несмотря на то, что технология DFT-s-OFDM показывает низкий уровень OOBЕ по сравнению с OFDM, она обладает более низкой сложностью и гибкостью механизмов реализации технологии, что позволяет управлять параметрами OOBЕ и PAPR за счет использования, например, метода нулевых хвостов, который использует гибкий внутренний защитный период вместо зависимого от полезных данных защитного интервала. Для уменьшения PAPR может применяться формирование спектра в частотной области и добавление циклического префикса для обеспечения возможности однократной коррекции в частотной области на стороне приемника. В DFT-s-OFDM символы данных сначала подвергаются процедуре расширения с помощью блока DFT, а затем подаются на вход блока IDFT. Защитный интервал применяется к началу символа, чтобы избежать межсимвольной интерференции из-за многолучевого канала. Структуру выходного сигнала DFT-s-OFDM можно интерпретировать по-разному. В первом случае такой сигнал можно представить как предварительно закодированную схему OFDM, где предварительное кодирование с помощью DFT направлено на снижение PAPR. Эта интерпретация имеет свои достоинства, поскольку может давать разные стратегии предварительного кодирования для достижения наилучших параметров. Другой способ заключается в том, что DFT-s-OFDM можно рассматривать как схему, повышающую дискретизацию символов данных на коэффициент, равный отношению размерности блоков IDFT и DFT и применение циклического формирования импульса с *sinc* функцией Дирихле перед вставкой защитного интервала, что эквивалентно формированию сигнала на одной несущей частоте.

Исследование значения PAPR с использованием технологии DFT-s-OFDM проводилось в среде MATLAB. Результаты анализа влияния различных

вариантов расстановки поднесущих частот на величину PAPR в DFT-s-OFDM при различных вариантах метода доступа и технологии ZT-DFT-s-OFDM с методом доступа LFDMA (далее ZT-LFDMA) приведены на рисунках 1-2. Результаты сравнивались с технологией OFDM.

Использовались следующие параметры моделирования: режим модуляции: 16-QAM, 32-QAM и 64-QAM; размерность DFT:  $N = 512$  (общее количество поднесущих); размер обрабатываемого блока полезных данных или поднесущие с данными  $M = 128$ ; коэффициент расширения полосы пропускания  $N/M=S=8$ ; количество итераций обработки данных 10000; в качестве защитного интервала использовалась  $\frac{1}{4}$  части полезного символа, а в ZT-DFT-s-OFDM используются нулевые защитные интервалы и поднесущие для выравнивания размерности FFT.

На рисунках 1-2 отображено сравнение PAPR OFDM сигнала и DFT-s-OFDM (LFDMA и IFDMA) при различных размерностях модуляции QAM, а также Zero-Tail LFDMA.

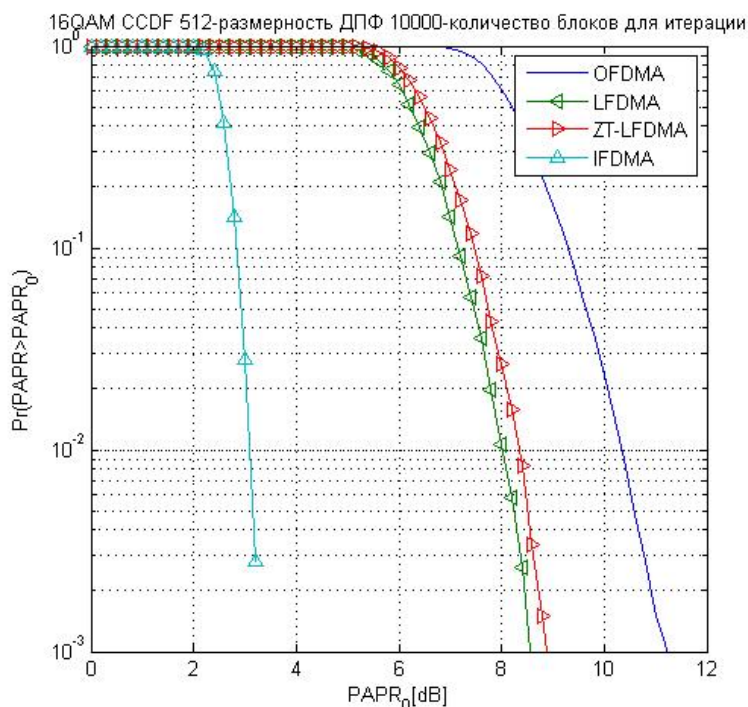


Рис. 1. Показатель PAPR OFDM, IFDMA, LFDMA и ZT-LFDMA при 16-QAM

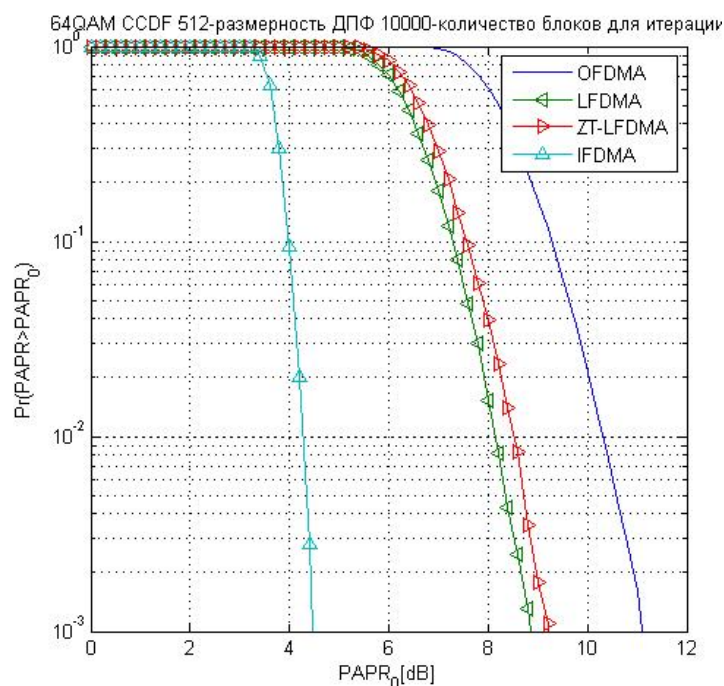


Рис. 2. Показатель PAPR OFDM, IFDMA, LFDMA и ZT-LFDMA при 64-QAM

Из рисунков 1-2 можно сделать вывод, что технология DFT-s-OFDM имеет значительно меньшее значение PAPR, чем OFDM. Сравнивая методы распределения поднесущих LFDMA и IFDMA, заметим, что показания PAPR у IFDMA значительно меньше, чем у LFDMA, но вследствие более сложной реализации данной технологии обработка сигнала на передающей и приемной стороне будет более длительной, что скажется на вычислительных ресурсах системы. Сопоставив LFDMA и ZT-LFDMA заметим, что PAPR ZT-LFDMA выше на 0,2-0,4 дБ, однако использование ZT-LFDMA позволяет обеспечить более низкое внеполосное излучение, что позволяет снизить как внутриканальную, так и межканальную интерференцию.

Таким образом, предложенные методы позволят снизить PAPR на основе использования технологии DFT-s-OFDM, что придаст ряд значительных преимуществ и позволит за счет дополнительной обработки добиться снижения PAPR, а интеграция с технологией ZT-DFT-s-OFDM позволяет значительно уменьшить ООВЕ, что дает возможность более эффективно использовать каналы связи в условиях жестких частотных ограничений.

*Исследование выполнено за счет гранта Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФГБОУ ВО УГАТУ # FEUE-2020-0007 по теме «Теоретические основы моделирования и семантического анализа процессов преобразования вихревых электромагнитных полей в инфокоммуникационных системах» и за счет гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (МК-1006.2022.4).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rommel, S. et al., "Towards a Scalable 5G Fronthaul: Analog Radio-over-Fiber and Space Division Multiplexing," *Journal of Lightwave Technology*, 38(19), 5412-5422 (2020).
2. Konstantinou, D.; Morales, A.; Rommel, S.; Raddo, T.; Johannsen, U.; Monroy, I.T. Analog radio over fiber fronthaul for high bandwidth 5G millimeter-wave carrier aggregated OFDM. In *Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, Angers, France, 9–13 July 2019; pp. 1–4, doi:10.1109/ICTON.2019.8840525.
3. Huawei, HiSilicon, "5G waveform: requirements and design principles," 3GPP Standard Contribution (R1-162151), Busan, Korea, Apr. 11-15 2016.
4. A. Sahin, R. Yang, M. Ghosh, and R. L. Olesen, "An improved unique word DFT-spread OFDM scheme for 5G systems," in *2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, 2015, pp. 1–6.
5. Peng Tan and Beaulieu N. C., A novel pulse-shaping for reduced ICI in OFDM systems, *IEEE 60th Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall*. 2004, 2004, pp. 456-459 Vol. 1, doi: 10.1109/VETECONF.2004.1400047.
6. Cho, Y. S., Kim, J., Yang, W. Y., & Kang, C. G. (2010). *MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB®*.

Д. А. ЛЬВОВ

naus19\_20@mail.ru

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. В. АФАНАСЬЕВ

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева – КАИ***ФОРМИРОВАТЕЛИ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ  
НА ОСНОВЕ ЧЕТЫРЕХЛЕПЕСТКОВОЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ  
СИСТЕМЫ ЛОРЕНЦА**

**Аннотация.** Исследовано влияния шага дискретизации на статистические характеристики псевдослучайных сигналов, формируемых четырех-лепестковой модифицированной системой Лоренца.

**Ключевые слова:** псевдослучайный сигнал, динамический хаос, шаг дискретизации.

Одним из эффективных способов закрытия информации от несанкционированного доступа в современных системах связи является использование динамического хаоса, порождаемого сложными динамическими системами [1]. В отличие от широко исследованной классической системы Лоренца со стандартными параметрами [2], для повышения конфиденциальности систем передачи информации с эффектами динамического хаоса, перспективно использование многолепестковой системы для формирования маскирующих сигналов, в частности – четырех-лепестковой системы Лоренца [3]. Увеличение количества формируемых лепестков в фазовом пространстве вызывается в модифицированной системе наличием дополнительно вводимой нелинейности. Модифицированная четырех-лепестковая система Лоренца описывается системой из 3-х нелинейных дифференциальных уравнений [4]:

$$\begin{cases} \dot{x} = \frac{1}{2(x^2+y^2)} [-\sigma x^3 + (2\sigma + r - z)x^2y + (\sigma - 2)xy^2 - (r - z)y^3] \\ \dot{y} = \frac{1}{2(x^2+y^2)} [(c - z)x^3 + (\sigma - 2)x^2y + (-2\sigma - r - z)xy^2 - \sigma x^3] \\ \dot{z} = 2x^3y - 2xy^3 - bz \end{cases} \quad (1)$$

Моделирование работы четырех-лепестковой системы Лоренца проводилось в пакете прикладных программ MATLAB с применением численного ин-

тегрирования по методу Эйлера. Параметры псевдослучайных сигналов, формируемых в исследуемой дискретно-нелинейной четырех-лепестковой системе, оценивались по статистическим характеристикам сигналов, а также по форме автокорреляционных функций (АКФ) и по огибающим спектрам сгенерированных сигналов.

Важным аспектом, влияющим на характеристики формируемых псевдослучайных сигналов, является шаг дискретизации [2]. При его некорректном выборе система может перейти в регулярный режим работы, либо может произойти срыв генерации. Выбор шага дискретизации определяет быстродействие работы формирователя и использующей его системы связи. С одной стороны, следует выбирать минимально доступный шаг дискретизации, поскольку это понижает погрешности моделирования дискретно-нелинейной четырех-лепестковой модифицированной системы Лоренца, с другой стороны – с увеличением шага дискретизации повышается быстродействие работы формирователя. Поэтому, необходимо определить оптимальный интервал изменения шага дискретизации, при котором будет обеспечиваться приемлемая точность при максимальном быстродействии.

На основании проведенных исследований при вариации шага от 0.00001 до 0.04 определены статистические характеристики формируемых сигналов дискретно-нелинейной четырех-лепестковой модифицированной системы Лоренца, оценены автокорреляционные функции и спектры формируемых сигналов. Установлено, что при вариации шага математическое ожидание формируемых реализаций изменяется от 23 до 29, а дисперсия варьируется от 66 до 186. Необходимо отметить, что при приближении шага дискретизации к значению  $h=0.04$ , в дискретно-нелинейной четырех-лепестковой модифицированной системе Лоренца может наблюдаться срыв генерации. При шаге выше 0.4 генерация псевдослучайных сигналов в исследуемой четырех-лепестковой модифицированной системе Лоренца отсутствует.



По полученным зависимостям видно, что при шаге дискретизации  $h=0.0001$ , обеспечивается быстроспадающая АКФ без значимых боковых лепестков. При повышении шага дискретизации с целью повышения быстродействия формирователя, наблюдается ухудшение формы АКФ и равномерной огибающей спектра формируемого псевдослучайного сигнала.

Таким образом, для исследуемой четырех-лепестковой модифицированной системы Лоренца рекомендуется выбор шаг дискретизации от  $h=0.000075$  до  $h=0.00025$ . Дальнейшее увеличение шага дискретизации приводит к снижению эффективности применения четырех-лепестковой модифицированной системы Лоренца для формирования псевдослучайных сигналов в системах передачи информации с эффектами динамического хаоса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С. Дмитриев, А.И. Панас. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2002. – 252 с.
2. В.В. Афанасьев, С.С. Логинов, Ю.Е. Польский. Нелинейные системы с динамическим хаосом и порождаемые ими сигналы. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2005. – 123 с.
3. Rick Miranda, Emily Stone; The proto-Lorenz system; Physics Letters A; Volume 178; Issues 1-2; 1993. - pp.105–113.
4. Morris W. Hirsch, Stephen Smale, Robert L. Devaney, Differential Equations, Dynamical Systems, and an Introduction to Chaos. - Academic Press, 2013.

УДК 519.6

Р. Р. РАУПОВ

*Ivans8585@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. В. В. АФАНАСЬЕВ

***Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева – КАИ***

## **СЕЛЕКТИВНОЕ ПОДАВЛЕНИЕ МАСКИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ МНОГОЛЕПЕСТКОВОЙ SPROTT СИСТЕМЫ**

**Аннотация.** Исследованы особенности селективного подавления функционально-режекторными фильтрами маскирующих псевдослучайных сигналов многолепестковой дискретно-нелинейной Sprott A системы с динамическим хаосом.

**Ключевые слова:** динамический хаос; селективное подавление.

Маскирующие псевдослучайные сигналы широко используются при разработке систем конфиденциальной связи на основе эффектов динамического хаоса для сокрытия полезной информации и обеспечения защищенной передачи данных. В качестве нелинейных систем, формирующих псевдослучайные сигналы, эффективно применять многолепестковые системы с хаотической динамикой [1].

Цель работы – исследование особенностей селективного подавления функционально-режекторными фильтрами маскирующих псевдослучайных сигналов многолепестковой дискретно-нелинейной Sprott A системы с динамическим хаосом.

Фильтры селективного подавления маскирующих псевдослучайных сигналов часто используются в системах передачи информации для выделения полезных сигналов известной формы и строятся по принципу двухканальности теории инвариантности на базе интегро-дифференцирующих устройств [2].

Селективное подавление компонент  $U_{inx}(t)$ ,  $U_{iny}(t)$ ,  $U_{inz}(t)$  сигналов многолепестковой Sprott A системы режекторным фильтром на основе интегрирования выполняется согласно:

$$\begin{cases} U_{outx\_i}(t) = \int_0^t U_{iny}(t)dt - U_{inx}(t) \\ U_{outy\_i}(t) = \int_0^t (-U_{inx}(t) + U_{iny}(t) \cdot U_{inz}(t) - a \cdot f(U_{inx}(t)))dt - U_{iny}(t) \\ U_{outz\_i}(t) = \int_0^t (1 - U_{iny}^2(t))dt - U_{inz}(t), \end{cases}$$

где:  $U_{inx}(t)$ ,  $U_{iny}(t)$ ,  $U_{inz}(t)$  – X, Y, Z компоненты входного 3-D сигнала;  
 $U_{outx\_i}(t)$ ,  $U_{outy\_i}(t)$ ,  $U_{outz\_i}(t)$  – 3-D сигналы на выходе режекторного фильтра;  
 $a$ ,  $f(U_{inx}(t))$  – параметры Sprott A системы

Моделирование работы режекторного фильтра при использовании псевдослучайных маскирующих помех дискретно-нелинейной многолепестковой Sprott A системы проведено в программной среде Matlab.

Зависимость коэффициентов подавления  $K_p$  компонент X, Y, Z многолепестковой Sprott A системы от числа отсчетов  $N$ , нормированных к периоду квазирезонансных колебаний, при отношении с/ш равным 18 дБ представлена на рис. 1.

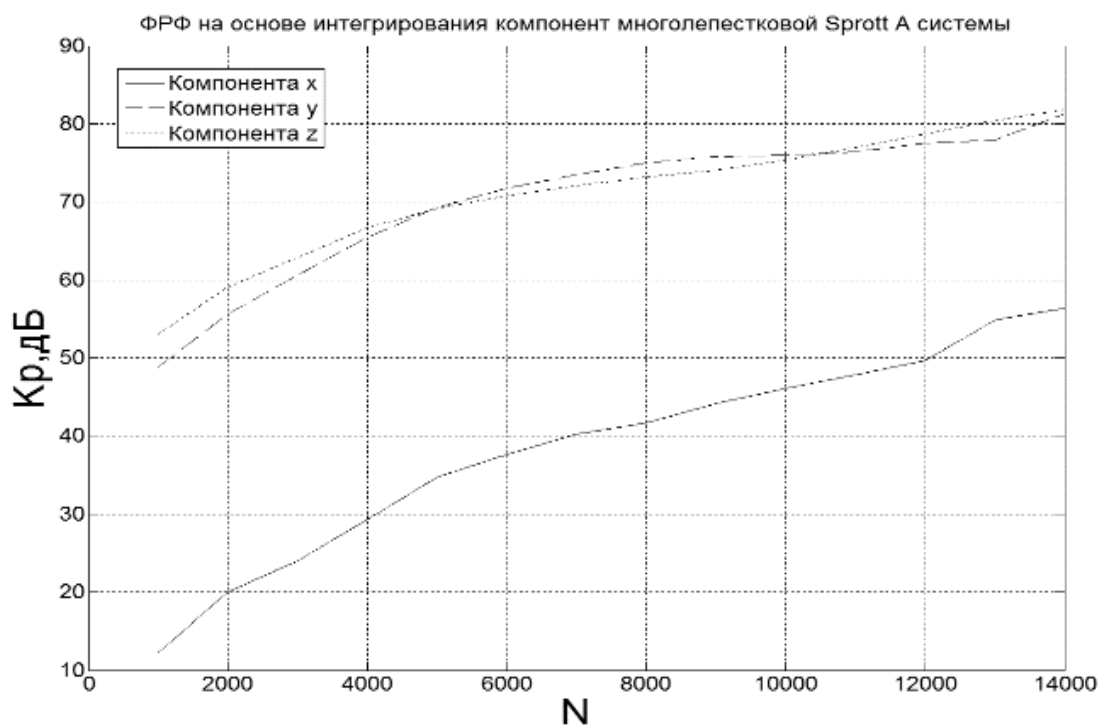


Рис. 1. Зависимости коэффициентов подавления  $K_p$  компонент X, Y, Z многолепестковой Sprott A системы от числа отсчетов  $N$

Установлено, что рекомендуемый диапазон значений  $N$  составляет от 5000 до 6000, так как при увеличении  $N$  усложняется различимость спиралей в фазовом портрете многолепестковой системы. В рекомендуемом интервале значений  $N$  коэффициент подавления  $K_p$  составляет не менее 71 дБ для компоненты  $Y$ .

Таким образом, разработаны подходы к селективному подавлению функционально-режекторными фильтрами маскирующих сигналов многолепестковой Sprott A системы с хаотической динамикой, исследованы особенности селективного подавления, получены оценки зависимости коэффициентов подавления  $K_p$  компонент  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  многолепестковой Sprott A системы от числа отсчетов  $N$  дискретно-нелинейной системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. X. Hu, C. Liu, L. Liu, J. Ni, S. Li. Multi-scroll hidden attractors in improved Sprott A system / *Nonlinear Dynamics*, Vol. 86, No. 3, 2006, pp. 1725-1734.
2. Марданшин Э.Р., Афанасьев В.В. Преобразование фазоманипулированных сигналов фильтрами селективного подавления узкополосных помех и маскирующих псевдослучайных сигналов системы Лоренца / *Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона» №2*, 2018. – 17 с.

Т. Э. САЙФУЛЛИН, Е. П. ГРАХОВА  
*saifullin.talgat00@mail.ru, grakhova.ep@ugatu.su*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## АНТЕННОЕ УСТРОЙСТВО С УПРАВЛЯЕМОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ V2X

**Аннотация.** В статье представлен прототип микрополоскового излучателя и построенные на его основе линейные фазированные антенные решетки с управляемой диаграммой направленности для приложений систем «vehicle-to-everything» (V2X).

**Ключевые слова:** V2X, ITS, микрополосковая технология, фазированные антенные решетки, управление диаграммой направленности.

На сегодняшний день одной из самых существенных проблем транспортного сектора является стремление снизить количество погибших и пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях. Ежегодно в автомобильных авариях погибает около 1,2 миллиона человек, а девиантное поведение водителей (например, вождение в нетрезвом виде) является причиной более 90 процентов несчастных случаев со смертельным исходом. Интеллектуальные транспортные сети (ИТС) и семейство технологий V2X (Vehicle-to-Everything) способны предложить более качественные услуги для участников дорожного движения, а также стать основой для реализации усовершенствованной системы помощи водителю и системы автономного управления для транспортных средств [1].

Данная работа посвящена разработке микрополоскового излучателя и линейной фазированной антенной решетки (ФАР) с управляемой диаграммой направленности (ДН) для приложений V2X. Были сформулированы требования к излучателю в составе ФАР. Рабочая полоса частот излучателя должна находиться в диапазоне 5725–5875 МГц, в соответствии с решением ГКРЧ РФ для телематических устройств на транспорте [2]. Размер ФАР не должен превышать габаритов стандартных объектов дорожной инфраструктуры. Для ДН антенной решетки необходимо, чтобы ширина главного лепестка была достаточно узкой ( $\leq 9^\circ$ ) для наиболее точного слежения за автомобилем, движущегося с максимальной разрешенной скоростью. Для кругового обзора предполагается ис-

пользовать конфигурацию из четырех антенных решеток с сектором сканирования 90 градусов. Проектирование антенн осуществлялось в среде моделирования Ansys HFSS, где были экспериментально определены их рабочие характеристики.

Для излучателя ФАР была выбрана микрополосковая технология реализации СВЧ-устройств. В качестве подложки был выбран материал подложки Rogers 4350B с толщиной диэлектрика ( $\epsilon = 3,66$ ) 1,524 мм и толщиной слоя металлизации 0,018 (медь). Питание осуществляется с помощью микрополоскового фидера длиной 19,45 мм и шириной 2,82 мм. Плоскость заземления располагается на обратной стороне подложки и совпадает с ней по площади. Геометрическая форма и размеры излучателя приведены на рисунке 1, а обратные потери и ДН излучателя – на рисунке 2.

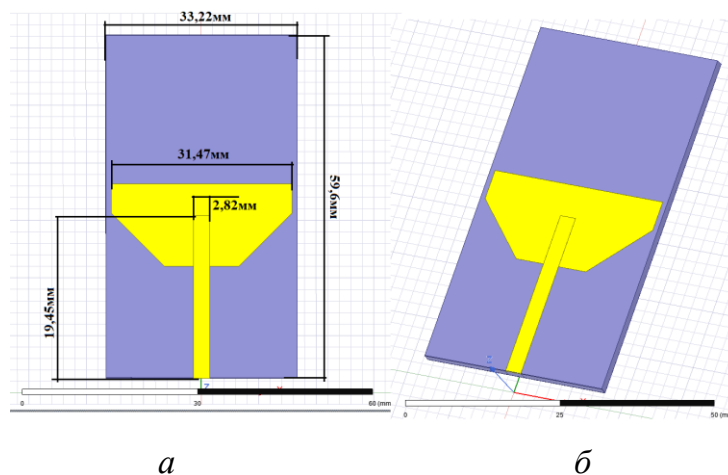


Рис. 1. Имитационная излучателя:  
*а – вид спереди; б – общая конфигурация*

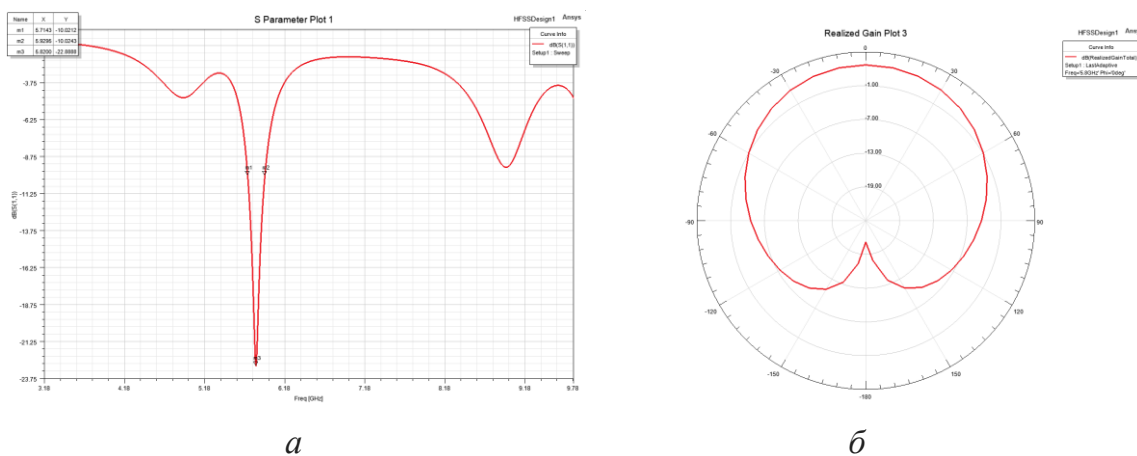


Рис. 2. Характеристики излучателя:  
*а – обратные потери ( $S_{11}$ ); б – ДН на частоте 5,8 ГГц в горизонтальной плоскости*

Согласно полученным результатам, рабочая полоса излучателя составляет 220 МГц (5,93-5,71 ГГц) с резонансом на частоте 5,82 ГГц. ДН излучателя в горизонтальной плоскости имеет ширину главного максимума 115 градусов по уровню -3 дБ с усилением 3,1 дБи.

На основе разработанных излучателей была составлена линейная ФАР из 14 элементов, центры которых отстоят друг от друга на расстояние 31,47 мм (рисунок 3). Габариты ФАР составляют 444,3 мм x 59,6 мм x 1,56 мм.

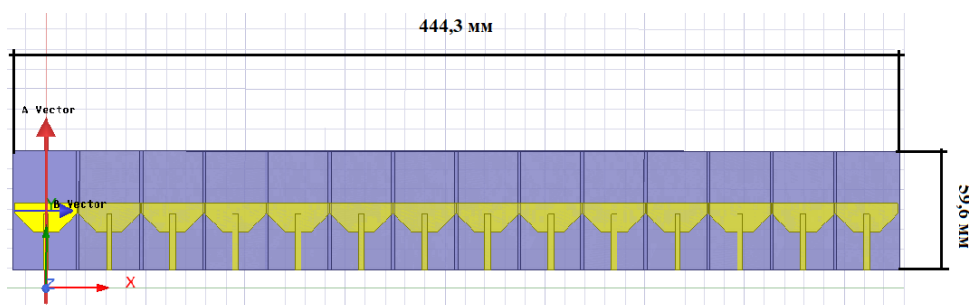


Рис. 3. ФАР для сектора сканирования 90 градусов

Поворот главного максимума ДН на 90 градусов достигается путем подачи равноамплитудного сигнала с набегом фазы в 160 градусов на элементы ФАР. На рисунке 4 представлены ДН ФАР в случае максимального отклонения главного максимума. Коэффициент усиления ФАР составляет 14,6 дБи, а ширина луча равна 8,33 градуса.

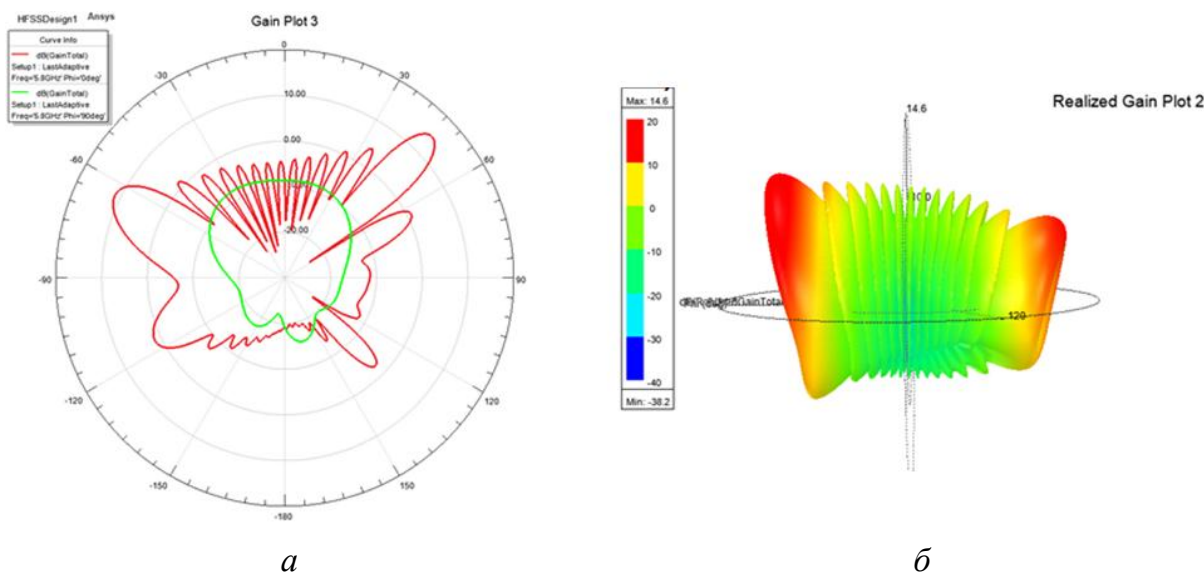


Рис. 4. Диаграммы направленности ФАР:

*а – в горизонтальной плоскости – зеленая линия, в вертикальной плоскости – красная линия, б – 3D модель*

Уровень боковых лепестков для данной реализации ФАР существенен, однако может быть снижен за счет неравноамплитудного возбуждения элементов решетки, или же их неэквидистантного расположения.

Таким образом, полученные результаты разработки антенных устройств для систем ИТС полностью удовлетворяют поставленным требованиям и могут быть использованы для реализации высокоскоростных и надежных каналов связи между транспортным средством и базовой станцией в системах V2X.

*Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда (соглашение № 21-79-10407).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. A. Lopukhova, E. P. Grakhova, G. S. Voronkov and R. V. Kutluyarov, "Gradient Boosting Algorithms Application for Beamsteering in V2X Systems," 2022 IEEE 23rd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), 2022, pp. 195-199, doi: 10.1109/EDM55285.2022.9855158.
2. Таблица распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации. Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 18 сентября 2019 года №1203-47.



Р. О. САЛЬНИКОВ, И. К. МЕШКОВ, А. Р. ГИЗАТУЛИН  
*kosshak17@yandex.ru, mik.ivan@bk.ru, azat\_poincare@mail.ru*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И КОМПЕНСАЦИИ ЧАСТОТНОГО И ВРЕМЕННОГО РАССОГЛАСОВАНИЯ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ 6G С ТЕХНОЛОГИЕЙ DFT-S-OFDM**

**Аннотация.** В статье обсуждаются методы оценки и компенсации частотного рассогласования CFO (Carrier Frequency Offset) и временного рассогласования STO (Carrier Frequency Offset) для повышения точности синхронизации в системах связи, использующих для передачи данных технологию DFT-s-OFDM, которая является эффективным способом борьбы с высоким значением отношения пикового уровня мощности сигнала к среднему уровню (Peak to average power ratio – PAPR) и внеполосного излучения при низкой вычислительной сложности алгоритмов обработки сигналов в будущих системах связи 6G.

**Ключевые слова:** CFO, STO, методы оценки, 6G, DFT-s-OFDM.

### ***Введение***

Будущие сети 6G, разработке которых в данный момент времени уделяется большое внимание в мировой науке, позволят поддерживать широкий спектр услуг по сверхвысокоскоростной передаче мультимедийных данных с различными техническими требованиями и в различных частотных диапазонах, при этом технологии обработки сигналов, используемых в 6G и схемы модуляции должны соответствовать жестким требованиям, предъявляемым к физическому каналу передачи и задержкам, возникающим в процессе передачи.

При выборе технологии обработки, формы и схемы модуляции передаваемого и принимаемого сигнала необходимо руководствоваться требованиями минимального отношения пикового уровня мощности сигнала к среднему уровню (Peak to average power ratios – PAPR) с целью повышения энергоэффективности таких систем, повышением точности синхронизации за счет компенсации CFO, и STO, эффектов проявляющихся в системах передачи вследствие смещения несущей частоты, вызванной Доплеровским сдвигом частоты или нестабильности выходной несущей частоты передатчика и влияния шумов соответственно. Повышение точности синхронизации дает возможность снижения

уровня межсимвольной (ISI) и межканальной интерференции (ICI) и задержек при распространении и обработке принятой информации и повышением спектральной эффективности для повышения битовой скорости передачи данных.

Перспективной и апробированной технологией является DFT-s-OFDM, как средство борьбы с высоким значением отношения пикового уровня мощности сигнала к среднему уровню (Peak to average power ratio – PAPR), внеполосного излучения при низкой вычислительной сложности алгоритмов обработки сигналов, однако технология DFT-s-OFDM также, как и ее аналоги (ортогональное частотное мультиплексирование) является подверженной частотному и временному рассогласованию [1].

Целью данной работы является разработка и проверка действующий методов оценки и компенсации частотного и временного рассогласования для технологии DFT-s-OFDM и различных методов доступа.

### ***DFT-s-OFDM***

В DFT-s-OFDM, символы данных распределяются благодаря дискретному преобразованию Фурье, за которым следует стандартный алгоритм OFDM систем и входные данные распределяются по созвездию в зависимости от схемы выбранной модуляции. Далее происходит конвертация в параллельный код, который впоследствии преобразуется быстрым преобразованием Фурье.

Предположим, что входные данные относятся к промежутку  $\{d_i, 0 \leq i \leq 2M - 1\}$ , тогда их отображение описывается как  $\{x_l = d_{2(i-1)} + jd_{2i-1}, 0 \leq l \leq M - 1\}$ . Это отображение будет распределено (1) при помощи дискретного преобразования Фурье.

$$S_k = FFT(x_l) = \sum_{l=0}^{M-1} x_l e^{2\pi l k / M} . \quad (1)$$

Символы DFT-распределения  $\{S_k, 0 \leq k \leq M - 1\}$  располагаются на  $M$  поднесущих, являющихся составляющей частью  $N = QM$ , благодаря операции zero padding. Операцию (2) можно описать так:

$$X_k = \begin{cases} S_k, & 0 \leq k \leq M - 1 \\ 0, & M \leq k \leq N - 1 \end{cases} \quad (2)$$

где  $k$  описывает символ  $k$ -й поднесущей [2].

При практической реализации данной технологии существует два различных подхода к распределению поднесущих частот для абонентов, которые реализуют методы доступа: DFDMA (распределенный FDMA) и LFDMA (локализованный FDMA) [3]. DFDMA распределяет  $M$  выходных данных DFT-преобразования по всей полосе частот для  $N$  поднесущих, неиспользуемые поднесущие  $(N-M)$  заполняются нулями. LFDMA представляет выходные данные DFT-преобразования на  $M$  последовательных поднесущих в полосе частот для  $N$  поднесущих. При этом возможна реализация метода доступа IFDMA (чередующийся FDMA), которая будет являться разновидностью распределенного FDMA, при которой происходит распределение выходных данных DFT-преобразования с равным расстоянием  $N/M=S$ , где  $S$  – коэффициент расширения полосы пропускания (рисунок 3).

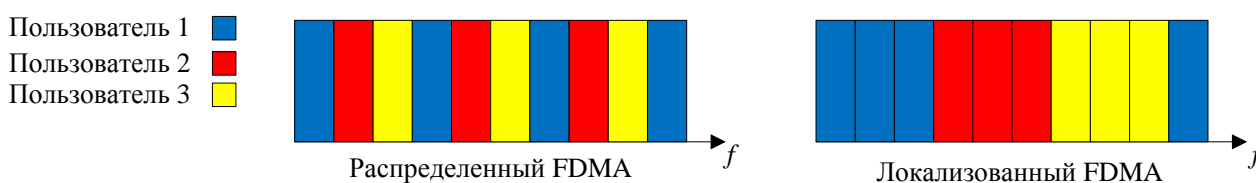


Рис. 1. DFT-s-OFDM с различными методами распределения поднесущих частот:  
*a* – DFDMA; *б* – LFDMA

### ***Методы оценки и компенсации частотного и временного рассогласования для DFT-s-OFDM***

Нарушение частотной синхронизации в системах с DFT-S-OFDM может быть двух видов: рассогласование между тактовыми частотами генераторами передатчика и приемника и рассогласование между опорными частотами передающей и приемной станций. При этом различают CFO двух видов - целое

смещение несущей частоты IFO (Integer Frequency Offset) и частичное смещение несущей частоты FFO (Fractional Frequency Offset). В реальных системах связи всегда присутствует некоторое частотное рассогласование между приемником и передатчиком. Основными причинами возникновения являются нестабильность гетеродинов на приемной и передающей стороне, а также эффект Доплера, возникающий при движении приемника и передатчика относительно друг друга [4].

Причина возникновения STO и необходимость связанной с этим эффектом временной синхронизации заключается в отсутствии априорного знания, определяющего точное местонахождение окна БПФ-преобразования (позиции принимаемого символа) для корректной демодуляции на приемной стороне [5].

Рассмотрим оценку и компенсацию STO, основанную на использовании циклического префикса, или подобия между двумя блоками выборок в защитных интервалах  $N_G$  в  $W_1$  и  $W_2$ , которая максимизируется, когда циклический префикс DFT-S-OFDM символа попадает в управляемое по длине окно оценки выборки принятого сигнала. Рассчитанное значение оценки временного рассогласования может использоваться, чтобы его идентифицировать и соответственно компенсировать рассогласование.

Для оценки смещения несущей частоты на приемной стороне системы связи рассмотрены такие методы, как:

- Метод оценки частотного рассогласования на основе циклических префиксов, основанный на сравнении фаз сигнала в циклическом префиксе и части DFT-s-OFDM сигнала, которая была использована для вставки защитного интервала.

- Метод оценки частотного рассогласования на основе метода Муса (Moose), основанный на сравнении двух передающихся друг за другом идентичных обучающих символов, которые находятся в преамбуле кадра.

- Метод оценки частотного рассогласования на основе метода Классена, основанный на вставке пилот-сигналов в частотный промежуток и предостав-

ляющий возможность отслеживать CFO, параллельно передавая символы данных. Является модернизацией метода Муса.

### ***Имитационное моделирование оценки и компенсации частотного и временного рассогласования в системах связи с технологией DFT-s-OFDM***

Имитационное моделирование для оценки и компенсации частотного и временного рассогласования проводилось в среде Matlab. В качестве исходных данных выбраны параметры – размерность прямого и обратного быстрого преобразования Фурье, уровень вносимого частотного рассогласования CFO; схема модуляции 16-QAM; коэффициент расширения полосы пропускания  $S$ ; количество итераций обработки данных 100 (размер цикла); номера несущих, подверженных эффекту STO; число бит на модулируемый символ; в качестве защитного интервала использовалась  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$  часть полезного символа. Результаты имитационного моделирования оценки и компенсации CFO и STO приведены на рисунках 2 и 3 соответственно.

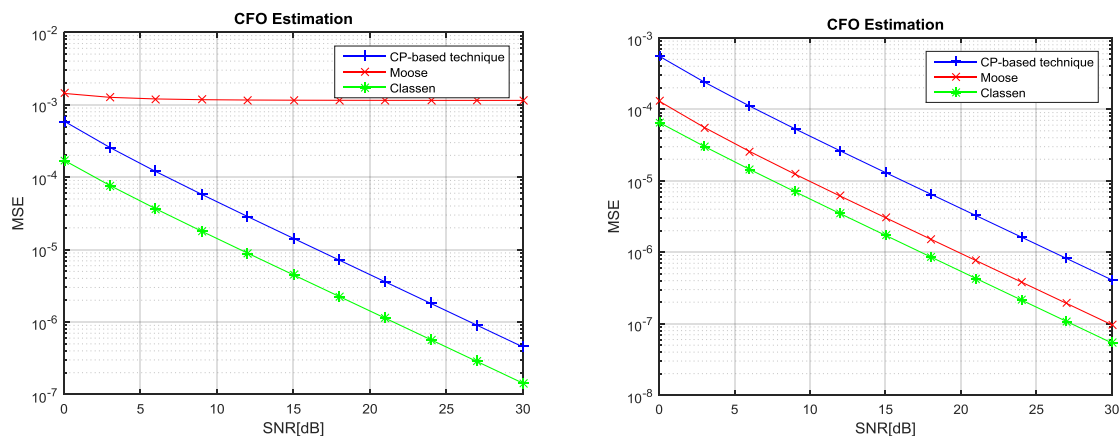


Рис. 2. Оценка частотного рассогласования при  $N_{fft}=256$ ,  $CFO=0,15$ :  
*a* – LFDMA; *б* – IFDMA

Полученные данные свидетельствуют о том, что метод Moose малоэффективен при низких уровнях рассогласования для LFDMA, однако повышает свою эффективность для IFDMA. При увеличении частотного рассогласования метод Moose повышает свою эффективность, при сохранении высокой ошибки,

что можно использовать в качестве одного из способов определения CFO, но с дополнительными методами компенсации ошибки восстановления.

На рисунке 2 представлена оценка STO для методов доступа LFDMA и IFDMA в DFT-s-OFDM при  $N_{fft} = 256$  и  $CFO = 0,15$  и  $0,5$ . Метод осуществляет поиск 30 поднесущей частоты, на которую оказывается влияние временного рассогласования при передаче группового сигнала.

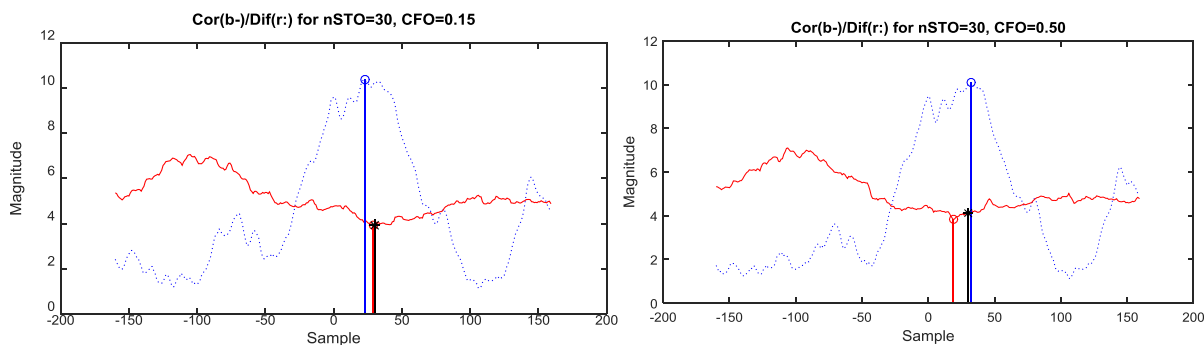


Рис. 3. LFDMA,  $N_{fft} = 256$ :  
*a* –  $CFO = 0,15$ ; *б* –  $CFO = 0,5$

Сравнение точности оценки локализации подверженной временному рассогласованию поднесущей частоты при использовании метода минимизации различий для  $N_{fft} = 256$  приведено на рисунке 4. Для сравнения приведены оценки точности для технологии OFDM и OFDMA.

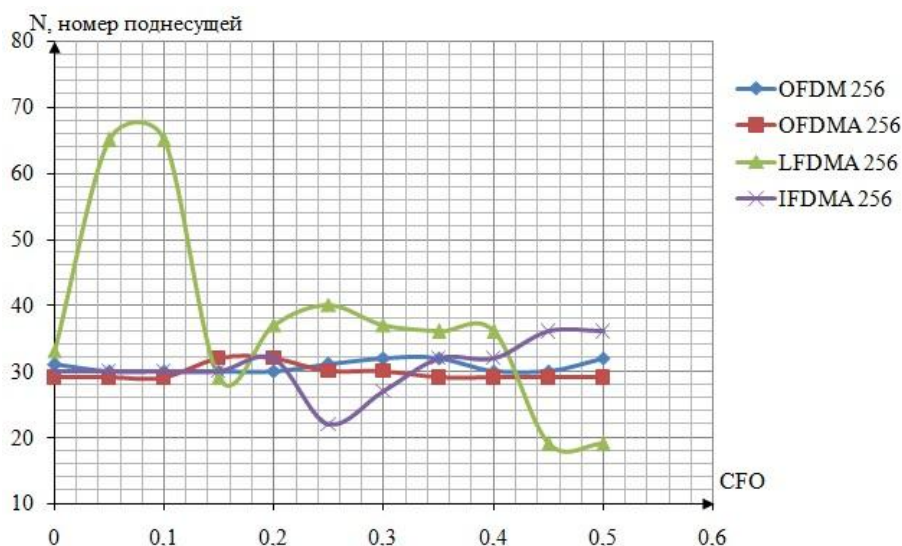


Рис. 4. Сравнение точности попадания при использовании метода минимизации различия  $N_{fft} = 256$

Полученные данные свидетельствуют о том, что для DFT-s-OFDM при использовании IFDMA точность определения позиции поднесущей частоты выше, чем для LFDMA, при том что сложность реализации IFDMA выше.

### ***Заключение***

В результате проведенных измерений можно сделать вывод, что методы оценки CFO и STO позволяют с достаточной точностью и минимальной ошибкой оценить и компенсировать частотное и временное рассогласование при использовании в канале связи для передачи данных технологии DFT-s-OFDM.

*Исследование выполнено за счет гранта Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФГБОУ ВО УГАТУ # FEUE-2020-0007 и за счет гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (МК-1006.2022.4).*

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Сети 6G. Путь от 5G к 6G глазами разработчиков. От подключенных людей и вещей к подключенному интеллекту. / пер. с англ. В. С. Яценкова. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 624 с.: ил.
2. Y. Zhang, H. Sun, E. Cheng, W. Shen, An Underwater Acoustic Implementation of DFT-Spread OFDM, in Proc. EURASIP Journal on Advances on Signal Processing, 2010.
3. Yong Soo Cho. MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB, Wiley, 2010.
4. К. В. Семенов, С. С. Старицин, А. Н. Абакумов, И. В. Житков, Влияние Ошибки Оценивания Несущей Частоты На Качество Приема Сигналов С OFDM-Модуляцией, Журнал Радиоэлектроники, ISSN 1684-1719, №10, 2021.
5. K. Jiaa, T. Dua, X. Zhang, J. Zhang, Frequency Offset Estimation and Symbol Timing of MIMO-OFDM System Based on Modified Auto-correlation Matrix in Industry Environment, in Proc. Frequency Offset Estimation and Symbol Timing of MIMO-OFDM System Based on Modified Auto-correlation Matrix in Industry Environment, 2012.

УДК 004

Д. Н. САФИНА

*dilyara.safina.20@mail.ru*

Науч. руковод. – ст. преп. Г.И. ГАПТУЛЛАЗЯНОВА

***Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева***

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПО УЧЕТУ БЫТОВОЙ ТЕХНИКИ**

**Аннотация.** В данной статье описана необходимость создания информационной системы для учета бытовой техники. Раскрыта актуальность данной работы. Сформулированы основные плюсы использования информационных систем для учета бытовой техники. Разработана модель «сущность-связь».

**Ключевые слова:** информационные системы, системы управления базами данных, база данных, материальные ценности.

Целью исследования является обоснование необходимости разработки и сама разработка информационной системы по учету бытовой техники и по ее обслуживанию.

Задачи данного доклада:

- изучение предметной области;
- описание основных плюсов использования информационных систем;
- проектирование информационной системы.

В современном мире продолжают процессы совершенствования информационных систем, начинается эра информатизации страны, деятельность государственных и частных фирм переходят в информационную сферу. Все это меняет требования к учету бытовой техники, а также к их обслуживанию и ремонту.

Ручная обработка данных давно устарела, так как занимает большое количество времени и сил. Тратится время на заполнение огромного количества документов и еще больше времени на исправление ошибок, потому что нельзя исключать человеческий фактор. Данные проблемы легко решаются путем использования информационных технологий.



Актуальность данной работы состоит в том, что для качественной работы по обслуживанию и ремонту техники не обойтись без автоматизированных систем и программного обеспечения. Прежде всего это связано с тем, что количество операций, которые выполняются одним работником, настолько огромно, что ручной режим становится невозможным и слишком трудоемким. Также не мало важным фактором является увеличение безопасности хранения информации. Третьим фактором является то, что работа с информационными системами в несколько раз упрощает работу. Преимуществом информационных систем является также обеспечение многопользовательского варианта работы с документами [1].

Техническое обслуживание и использование информационных систем при выполнении учета бытовой техники позволяет предприятиям и фабрикам выйти на совершенно другой уровень, что даст положительный эффект в экономическом плане.

Учитывая вышесказанное, решить данную задачу можно только с использованием информационных технологий. Во-первых, из-за большого количества данных. А, во-вторых, хранение и поиск данных в бумажном виде является трудоемкой задачей.

Почему же стоит переходить на использование информационных систем? Важным достоинством является безопасность в хранении данных. При утрате информации в бумажном носителе является невозможным их восстановление. Электронное хранение документов обеспечивает высокую надежность, благодаря существующим способам обеспечения безопасности хранения данных.

Сформулируем основные плюсы использования информационных систем для успешного выполнения задачи по учету бытовой техники:

- удобство поиска и размещение данных из журналов хранения совершенных операций;
- быстрота поиска и сортировки данных, а также оформления операций;
- большая степень обеспечения безопасности хранения информации;

– возможность использования и работы большого количества пользователей.

Информационная система будет использовать единое хранилище информации, то есть базу данных. Каждая категория информации будет храниться отдельными объектами, а при использовании их в других категориях данные должны будут предоставляться в виде ссылок. Например, данные компании в таблице клиентов будут представляться в виде ссылки, а не как текстовое поле [2].

Данная информационная система будет максимально исключать ручной ввод информации в поля. Желательно создать отдельные таблицы БД для всех сущностей предметной области, даже если они не играют решающего значения. Сущности, зависящие друг от друга необходимо реализовать в виде связанных таблиц БД, используя связи один к одному, один ко многим, многие ко многим.

Информационная система должна иметь удобный и понятный интерфейс, помогать пользователю при работе, максимально исключать ошибочные ситуации.

Разработанная для информационной системы база данных состоит из 21 таблицы [3]. Для хранения данных авторизации пользователей в информационной системе используется таблица «Users». Таблица не имеет связей с другими таблицами. Таблицы «Ware» одна из основных таблиц информационной системы хранит данные комплектов оборудования их тип, единицы измерения, цену и т.д. Для комплектов оборудования можно задать планы обслуживания, которые будут храниться в таблице «PlanOper». В таблице «Equip» для выбранного комплекта оборудования можно задать серийный и инвентарный номера, подразделение установки оборудования, а также ТМЦ входящие в состав оборудования. ТМЦ входящие в состав оборудования хранятся в отдельной таблице «EquipTabl». Операции, проведенные над оборудованием, хранятся в таблице «Jornal». Операции включают в себя сроки операций, организацию и ее адрес,

подразделение, тип операции и т.д. Связи между таблицами представлено на рисунке 1.

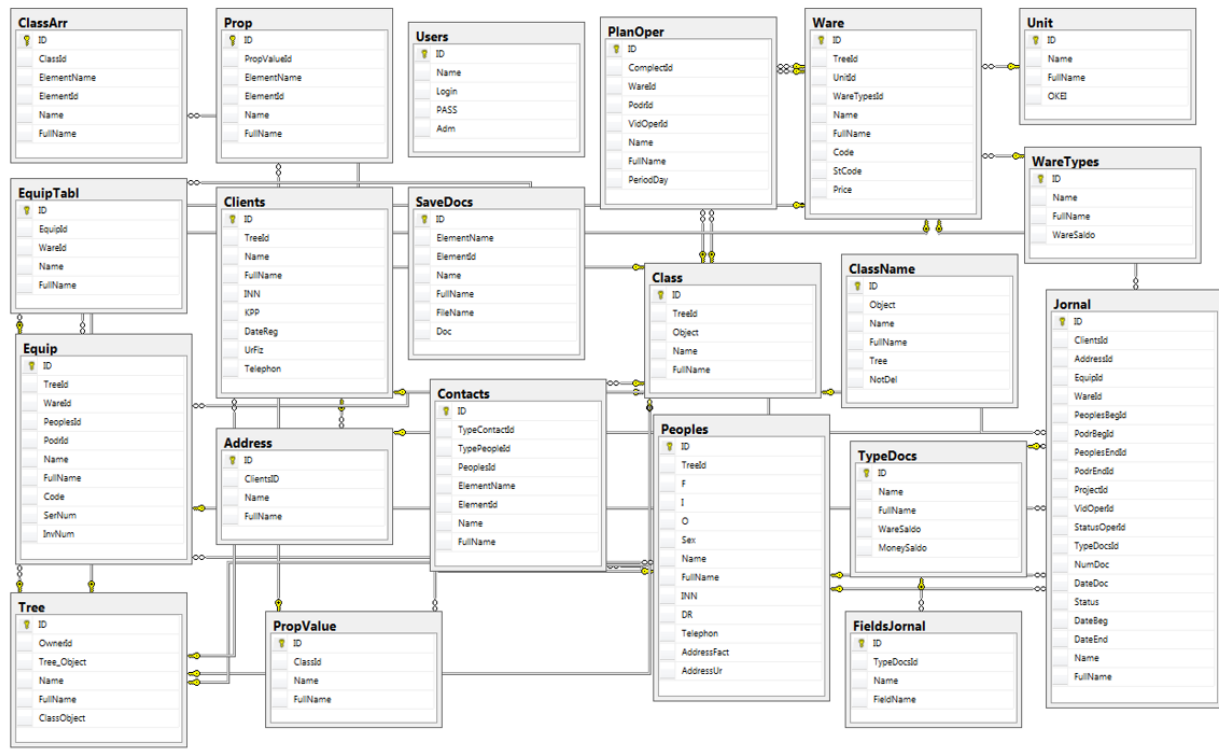


Рис. 1. Связь между таблицами

На рисунке 2 представлено дерево функций информационной системы. Все функции можно отнести на «основные» и «служебные».

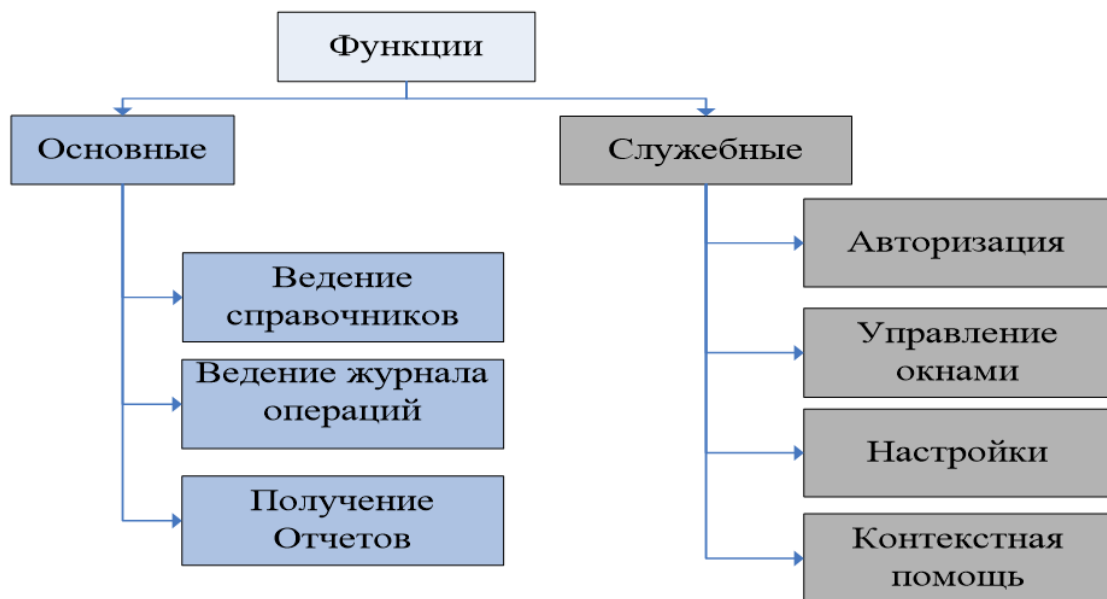


Рис. 2. Дерево функций

В результате проанализирован учет оборудования и его ремонта. В результате анализа сделан вывод о необходимости автоматизации данного процесса.

Для решения задачи было принято решение разработать и реализовать информационную систему, организующую учет оборудования и операций различного вида над этим оборудованием.

Для проектируемой информационной системы была разработана модель «сущность-связь».

От внедрения разработанного приложения произойдут качественные улучшения в организации работы по ведению учета и обслуживания оборудования. За счет того, что работа персонала будет значительно облегчена за счет автоматизации ведения справочной информации, оформления операций по обслуживанию оборудования, качество работы сотрудников значительно возрастет. Разработанное приложение позволит навести порядок в организации работы по ведению и учету оборудования и его ремонта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудинский, И.Д. Технология проектирования автоматизированных систем обработки информации и управления. [Электронный ресурс] — Электрон.дан. — М. : Горячая линия-Телеком, 2019. — 304 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/519>.
2. Шумаков В.П. Delphi и создание приложений баз данных. М., Нолидж, 2020.
3. Кузин А.В. Базы данных [Текст] : учебное пособие / А. В. Кузин, С. В. Левонисова. - 4-е изд., стер. - М. : Академия, 2020. - 320 с. - (Высшее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 313. - ISBN 978-5-7695-7368-2.

**ФОТОННАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ  
ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ**

**Аннотация.** В статье приведены основные методы реализации устройств, управляющих диаграммой направленности антенной решетки средствами интегральной фотоники, проанализированы их достоинства и недостатки. На основе проведенного анализа разработана собственная схема формирования диаграммы направленности.

**Ключевые слова:** управление диаграммой направленности; интегральная фотоника; антенная решетка.

Существующие системы управления диаграммой направленности (ДН) антенной решетки на основе электронных устройств обладают значительными недостатками, такими как: высокие потери на интерфейсах, подверженность электромагнитным наводкам, сложности при работе с широкополосным сигналом, высокое энергопотребление. Данные недостатки могут быть устранены с применением систем на основе микроволновой фотоники, как в дискретном исполнении, так и в интегральном [1].

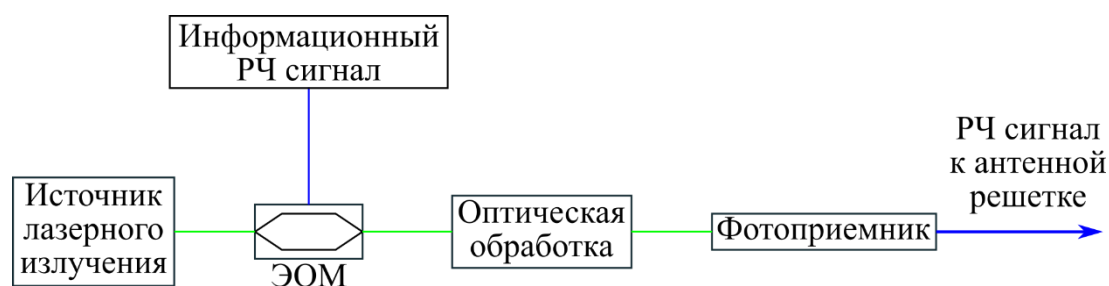


Рис. 1. Обобщенная схема устройств микроволновой фотоники для управления антенной решеткой. Зеленым цветом показаны оптические сигналы, синим – радиочастотные (РЧ) сигналы, ЭОМ – электро-оптическая модуляция

Основными преимуществами интегрального исполнения управляющей схемы являются меньше размеры устройства, вносимые потери и энергопотребление, также рабочий частотный диапазон устройства зависит только от характеристик электро-оптического модулятора и фотодетектора [2]. Соответ-

ственно, далее будут рассмотрены методы управления диаграммой направленности с использованием средств интегральной фотоники.

В интегральной фотонике используется два метода управления лучом: действительной задержки (TTD – true time delay) и фазового сдвига (PS – phase shift). Первый метод заключается в увеличении пути, преодолеваемого светом, второй – в изменении групповой скорости оптического сигнала с использованием нагревателей, легирования примесями *p*- и *n*-типа и т.д.

Основным недостатком метода фазового сдвига является зависимость поворота луча от частоты сигнала, что сужает рабочий частотный диапазон. Метод действительной временной задержки лишен данного недостатка несмотря на то, что в нем могут применяться фазовращатели для управления [3].

Основным элементом фотонной интегральной схемы (ФИС) для управления ДН является линия задержки (ЛЗ) (или фазовращатель в случае метода фазового сдвига), в которой происходит изменение фазы сигнала. Линии задержки могут быть реализованы с использованием интерферометров Маха-Цендера (ИМЦ) [4–6], фотонных кристаллов [7, 8], интегральных брэгговских решеток (ИБР) [9–12], микрокольцевых резонаторов (МКР) [3, 13, 14] и массивных волноводных решеток (AWG – arrayed waveguide grating) [15]. Интегральные фазовращатели могут быть собраны в оптические фазированные решетки (ОФР) [16]. Сравнение данных методов приведено в таблице 1.

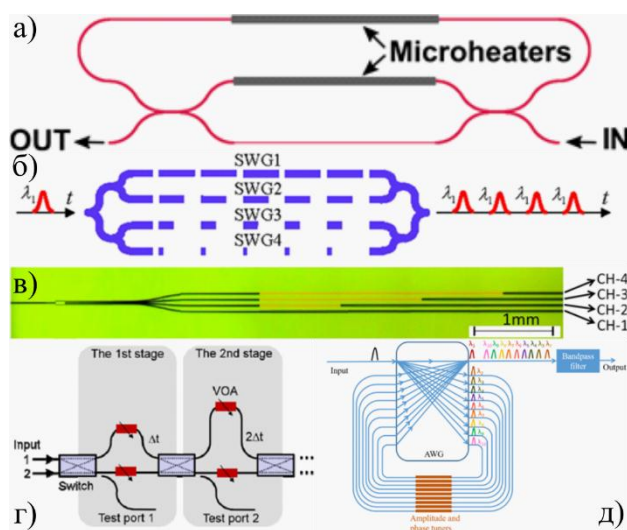


Рис. 2. Возможные реализации линий задержек на основе:

*а* – микрокольцевого резонатора [17]; *б* – субволновых брэгговских решеток [10]; *в* – фотонных кристаллов [8]; *г* – ИМЦ [4]; *д* – массивных волноводных решеток [15]

Сравнение основных характеристик методов реализации  
интегральных линий задержки [11, 18]

Линия задержки	ИМЦ	МКР	AWG	ИБР	ОФР
Занимаемая площадь	Хорошая	Лучшая	Хорошая	Лучшая	Умеренная
Частотный диапазон	Лучший	Умеренный	Умеренный	Умеренный	Умеренный
Диапазон временной задержки	Лучший	Хороший	Хороший	Умеренный	Умеренный
Подстройка временной задержки	Умеренная	Лучшая	Хорошая	Хорошая	Лучшая
Потери	Хорошие	Хорошие	Лучшие	Умеренные	Умеренные
Простота производства	Лучшая	Хорошая	Умеренная	Умеренная	Лучшая

С точки зрения производства в России лучшими вариантами по совокупности критериев являются линии задержки на основе ИМЦ и МКР со встроенными фазовращающими элементами на основе микронагревателей. При этом на ФИС будут размещены такие элементы как: модулятор Маха-Цендера, разветвители и линии задержки на основе ИМЦ. В качестве интерфейсов для ввода-вывода оптического излучения будут использоваться торцевые вводы. Соответственно, внешними дискретными элементами будут источник лазерного излучения и фотодиоды. Данное решение позволяет производить ФИС на большинстве доступных платформ [19].

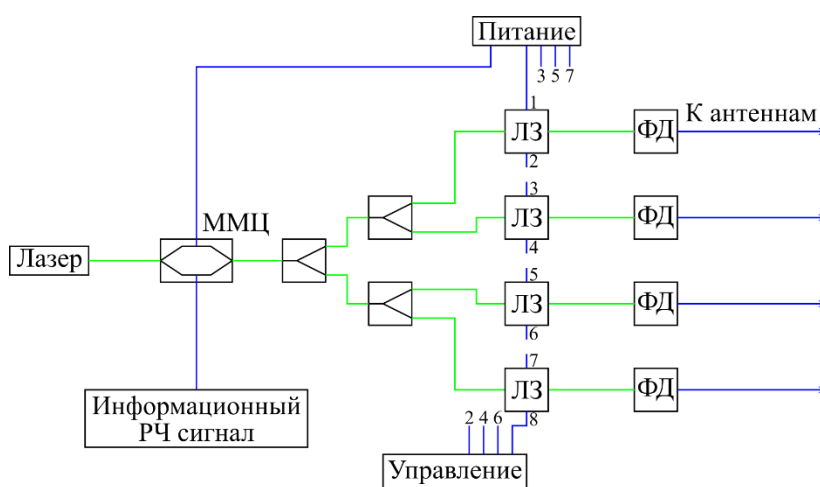


Рис. 3. Обобщенная схема управления диаграммой направленности: ММЦ – модулятор Маха-Цендера, ЛЗ – линия задержки, ФД – фотодетектор. Зеленым цветом показаны оптические сигналы, синим – РЧ сигналы

*Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда  
(соглашение № 21-79-10407).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Microwave Photonics – GFO - EPFL [Электронный ресурс]. URL: <https://www.epfl.ch/labs/gfo/page-60916-en-html/page-61503-en-html/> (дата обращения: 14.08.2022).
2. Marpaung D., Yao J., Capmany J. Integrated microwave photonics // Nat. Photonics. Nature Publishing Group, 2019. Vol. 13, № 2. P. 80–90.
3. Meijerink A. et al. Novel ring resonator-based integrated photonic beamformer for broadband phased array receive antennas - Part I: Design and performance analysis // J. Light. Technol. 2010. Vol. 28, № 1. P. 3–18.
4. Xie J. et al. Seven-bit reconfigurable optical true time delay line based on silicon integration // Opt. Express. Optical Society of America, 2014. Vol. 22, № 19. P. 22707–22715.
5. Wang X. et al. Continuously tunable ultra-thin silicon waveguide optical delay line // Optica. Optical Society of America, 2017. Vol. 4, № 5. P. 507–515.
6. Zhu C. et al. Silicon integrated microwave photonic beamformer // Optica. Optical Society of America, 2020. Vol. 7, № 9. P. 1162–1170.
7. Sancho J. et al. Integrable microwave filter based on a photonic crystal delay line // Nat. Commun. Nature Publishing Group, 2012. Vol. 3, № 1. P. 1–9.
8. Lin C.Y. et al. Silicon nanomembrane based photonic crystal waveguide array for wavelength-tunable true-time-delay lines // Appl. Phys. Lett. American Institute of Physics AIP, 2012. Vol. 101, № 5. P. 051101.
9. Burla M. et al. Integrated waveguide Bragg gratings for microwave photonics signal processing // Opt. Express. Optical Society of America, 2013. Vol. 21, № 21. P. 25120–25147.
10. Wang J. et al. Subwavelength grating enabled on-chip ultra-compact optical true time delay line // Sci. Rep. Nature Publishing Group, 2016. Vol. 6, № 1. P. 1–10.
11. Wang Y. et al. On-chip optical true time delay lines based on subwavelength grating waveguides // Opt. Lett. Optical Society of America, 2021. Vol. 46, № 6. P. 1405.
12. Zhang W., Yao J. A fully reconfigurable waveguide Bragg grating for programmable photonic signal processing // Nat. Commun. 2018. Vol. 9, № 1. P. 1396.
13. Liu Y. et al. Ultra-Low-Loss Silicon Nitride Optical Beamforming Network for Wideband Wireless Applications // IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. Vol. 24, № 4.
14. Tsokos C. et al. True Time Delay Optical Beamforming Network Based on Hybrid Inp-Silicon Nitride Integration // J. Light. Technol. 2021. Vol. 39, № 18. P. 5845.
15. Wang X. et al. Integrated Optical Delay Line Based on a Loopback Arrayed Waveguide Grating for Radio-frequency Filtering // IEEE Photonics J. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. Vol. 12, № 3.
16. Heck M.J.R. Highly integrated optical phased arrays: photonic integrated circuits for optical beam shaping and beam steering // Nanophotonics. 2017. Vol. 6, № 1. P. 93–107.
17. Liu Y. et al. Tuning Optimization of Ring Resonator Delays for Integrated Optical Beam Forming Networks // J. Light. Technol. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017. Vol. 35, № 22. P. 4954–4960.
18. Dhillon A.S., Radi B., Liboiron-Ladouceur O. An Analysis of RF On-Chip Antennas in Si-Based Integrated Microwave Photonics // IEEE Photonics J. 2021. Vol. 13, № 2.
19. Venghaus H., Grote N. Fibre Optic Communication: Key Devices. Springer International Publishing, 2017.



Е. А. ТАЛЫНЕВ, И. В. СТЕПАНОВ, Е. П. ГРАХОВА  
*talynev2001@mail.ru, stepanov.iv@ugatu.su, grakhova.ep@ugatu.su*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТРИГГЕРА ДЛЯ МЕТОДА ОКТ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация.** В данной статье рассматривается реализация расширения степени интеграции элементов на фотонной интегральной схеме, реализующей часть оптического тракта системы оптической когерентной томографии в частотной области.

**Ключевые слова:** SS-ОКТ; ФИС; ОКТ; интегральный триггер.

В последние годы одним из перспективных приложений интегральной фотоники является медицинская диагностика, в частности, реализация интерференционных схем для неинвазивной визуализации внутренних тканей тела. В частности значительный прогресс был достигнут в области оптической когерентной томографии (ОКТ), что привело к внедрению соответствующих устройств в офтальмологии, кардиологии и др. Исполнение оптической части схемы ОКТ на фотонных интегральных схемах (ФИС) является принципиально реализуемым и способно существенно расширить область применения технологии. Главными преимуществами реализации метода ОКТ на ФИС являются: потенциально низкая стоимость при условии массового производства, миниатюрность, удобство в применении и механическая стабильность. В связи с этим, актуальной задачей является полностью интегральная реализация оптической и оптоэлектронной части ОКТ, что позволит разместить ее непосредственно в диагностическом зонде.

Сегодня на ФИС реализовано три метода ОКТ: временной (TD-ОКТ – time domain OCT), спектральный (SD-ОКТ – spectral domain OCT) и с перестраиваемым источником излучения (SS-ОКТ – swept source OCT). Методы частотной ОКТ (FD-ОКТ – frequency domain OCT), включающие SD-ОКТ и SS-ОКТ, даже в случае частичного исполнения в интегральной форме обеспечивают более высокую скорость измерения, механическую стабильность и чувствительность системы по сравнению с TD-ОКТ [1]. За счет высокой скорости измере-

ния методы частотной ОКТ так же более устойчивы и менее чувствительны к движению зонда.

Подход SS-ОСТ, который реализуется с помощью перестраиваемого по длине волны источника излучения, интерферометров и делителей, кажется наиболее привлекательным для исполнения в интегральном виде и имеет больший потенциал, так как в отличие от SD-ОСТ, не требует встроенного спектрометра, а также высокочувствительной камеры. К тому же основными преимуществами метода SS-ОСТ являются высокая скорость сканирования (до 100 кГц), высокая разрешающая способность (до 7,5 мкм) и чувствительность сверх 90 дБ, что удовлетворяет требованиям медицинских приложений. Однако, на данный момент полноценная интеграция элементов системы этого метода на ФИС не была достигнута.

Так, для первого окна прозрачности (длины волн от 730 до 850 нм), которое наилучшим образом подходит для офтальмологических исследований, сообщалось лишь об одном устройстве SS-ОСТ, использующем интегральный интерферометр, выполненный на платформе  $\text{Si}_3\text{N}_4$  [2]. На основе представленной ФИС была продемонстрирована чувствительность 94 дБ при скорости сканирования 50 кГц и разрешающей способности по глубине, составляющей 7,5 мкм.

Для второго окна прозрачности (1310 нм), используемом в медицинской диагностике для визуализации кожи и других тканей человека, в научной литературе представлено гораздо больше работ, посвященных ФИС для SS-ОСТ. При этом большая их часть основана на интегральном исполнении делителей и интерферометрических схем (интерферометр Маха-Цендера, интерферометр Майкельсона), а также опорных плеч схемы. В большинстве случаев ФИС изготавливают на платформах SOI (silicon-on-insulator), или же  $\text{Si}_3\text{N}_4$  [3]. Однако, несколько работ сообщает о дополнительной интеграции на ФИС балансных аналоговых фотодетекторов, на основе чего достигается некоторое снижение потерь на межсоединениях. Так, в работе [4] достигнута нормализованная по уровню 1 мВт мощности на образце чувствительность, составляющая 93 дБ.

Третье окно прозрачности (1550 нм), которое чаще используется в промышленных целях для обнаружения трещин и прочих дефектов в металлических объектах, также представлено в работах реализации ФИС для SS-OCT. В большей степени это обусловлено наивысшей технологической готовностью изготовления элементов ФИС для этого диапазона длин волн, широко используемого для телекоммуникационных приложений. Тем не менее, известные дизайны ФИС также не демонстрируют степень интеграции элементов больше вышеупомянутых.

Следующим шагом к полностью интегральной системе SS-OCT на ФИС является реализация триггера для запуска цикла цифровой обработки сигнала, полученного на выходе балансной схемы детектирования. Необходимость данного элемента в SS-OCT продиктована нестабильной во времени характеристикой перестройки рабочей длины волны источника, что может привести к ошибкам при обработке сигнала в отсутствии синхронизации. На сегодняшний день, про возможность реализации интегрального триггера упоминалось лишь в работах [5-6].

В данной работе предлагается схема ФИС для SS-OCT, которая включает в себя помимо интерферометрической схемы и опорного плеча интегральный триггер, выполненный в виде несбалансированного интерферометра Маха-Цендера (рисунок 1).

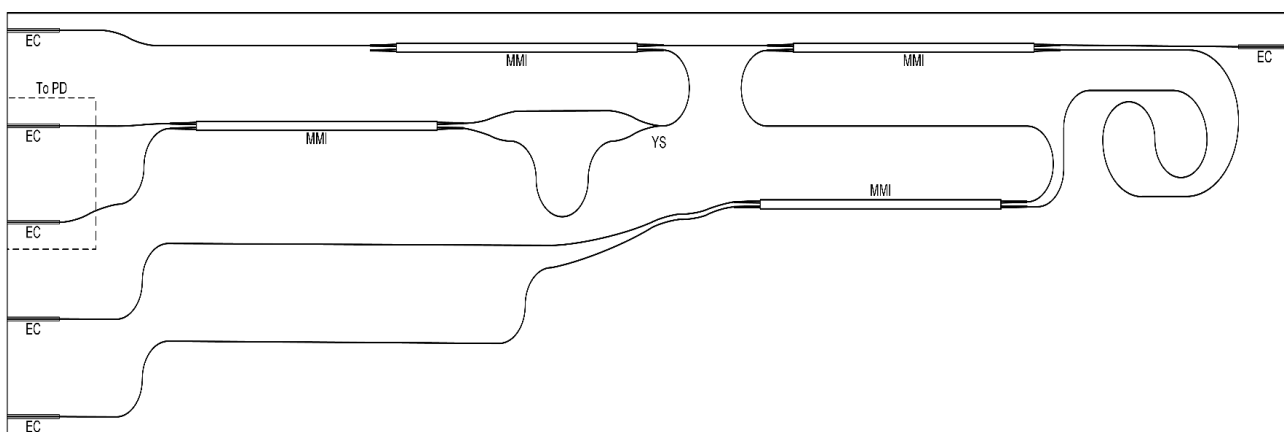


Рис. 1. Топология ФИС для SS-OCT с интегральным триггером:  
*PD* – photodetector (фотодетектор); *EC* – edge coupler (торцевой ввод);  
*MMI* – multimode interference coupler (многомодовый ответвитель);  
*YS* – y-splitter (разветвитель)

Принцип работы представленной топологии ФИС описан далее. Падающий свет из оптического волокна вводится на ФИС через торцевой вход. Далее сигнал поступает на первый многомодовый ответвитель (ММІ). Часть оптической мощности отделяется в сторону разветвителя (YS), составляющем с очередным ММІ небалансный интерферометр Маха-Цендера, и в дальнейшем отправляется к фотодетекторам (PD) для генерации сигнала синхронизации, содержащего сведения о текущей длине волны источника. В дальнейшем свет вновь разветвляется на многомодовом ответвителе. Одна его часть выходит через торцевой вход в сторону исследуемого образца, отражается и собирается обратно в волновод, в то время как другая часть проходит через опорное плечо и вновь интерферирует с обратнорассеянным светом в многомодовом ответвителе.

Реализация представленной схемы ФИС видится перспективным направлением для дальнейшей миниатюризации системы SS-ОСТ, на основе чего могут быть созданы удобные ручные зонды для интраоперационной диагностики тканей, или же эндоскопы для визуализации внутренних органов.

*Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для ФГБОУ ВО «УГАТУ» (соглашение № 075-03-2021-014) в молодежной научно-исследовательской лаборатории НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. A. Rank, et al. Miniaturizing optical coherence tomography // Trans. Biophotonics, 2021.
2. Rank, E.A., et al. In vivo human retinal swept source optical coherence tomography and angiography at 830 nm with a CMOS compatible photonic integrated circuit. Sci Rep 11, 21052 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00637-4>.
3. S. Nevlacsil, P. Muellner, et al. Multi-channel swept source optical coherence tomography concept based on photonic integrated circuits // Optics Express. 2020. T. 28, № 22/26.
4. M. S. Eggleston, F. Pardo, C. Bolle, B. Farah, N. Fontaine, H. Safar, M. Cappuzzo, C. Pollock, D. J. Bishop, and M. P. Earnshaw, "90dB sensitivity in a chip-scale swept-source optical coherence tomography system," in Conference on Lasers and Electro-Optics, OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2018), paper JTh5C.8.
5. M. S. Eggleston, F. Pardo, C. Bolle, B. Farah, N. Fontaine, H. Safar, M. Cappuzzo, M. P. Earnshaw, Proc. 24th OECC Int. Conf. PSC, IEEE, Fukuoka, Japan, 2019, 1.
6. R. V. Kutluyarov, D. M. Fatkhiev, et al. "Devices for backscattered and reflected signals processing based on integrated photonics", Proc. SPIE 11516, Optical Technologies for Telecommunications 2019, 115160X (22 May 2020); <https://doi.org/10.1117/12.2566517>

УДК 535.14

А. Ф. ХАЙРУЛЛИН

*albert.captaen@gmail.com*

Науч. руковод. – д-р физ.-мат наук, проф. С. А. МОИСЕЕВ

***Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А. Н. Туполева***

## **ИСТОЧНИК ФОТОННЫХ ПАР В ВИДИМОМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОМ ДИАПАЗОНЕ НА ОСНОВЕ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ВОЛОКНА**

**Аннотация.** Источник запутанных пар фотонов является одним из основных элементов квантового повторителя [1]. При распространении пар фотонов по волоконно-оптическим линиям связи важную роль начинают играть оптические потери в волокне, минимальные значения для которых достигаются в диапазоне от 1530 до 1565 нм (стандартное окно прозрачности), что предъявляет требования к спектральным характеристикам генерируемого излучения [2]. Сами оптические волокна могут выступать в роли таких источников квантов, конкурируя с нелинейными кристаллами за счет высокой яркости излучения и минимальных потерь при соединении со стандартными волоконно-оптическими системами [3]. В ходе исследования изучались возможности генерации фотонных пар вблизи стандартного окна прозрачности на основе высоконелинейного фотонно-кристаллического волокна (NL-PM-750). Экспериментально получена генерация пар фотонов с частотой генерации 5 МГц.

**Ключевые слова:** источник фотонных пар; фотонно-кристаллическое волокно.

Источники пар фотонов являются фундаментальными строительными блоками в изучении квантовой запутанности и создании систем квантовой связи. В настоящее время существуют различные методы генерации фотонных пар, наиболее распространенными являются методы, основанные на использовании фотонно-кристаллических волокон [4], нелинейных кристаллов [5], также особый интерес представляет генерация в интегральных структурах [6]. В данной работе в качестве источника используется фотонно-кристаллическое волокно, в котором фотонные пары генерируются за счет эффекта спонтанного четырехволнового смешения. В то же время большой интерес представляют методы генерации квантового света на длине волны около 1550 нм, что является стандартом для телекоммуникаций. Четырехволновое смешение представляет собой параметрический процесс, основанный на нелинейности третьего порядка  $\chi^{(3)}$  сердцевинки волокна, который преобразует два фотона накачки в два

фотона на разных длинах волн. Обычно принимаемые фотоны называют сигнальными и холостыми. Для возникновения эффекта необходимо соблюдение условия частотного и фазового синхронизма, которое записывается в следующем виде [7]:

$$k_i + k_s - 2k_p + 2\gamma P_p = 0 \quad (1)$$

$$\omega_i + \omega_s = 2\omega_p \quad (2)$$

где:  $k_{i,s,p}$  – волновые векторы мод холостой, сигнальной и возбуждающей волн;  $\omega_{i,s,p}$  – частоты накачки холостой и сигнальной волн,  $P_p$  – пиковая мощность накачки,  $\gamma = \frac{2\pi n_2}{\lambda A_{eff}}$  – коэффициент нелинейности волокна, где  $n_2$  – нелинейный показатель преломления,  $A_{eff}$  – эффективная площадь моды волокна,  $\lambda$  – длина волны накачки.

В качестве источника пар фотонов исследовано фотонно-кристаллическое волокно NL-PM 750 с нулевой дисперсией на длине волны 750 нм. Предварительный численный анализ показал, что в этом PSF-световоде могут реализовываться состояния на длине волны около 1530 нм, как показано на диаграмме фазового синхронизма ЧВС процесса (скалярный режим ss-ss) на Рис.1.

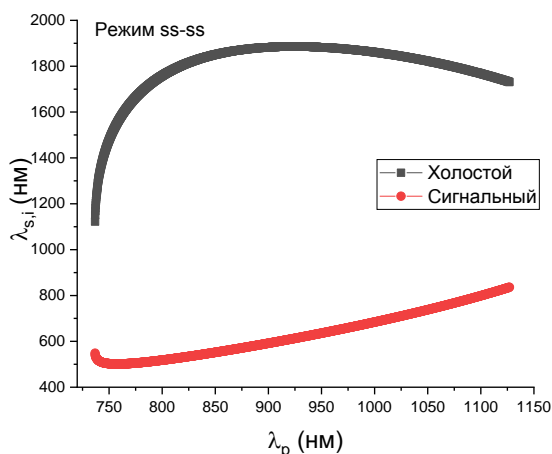


Рис. 1. Диаграмма фазового синхронизма ЧВС в МС-волокне NL-PM 750 для скалярного режима

Данные состояния были исследованы экспериментально. Схема экспериментальной установки по генерации фотонных пар в МС-волокне представлена на Рис.2. Генерация осуществлялась на основе явления четырехволнового сме-

шения (ЧВС) короткими лазерными импульсами. ЧВС возбуждалось с помощью Ti:Sa лазера с длиной волны выходных импульсов вблизи 780 нм. Частотная полоса импульсов дополнительно обужалась в блоке подстройки длительности и составляла ~130 ГГц. Сгенерированные в результате нелинейного процесса холостые линии с  $\lambda_i$  вблизи 1530 нм и сигнальные с  $\lambda_s$  вблизи 520 нм очищались от фотонов накачки с помощью двух режекторных фильтров, а затем направлялись в свой регистрирующий канал с помощью полосового отражающего фильтра, работающего в режиме дихроичного зеркала). В каждом из каналов стояли дополнительные полосовые фильтры, а сами фотоны регистрировались с помощью соответствующих однофотонных детекторов: в сигнальном канале с помощью детектора одиночных фотонов в видимом диапазоне (SPDM Count NIR, Laser Components), в холостом с помощью детектора одиночных фотонов в ИК-диапазоне (ID210, IDquantique). Скорости отсчетов детекторов и совпадений фиксировались с помощью схемы совпадений, на которую поступали выходные электрические сигналы с детекторов.

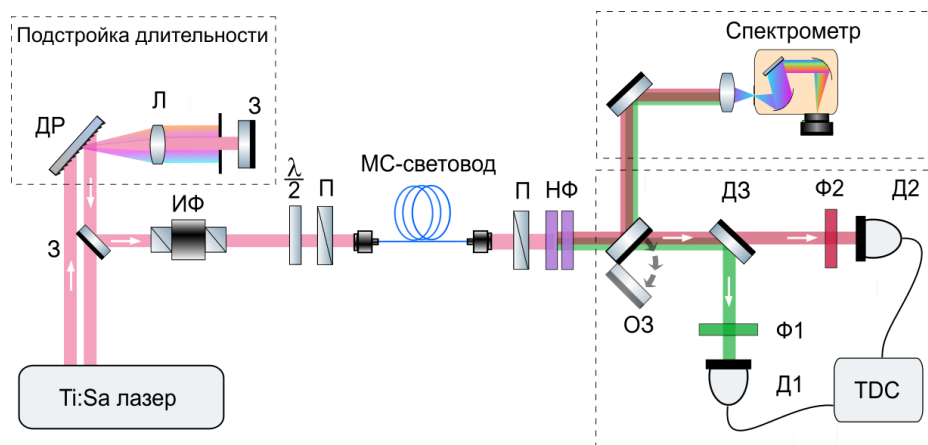


Рис. 2. Экспериментальная схема генерации фотонных пар в МС-световодах: *Ti:Sa* лазер – *Ti:Sa* лазер с синхронизацией мод (700-1000 нм); ИФ – изолятор Фарадея (переставить); ДР – дифракционная решетка; П – поляризатор;  $\lambda/2$  – полуволновая пластинка; МС-световод – используемое микроструктурированное волокно; НФ – режекторный фильтр (notch-фильтр); З – зеркало; Ф1 – оптический фильтр с полосой пропускания ниже 750 нм; Ф2 – оптический фильтр с полосой пропускания выше 1450 нм; Л – линза; Д1 – детекторы одиночных фотонов видимого диапазона; Д2 – детекторы одиночных фотонов ИК-диапазона; ОЗ – откидное зеркало; Спектрометр – спектрометр на основе монохроматора, сопряженного с охлаждаемой камерой

На Рис.3 представлены измерения статистических характеристик генерируемых пар фотонов в одном из скалярных режимов ЧВС. На Рис.3а изображены скорости регистрации фотонов в сигнальном  $N_s$  и холостом  $N_i$  каналах как функции мощности накачки  $P$ . Известно, боковые линии спонтанного ЧВС масштабируются как функции  $\sim P^2$ , а шумовые фотоны, например, относящиеся к спонтанному комбинационному рассеянию или не до конца подавленной накачке, масштабируются как функции  $\sim P$ . Для того чтобы разделить эти вклады и точно найти количество фотонов, регистрируемых от ЧВС процесса, экспериментальные на Рис.3а были аппроксимированы полиномом вида  $N_{s(i)}(P) = A_{s(i)} + B_{s(i)} \cdot P + C_{s(i)} \cdot P^2$ . На Рис.4б изображены экспериментальные точки скорости совпадений между каналами  $N_c$ , а на Рис.4в – корреляционная функция второго порядка  $g_0^2$  как функции мощности накачки  $P$ . Величина  $g_0^2$  определялась как отношение между значениями соседних столбиков на гистограмме совпадений, вычисляемой на основе данных со схемы.

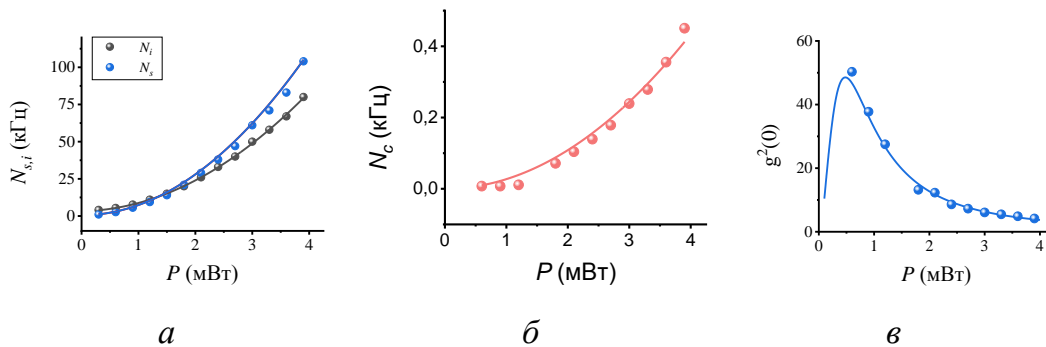


Рис. 3. (а) Скорости счета фотонов в сигнальном канале  $N_s$  (а), холостом канале  $N_i$  как функции средней мощности накачки  $p$ : эксперимент (кружки) и их аппроксимации квадратичными функциями (сплошные линии). (б) Скорости счета совпадений  $N_c$  и корреляционная функция второго порядка  $g^{(2)}(0)$  как функции мощности  $P$  (кружки): эксперимент (кружки) и их аппроксимации квадратичными функциями (сплошные линии). Параметры эксперимента: скалярный режим ЧВС ( $ss - ss$ ),  $\lambda_p \cong 760$  нм,  $\lambda_s \cong 506$  нм,  $\lambda_i \cong 1526$  нм

При мощности накачки  $P \cong 2,2$  мВт измеренная корреляция второго порядка  $g_0^2 \cong 10$ , полученное в эксперименте значение скорости генерации пар (с учетом потерь)  $r_0 \approx 5$  МГц. Отметим, что значение  $g_0^2 \geq 10$  является критерием применимости источника в квантовых технологиях. Таким образом, значение  $r_0$



МОЖНО СЧИТАТЬ ОПТИМАЛЬНЫМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭТОГО ИСТОЧНИКА В КВАНТОВЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jones, C., Kim, D., Rakher, M.T., Kwiat, P.G., & Ladd, T.D., Design and analysis of communication protocols for quantum repeater networks. *New Journal of Physics*, 18(8), 2016.
2. Yu, L., Natarajan, C.M., Horikiri, T., Langrock, C., Pelc, J.S., Tanner, M.G.,... Yamamoto, Y., Two-photon interference at telecom wavelengths for time-bin-encoded single photons from quantum-dot spin qubits. *Nature Communications*, 6, 2015.
3. Söller, C., Brecht, B., Mosley, P.J., Zang, L.Y., Podlipensky, A., Joly, N. Y.,... Silberhorn, C., Bridging visible and telecom wavelengths with a single-mode broadband photon pair source. *Physical Review A - Atomic, Molecular, and Optical Physics*, 81(3), 2010.
4. Wang L.J., Hong C.K., Friberg S.R, Generation of correlated photons via four-wave mixing in optical fibres. *J. Opt. B Quantum Semiclassical Opt.* 2001.V.3. №5.P.346.
5. Niizeki, K., Ikeda, K., Zheng, M., Xie, X., Okamura, K., Takei, N., ... Horikiri, T., Ultrabright narrow-band telecom two-photon source for long distance quantum communication. *Applied Physics Express*, 11(4), 2018.
6. O.A.Ermishev, M.A.Smirnov, A.F.Khairullin, N.M.Arslanov}, Optimization of parameters of a LiNbO<sub>3</sub> nanowaveguide with periodical polarization for the generation OF ultra-wideband biphotons in the near-IR range. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics.* 2022.– V.86.–№.12.
7. Fulconis J. et al. , High brightness single mode source of correlated photon pairs using a photonic crystal fiber. *Optics Express.*–2005.–V.13.–№.19.–P.7572-7582.

## СЕКЦИЯ 3.5 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.313

Н. Л. БАБИКОВА, Р. И. ГАРЕЕВ, М. Б. ГАРЕЕВА, С. Н. ПИЧУГИН  
*16.01.nat@gmail.com, rustamgareev85@mail.ru, gumerova\_m@mail.ru,  
ivan0955@mail.ru*

Науч. руковод. – Н. Л. БАБИКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность использования интеллектуального учета, как ключевого элемента интеллектуальной «сети». Определены их «новшества» по отношению к электросчетчикам. Проанализированы автоматизированные программные комплексы. Сделаны выводы об эффективности применения российского программного обеспечения в современных системах учета.

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы учета электроэнергии; эффективность, программное обеспечение.

Чрезвычайно важно совершенствовать управление энергопотреблением. С этой целью создаются новые системы комплексных измерений. Обратная связь, предоставляющая данные о потреблении энергии, дает возможность снизить потери. Кроме того, наглядность информации об использовании электроэнергии позволит потребителям преодолеть их безразличие к проблемам энергетики. Результаты точных измерений необходимы для изучения, принятия или модификации той или иной модели энергопотребления, а также для управления потреблением энергии и получения информации для обслуживания систем и диагностики отказов. Интеллектуальный учет (Smart Metering) – это совокупность: устройств управления нагрузкой; приборов учета; оборудования и программного обеспечения, которые предоставляют объем информации для двустороннего управления потреблением электроэнергии согласно договорным обязательствам сторон. В системах интеллектуального учета используются однофазные и многофазные счетчики. Интеллектуальные счетчики могут отслеживать зависимость потребления мощности от времени суток и позволяют коммунальным компаниям предлагать абонентам скидки, чтобы изменить схе-

му энергопотребления. Потребитель, благодаря интеллектуальному учету, всегда в срок получает счет, который прозрачно и корректно отражает данные о потреблении. Это способствует своевременной оплате счетов и, как следствие, достижению максимальной доли добросовестных плательщиков в каждом потребительском сегменте [1].

Интеллектуальный учет является одним из ключевых элементов «интеллектуальной сети» (рис. 1).

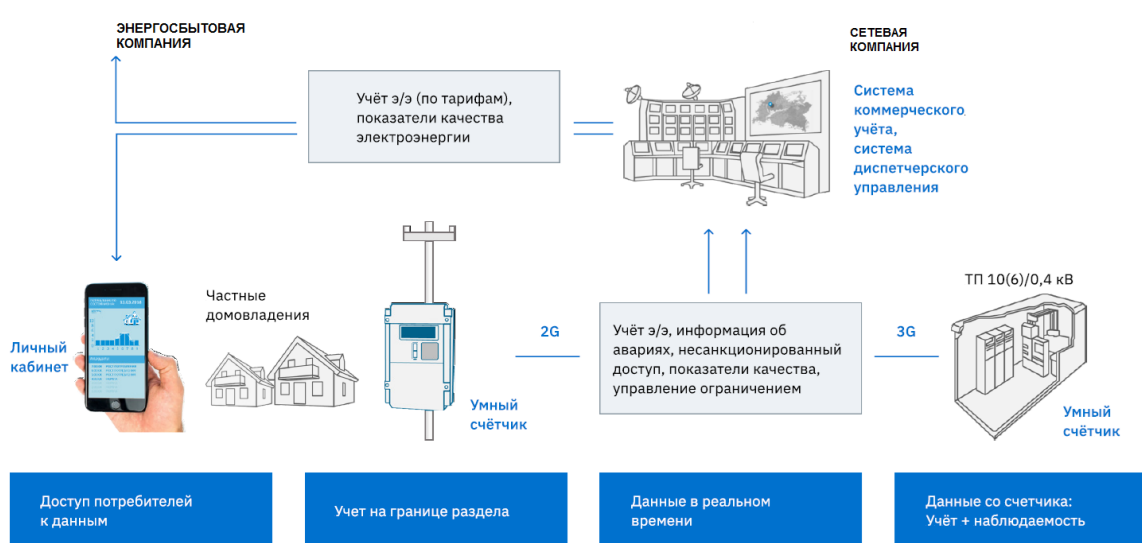


Рис. 1. Система интеллектуального учета электроэнергии

В ходе разработки техники и технологий Smart Metering, их пилотного внедрения и тиражирования были определены шесть важных признаков.

1. Наличие дополнительных функциональных возможностей приборов интеллектуального учета, в том числе: измерение мощности за короткие периоды; контроль коэффициента мощности; измерение времени, даты и длительности провалов и отсутствия питающего напряжения; показателей качества электроэнергии.

2. Самодиагностика счетчиков и наличие защиты от хищения электроэнергии, в том числе: фиксация в журнале событий вскрытия кожуха, крышки клеммной колодки; влияния сильного магнитного поля и других воздействий как на счетчик, так и на его информационные входы и выходы.

3. Возможность управлять нагрузкой и функция подачи команд на включение и отключение электрических приборов;

4. Предоставление возможности выбирать вид тарифа в зависимости от объема и профиля потребления электроэнергии.

5. Адаптивное управление потребителями, в частности, временное ограничение потребления в пиковые часы; веерное управление потребителями для повышения надежности энергосистемы.

6. Интеграция измерений и учета всех энергоресурсов потребителя для минимизации расходов на их оплату и создания единых центров учета всех энергоресурсов [2].

Министерство энергетики РФ приказом от 22 марта 2011 г. № 86 утвердило «Методические рекомендации по техническим характеристикам систем и приборов учета электрической энергии на основе технологий интеллектуального учета» для обеспечения коммерческого и технического учета электрической энергии на розничных рынках электрической энергии (мощности), контроля качества электрической энергии, уровня нагрузки потребителей и мониторинга работоспособности системы и ее компонентов.

По отношению к предшествовавшему поколению электросчетчиков приборы интеллектуального учета обладают следующими новшествами:

– дистанционное предоставление учетных данных сбытовыми компаниями и другим участникам рынка электроэнергии;

– возможность дистанционного управления снабжением электроэнергией (сокращение пиковых нагрузок и удаленное отключение);

– поддержка «интервальной тарификации»;

– снижение возможности фальсификации данных об объемах потребления;

– мониторинг качества электроэнергии.

Существенную роль в интеллектуальном учете играет программное обеспечение. Программный комплекс «Меркурий-Энергоучет» [3] предназначен для комплексной автоматизации процессов управления энергоснабжением, сбора,

хранения, обработки и анализа информации, необходимой для осуществления коммерческого и технического учета электроэнергии и других энергоресурсов. «Меркурий-Энергоучет» позволяет решать максимально широкий круг задач, связанных с учетом, контролем, управлением электроэнергией и другими энергоресурсами. «Меркурий-Энергоучет» служит для создания систем автоматизации в энергосистемах (на электростанциях, подстанциях, в распределительных сетях); на промышленных предприятиях; на железных дорогах (на тяговых подстанциях, вокзалах, депо); в жилищно-коммунальном хозяйстве.

«Меркурий-Энергоучет» в параллельном режиме (одновременно) производит полностью автоматический сбор данных со счетчиков и контроллеров по каналам связи; самодиагностику и диагностику компонентов нижнего уровня; дистанционное и локальное управление встроенными в приборы учета силовыми реле. Комплекс позволяет поддерживать единое системное время с целью обеспечения синхронных измерений и отслеживать превышения мощности заданных лимитов.

Система учета энергоресурсов «Мой АИСТ» представляет собой автоматизированный комплекс, собирающий и обрабатывающий данные о потреблении электрической энергии, израсходованной за единицу времени [4]. Управление системой осуществляется дистанционно – в личном кабинете пользователя. Основными функциями системы являются отображения статистики для каждого прибора учета (по часам, дням и месяцам); выгрузки отчетов по энергопотреблению; выписка и формирование лицевого счетов; отображение ошибок приборов учета; группировка приборов учета по объектам с учетом отображения на карте и настройки индивидуального доступа. Кроме того, система позволяет выгружать отчеты в формате Excel, и в виде изображений.

Облачный сервис «РУСМЕТРИКС» реализует функции коммерческого и технического учета энергоресурсов. Кроме количественных измерений, сервис позволяет контролировать качество потребляемых ресурсов. Также предоставляется множество дополнительных возможностей, позволяющих повысить ка-

чество оказываемых коммунальных услуг и снизить операционные затраты на их оказание [5]. Основными функциями РУСМЕТРИКСа являются:

- единовременный сбор данных о потреблении энергоресурсов, коммерческий и технический учет и контроль качества энергоресурсов;
- выявление нарушений в режимах поставки энергоресурсов потребителям;
- контроль аварий и нештатных ситуаций, а также автоматическое информирование уполномоченных лиц о происшествиях;
- интеграция с метеосервисами;
- дистанционная диагностика приборов учета, ведение журнала событий приборов учета и оперативная и аналитическая отчетность;
- мобильное приложение для инженерно-технического персонала и ведение архива данных о потреблении (от 3-х лет).

Программные комплексы, разработанные российскими компаниями помогают энергетическим организациям осуществить переход на использование технологий Smart Grid, начиная с создания IP-сетей, автоматизации подстанций и проверенных принципов обеспечения безопасности. Зрелость, надежность и подтвержденный успех используемых продуктов и сервисов, позволяют заказчикам обеспечить соответствие своей операционной деятельности разрабатываемым стандартам и нормативным требованиям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аполлонский, С. М. Энергосберегающие технологии в энергетике : учебник для вузов / С. М. Аполлонский. — Санкт-Петербург : Лань, 2022 — Том 2 : Инновационные технологии энергосбережения и энергоменеджмент — 2022. — 320 с. — ISBN 978-5-8114-8915-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/233183>.
2. Лыкин, А. В. Учет и контроль электроэнергии. Конспект лекций: учебное пособие / А. В. Лыкин. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 171 с. — ISBN 978-5-7782-3797-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152194>.
- 3 «Меркурий-Энергоучет». Электронный ресурс. Режим доступа <https://home.smart-grid.ru/index.php?/Knowledgebase/List>.
4. «Мой АИСТ». Электронный ресурс. Режим доступа <https://icbcom.ru/ru/sistema-ucheta-energoresurov-moj-aist/>
5. РУСМЕТРИКС. Электронный ресурс. Режим доступа <https://excbt.ru/rusmetrics/>

Р. Р. ВАГАПОВ, С. В. ФЕДОРОВ

*proinfosystem@gmail.com*

Науч. руковод. – канд. техн. наук С. В. ФЕДОРОВ

*Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» в г. Кумертау*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В МАТРИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

**Аннотация.** В данной работе отображен принцип формирования выходного напряжения матричного преобразователя частоты системой управления с помощью широтно-импульсной модуляции. Проведен анализ состава гармоник выходного напряжения. Сформулированы основные выводы о качестве выходного напряжения матричного преобразователя частоты.

**Ключевые слова:** матричный преобразователь частоты; широтно-импульсная модуляция; спектр гармоник; гармонический состав.

Объектом исследования был выбран матричный преобразователь частоты (МПЧ) (рисунок 1) с однотактным подключением нагрузки к каждой фазе и двухпроводными ключами  $S_{Aa}, S_{Ab}, S_{Ac}, S_{Ba}, S_{Bb}, S_{Bc}, S_{Ca}, S_{Cb}, S_{Cc}$  [1-5].

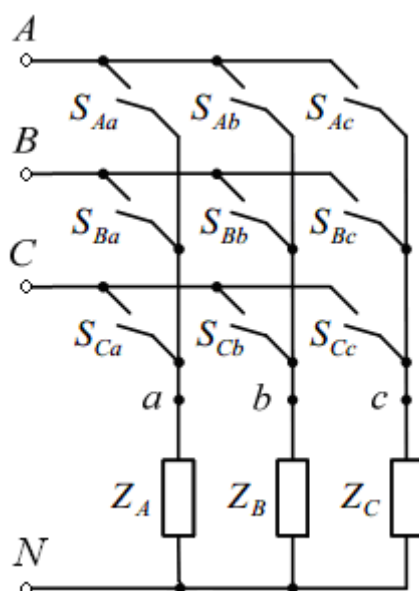


Рис. 1. Матричный преобразователь частоты

В результате исследования был произведен гармонический анализ состава выходного напряжения МПЧ. В качестве алгоритма формирования выходного

напряжения была выбрана широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Анализ был произведен в программе Mathcad 14.0[1, 3-6].

Рисунок 2 отображает графики модулирующей функции  $M(t) = |\sin(\omega t)|$ , где  $\omega$  - частота выходного напряжения (314,15 рад/с) и синхронизирующей пилообразной функции  $f(t) = \arcsin(\sin(\omega_c t))$ , где  $\omega_c$  - частота синхронизации (она составляет 2 кГц) [1].

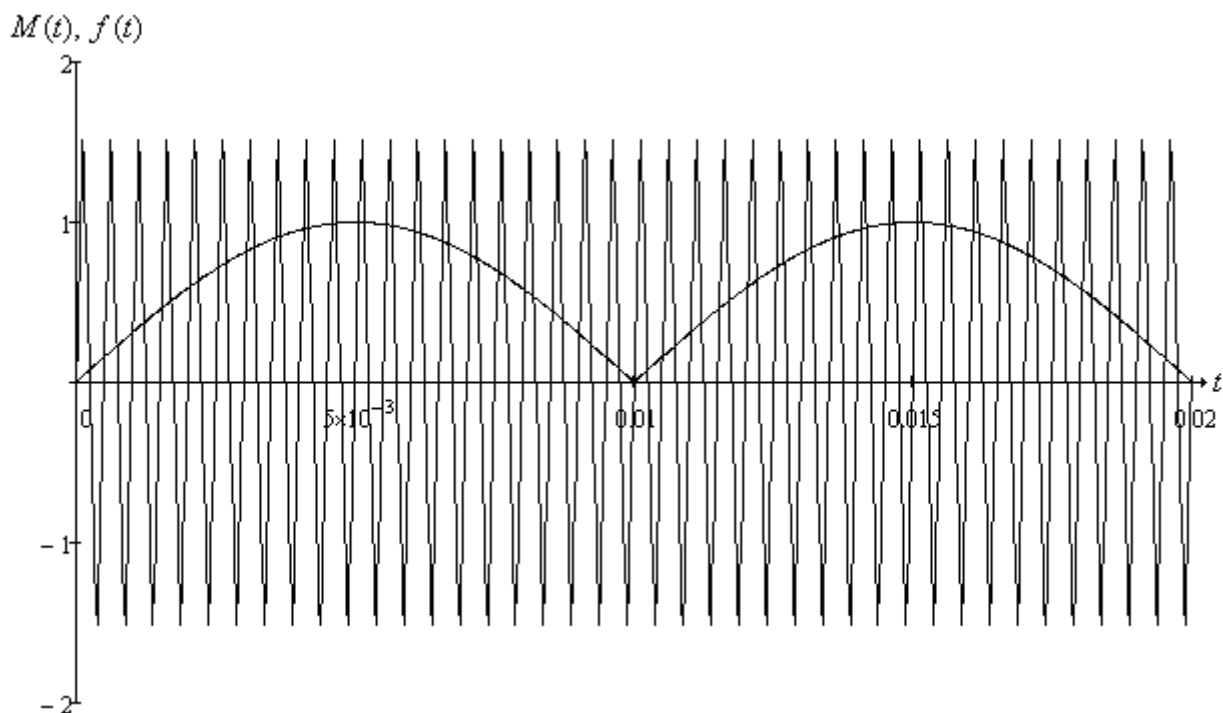


Рис. 2. Графики синхронизирующей пилообразной функции  $f(t) = \arcsin(\sin(\omega_c t))$  и модулирующей функции  $M(t) = \sin(\omega t)$

Выходное напряжение формируется по принципу: если при пересечении синхронизирующего напряжения  $f(t)$  и модулирующей функции  $M(t)$ ,  $M(t)$  будет больше  $f(t)$ , то в этом случае подключается соответствующая фаза входного напряжения на нагрузку. Если же при пересечении  $M(t)$  будет меньше  $f(t)$ , то тогда ключ, который до этого был замкнут, размыкается и напряжение, которое прикладывается к нагрузке, становится равным нулю.

В конечном итоге выходное напряжение принимает вид, отображенный на рисунке 3.



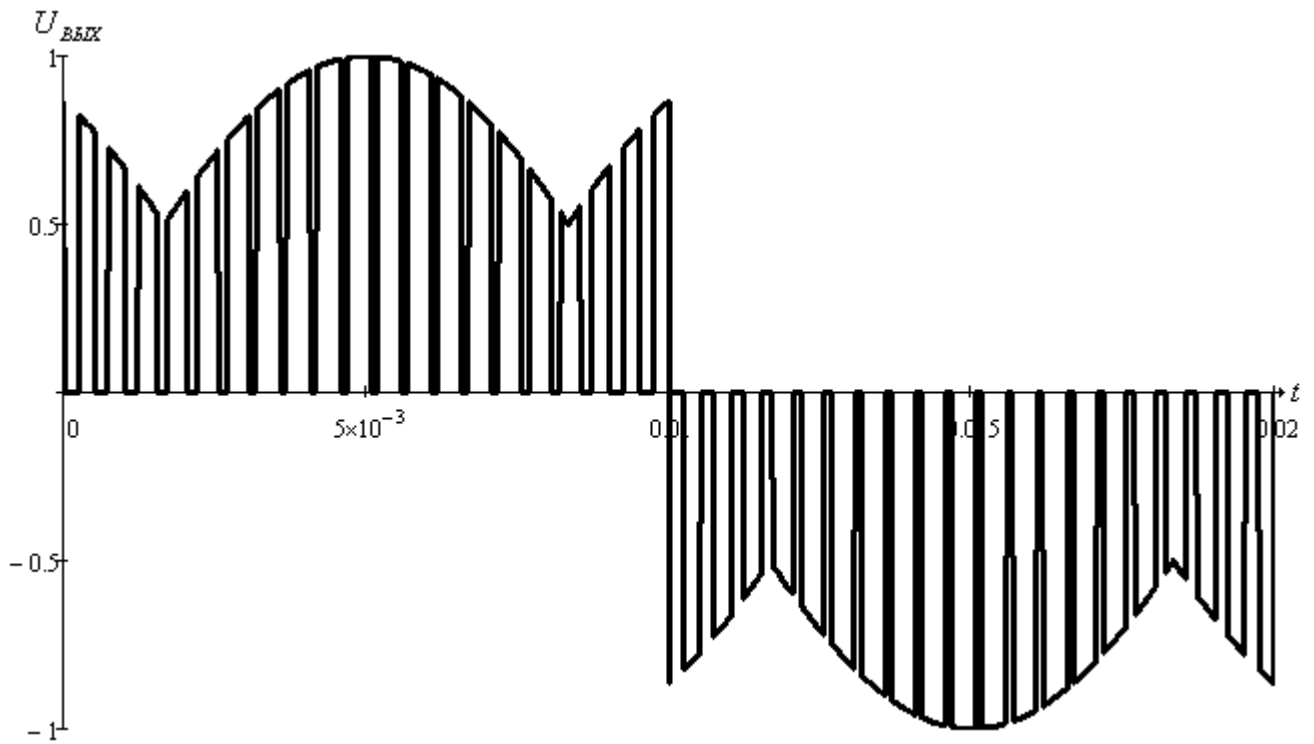


Рис. 3. График выходного напряжения МПЧ

Спектральный состав выходного напряжения представлен на рисунках 4-6, где  $A$  – амплитуда гармоник,  $f$  – частота гармоник (Гц).

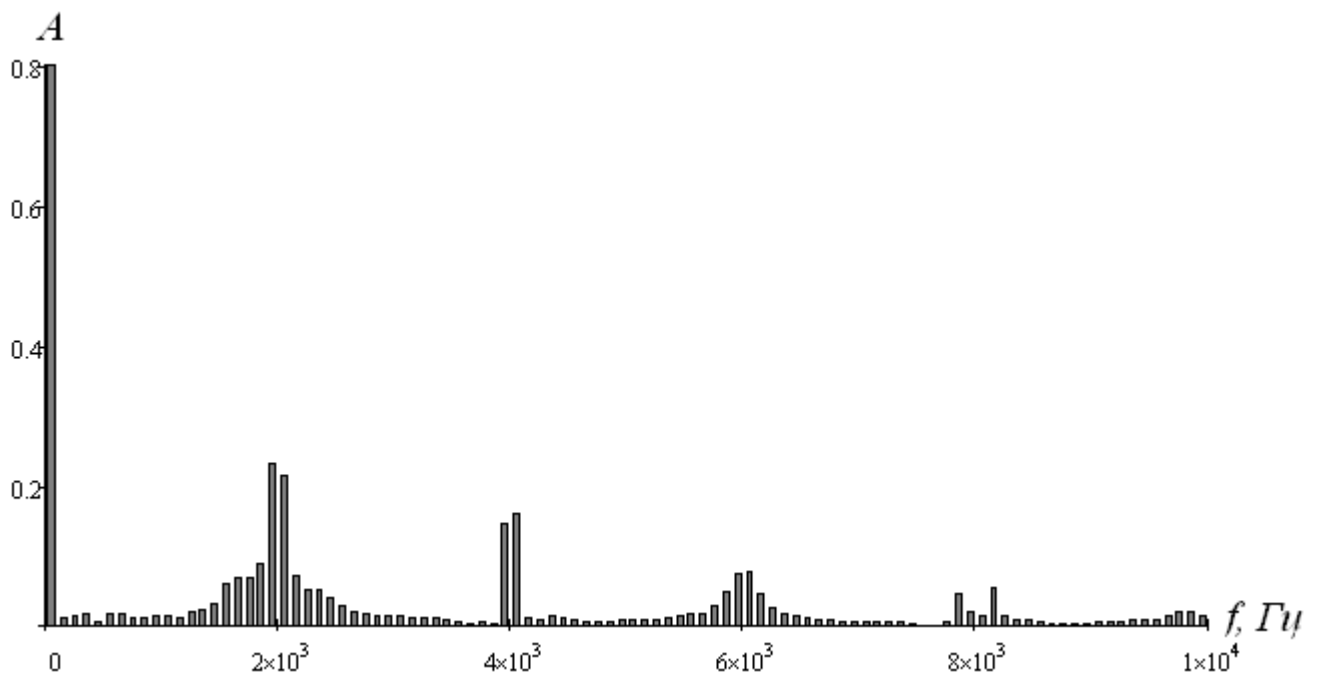


Рис. 4. Спектральный состав выходного напряжения при частоте 50 Гц

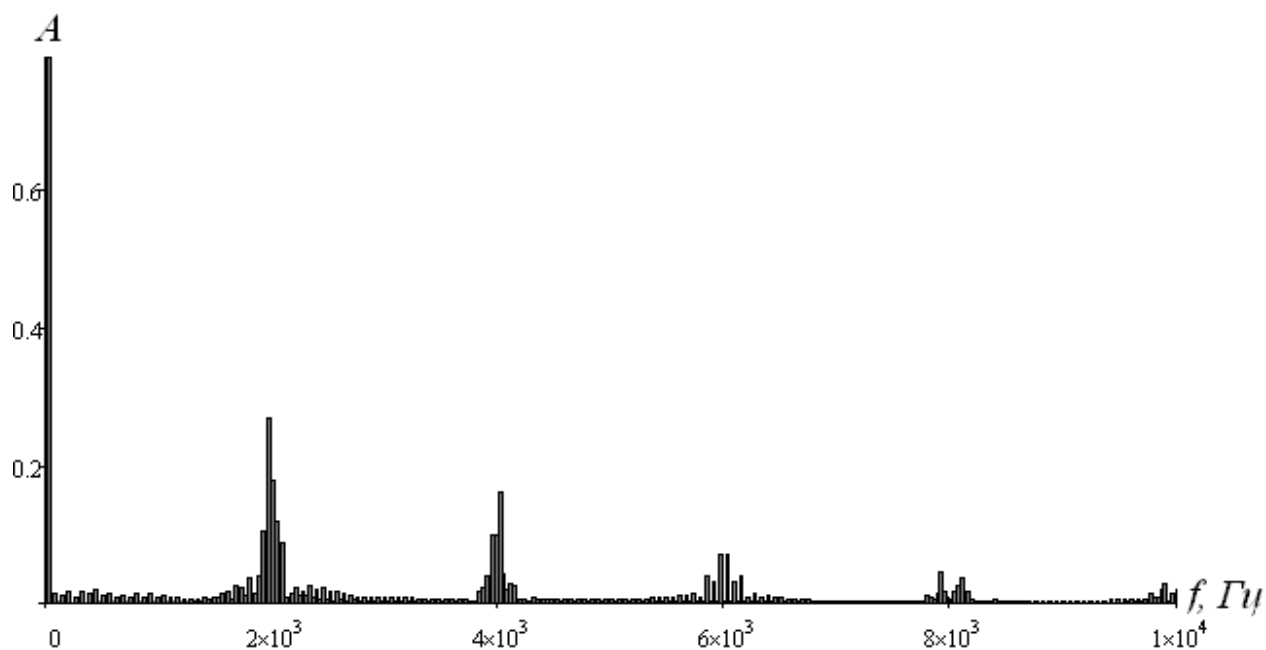


Рис. 5. Спектральный состав выходного напряжения при частоте 30 Гц

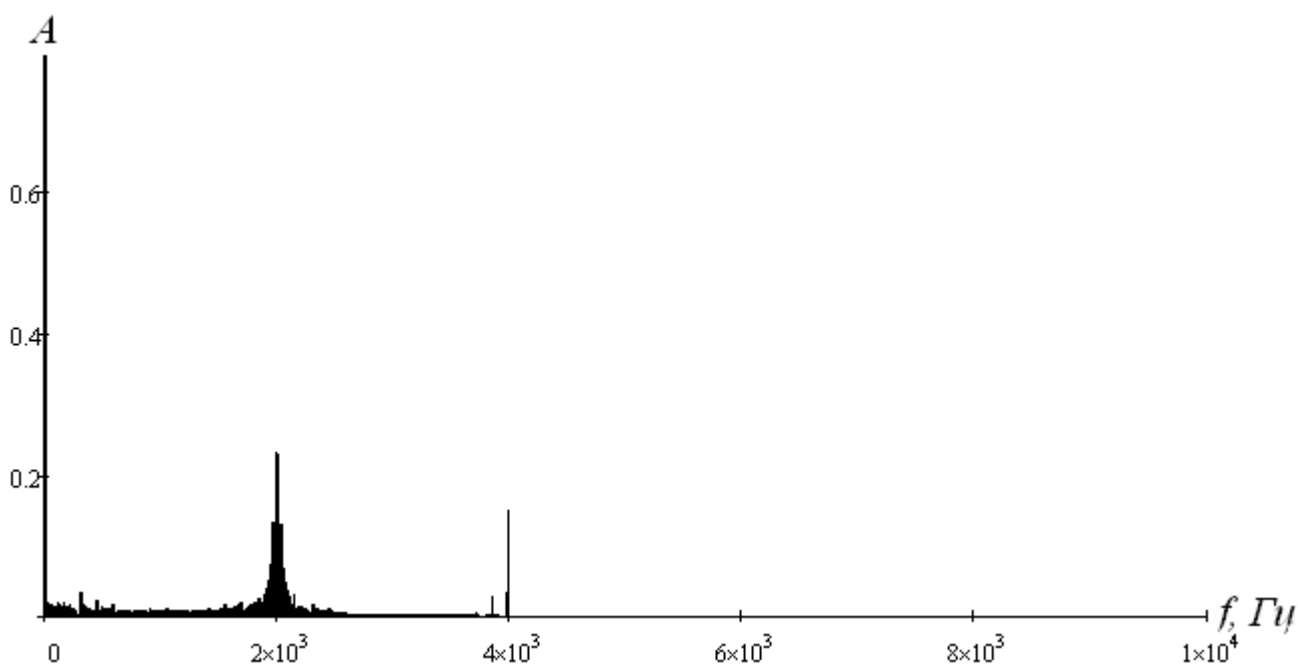


Рис. 6. Спектральный состав выходного напряжения при частоте 10 Гц

На рисунке 7 отображена зависимость коэффициента гармоник  $K_r$  от частоты  $f$  выходного напряжения МПЧ.

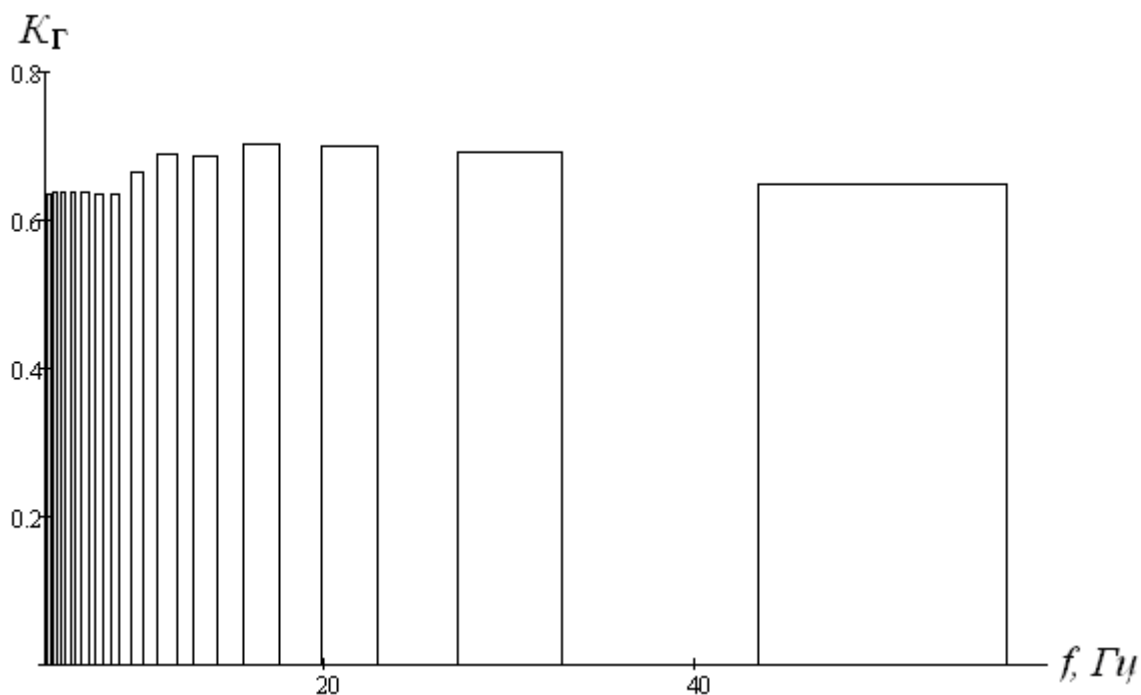


Рис. 7. Изменение коэффициента гармоник  $K_G$  выходного напряжения МПЧ от частоты  $f$

Проведенные исследования гармонического состава выходного напряжения показывают:

– ШИМ приводит к перемещению гармоник в высокочастотную область кратную несущей частоте. При этом уменьшение искажения синусоидальности сигнала не происходит. Значения коэффициента гармоник находятся в диапазоне  $64,9 \% \geq K_G \geq 63,5 \%$  в пределах частот  $50 \text{ Гц} \geq \nu > 5 \text{ Гц}$ .

– Из-за внесения ШИМ дополнительных искажения сигнала, так же увеличивается коэффициент гармоник. Таким образом,  $K_G$  находится в пределах  $51,1 \% \geq K_G \geq 39,1 \%$  для частотного диапазона  $50 \text{ Гц} \geq \nu > 5 \text{ Гц}$  без ШИМ.

Так как значение суммарного коэффициента гармонических составляющих, при расчете которого учитывались только гармоники с порядком меньше 40 регламентируется ГОСТом 32144-2013, то повышение частоты коммутации создает видимость улучшения гармонического состава [1, 7]. Более того, значение полного коэффициента гармоник недопустимо для питания большинства потребителей. При наличии высших гармоник в спектре питающего напряже-

ния неизбежен ускоренный износ изоляции, нарушение питания потребителей, и все это приводит к соответствующему экономическому ущербу.[1]

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Анализ гармонического состава выходного напряжения матричного преобразователя частоты формируемого системой управления на основе широтно-импульсной модуляции / С. В. Федоров, А. В. Бондарев // Технические науки - от теории к практике. – 2014. – № 37. – С. 45-52. – EDN SLSQEH.
2. Карташов, Р.П. Тиристорные преобразователи частоты с искусственной коммутацией / Р.П. Карташов, А.К. Кулиш, Э.М. Чехет. К., Изд-во Техника, 1979. 152 с.
3. Федоров, С.В. Устройство формирования переключающих функций управляющего блока матричного преобразователя частоты для системы частотного управления электроприводом : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.05 / Федоров Сергей Витальевич; [Место защиты: Уфим. Гос. Авиац.-техн. Ун-т]. – Уфа, 2015. – 171 с. : ил.
4. Чехет, Э.М. Непосредственные преобразователи частоты для электропривода /Э.М. Чехет, В.П. Мордач, В.Н.Соболев. Киев: Думка, 1988. 224 с.
5. Casadei D., Grandi G., Serra G., Tani A. Space vector control of matrix converters with unity input power factor and sinusoidal input/output waveforms / Proceedings of IEEEPE' 93. Vol. 7. 1993.
6. Федоров, С. В., Бондарев, А. В. Спектральный анализ выходного напряжения непосредственных преобразователей частоты, получаемого с помощью широтно-импульсной модуляции. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014660062 от 01.10.2014 г.
7. ГОСТ32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.

**ВНЕДРЕНИЕ В 1С:УТЭЭ РЕЕСТРА С ПОКАЗАНИЯМИ ПРИБОРОВ  
УЧЕТА С АСКУЭЭ ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ  
ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИХ ГАРАНТИРУЮЩЕМУ ПОСТАВЩИКУ**

***Введение***

Данная работа была написана к слету молодых энергетиков 2019, проводимого группой компаний АО «БЭСК». Доклад описывает предпосылки для введения данного реестра между сетевой организацией, гарантирующим поставщиком и потребителями с приборами учета оснащенные приборами учета автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭЭ).

После вышеуказанного слета был подписан договор между АО «БЭСК» и ООО «ЭСКБ», в котором данная возможность указана. Следовательно работа пригодилась.

Предпосылки:

Из постановления правительства РФ ОТ 04.05.2012 №442 :

«Потребитель (покупатель), имеющий договор купли-продажи (поставки) электрической энергии (мощности) и договор оказания услуг по передаче электрической энергии, если иное не определено в указанных договорах, передает информацию о показаниях расчетных приборов учета, в том числе используемых в соответствии с настоящим документом в качестве расчетных контрольных приборов учета, гарантирующему поставщику (энергосбытовой, энергоснабжающей организации) и сетевой организации в сроки и в порядке, которые указаны в пункте 161` настоящего документа. Если условиями договора купли-продажи (поставки) электрической энергии (мощности) и договора оказания услуг по передаче электрической энергии определено, что потребитель передает информацию о показаниях расчетных приборов учета, в том числе используемых в соответствии с настоящим документом в качестве расчетных контрольных приборов учета, только сетевой организации либо только гарантирующему

поставщику (энергосбытовой, энергоснабжающей организации), то в этом случае лицо, получившее от потребителя показания расчетного прибора учета, обязано передать эти данные другому лицу до окончания 2-го числа месяца, следующего за расчетным периодом.»

Из чего следует, что работники сетевой организации и гарантирующего поставщика осуществляют поиск потребителей и прием у них показаний приборов учета (далее ПУ) посредством передачи актов снятия показаний ПУ и обмена их с другими участниками процесса. В нашем случае данный процесс трехсторонний и потребителями являются все юридические лица района.

В данной работе хочу предложить разработчикам программного комплекса 1С: «Учет транспорта электроэнергии» и представителям гарантирующего поставщика упростить и ускорить процесс закрытия расчетного периода посредством реестра, который будет включать в себя список юридических лиц с установленными у них ПУ АСКУЭЭ.

### ***Пути развития***

Из постановления правительства РФ ОТ 04.05.2012 №442 :

«В случае если сетевая организация снимает показания расчетного прибора учета, в том числе используемого в соответствии с настоящим документом в качестве расчетного контрольного прибора учета, установленного в границах принадлежащих ей объектов электросетевого хозяйства либо эксплуатируемых ею бесхозяйных объектов электросетевого хозяйства, на основании показаний которого осуществляются расчеты с потребителем, с которым такой сетевой организацией заключен договор оказания услуг по передаче электрической энергии, то сетевая организация обязана сообщать в сроки и в порядке, указанном в пункте 161` настоящего документа, информацию о показаниях такого прибора учета как указанному потребителю, так и обслуживающему его гарантирующему поставщику (энергосбытовой, энергоснабжающей организации).»

Данная правовая ссылка дает нам право на реализацию предложения, которое рекомендую выполнить в следующем формате:

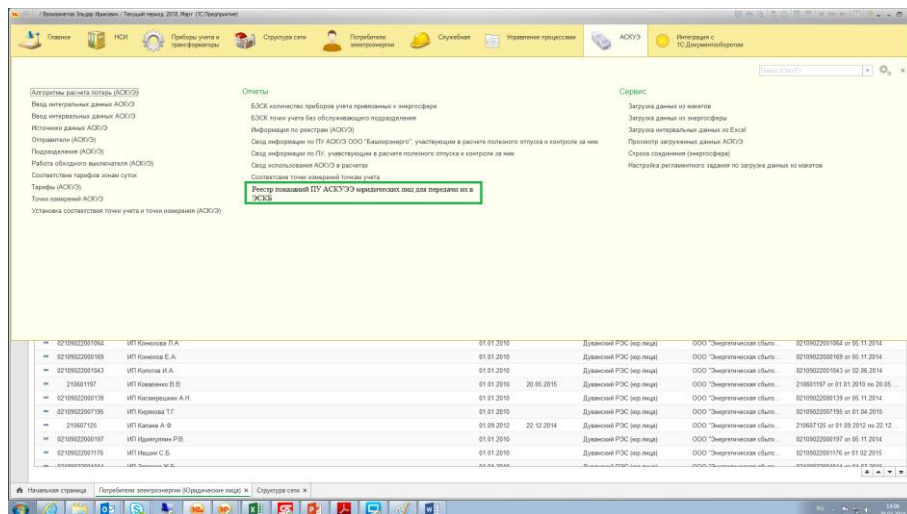


Рис. 1. 1С: УТЭЭ, общий вид, необходимая вкладка (АСКУЭЭ)

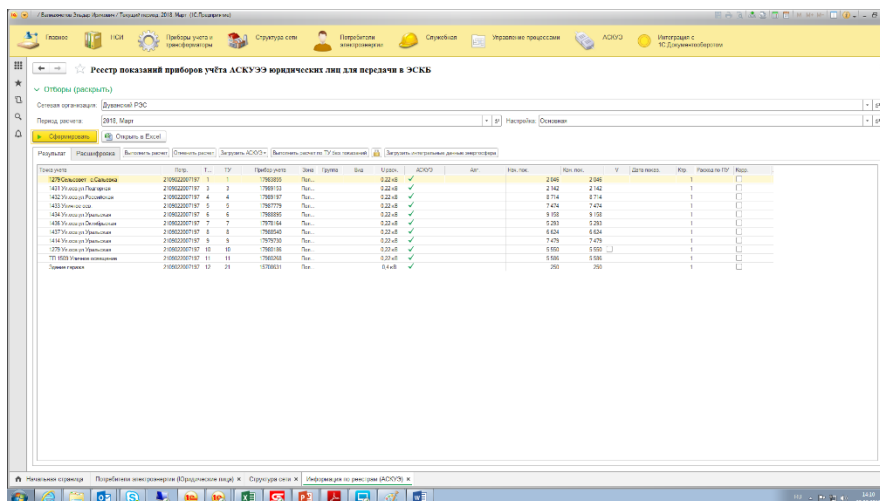


Рис. 2. 1С: УТЭЭ, необходимый реестр

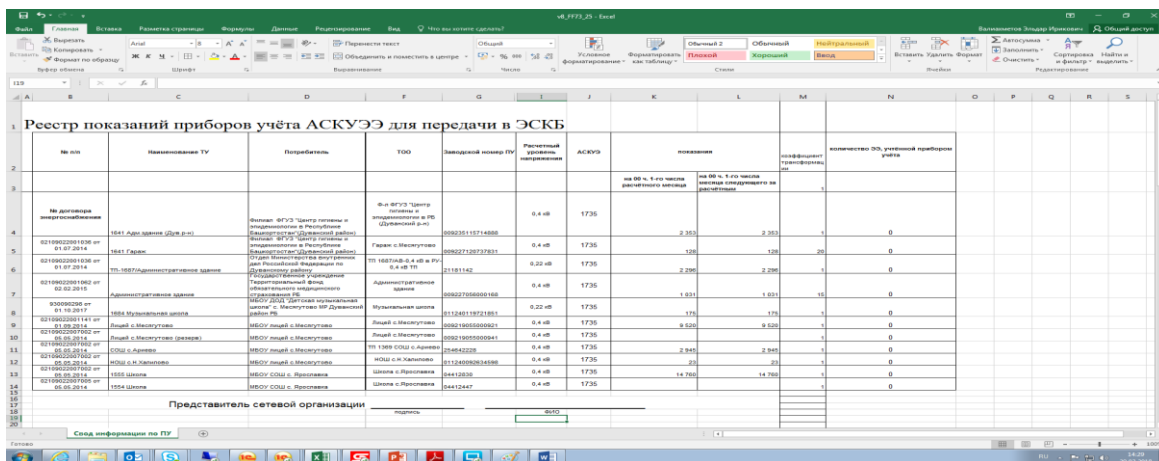


Рис. 3. Вид в формате Excel. Форма для передачи гарантирующему поставщику

Форма с перечнем юридических лиц с установленными у них ПУ С АСКУЭЭ может быть подписана либо лицом сформировавшим данный реестр, либо руководителем структурного подразделения сетевой организации.

В качестве рекомендации в сформированном реестре хочу предложить разработчикам чтобы данные загружаемые с ПК «Энергосфера» загружались и рассчитывались уже непосредственно в договоре, реестр имел возможность корректировки, загрузки показаний АСКУЭЭ и прочие функции открытые непосредственно в договоре юридического лица.

### ***Получаемый эффект***

*– Исключение из обязательного «круга» потребителя, сетевой организации и гарантирующего поставщика явки потребителя с «актом снятия показаний электроэнергии» в офис если прибор учета АСКУЭЭ, и менее острую необходимость поиска потребителей не отчитавшихся за отчетный период;*

Если сетевая организация снимает показания расчетного прибора учета, то потребителю уже не обязательно являться в офис для передачи и подписания акта снятия показаний ПУ, что качественно скажется на закрытии всего расчетного периода.

*– Отчет занимает менее длительное время;*

В среднем отчетный период длится 7-10 рабочих дней, количество точек учета юридических лиц в Дуванском районе 1479; из них 482 точки учета с ПУ АСКУЭЭ, если внедрить и использовать данный реестр отчетный период можно сократить до 5-7 рабочих дней. Высвободившееся время можно потратить на другие виды работ, такие как проработка балансов, проверки приборов учета юридических лиц и обслуживание АСКУЭЭ.

*– Снижается перезагруженность персонала;*

Совершенствуется работа, высвобождается персонал. Если формировать данный реестр двадцать пятого числа расчетного периода ежемесячно, то обзвонить и вызвать не отчитавшихся юридических лиц будет проще и быстрее.



*– Более эффективное использование систем АСКУЭЭ;*

Сейчас АСКУЭЭ при отчете юридических лиц используется для проверки показаний по которым отчитался потребитель, из-за разницы во времени, дате снятия и других факторов показания отличаются от выгруженных из ПК «Энергосфера», что может неблагоприятно сказаться при расчете полезного отпуска, а потребители при запросе у них правке отчета жалуются, что при возможности сетевой организации снимать показания автоматически показания снимает сам потребитель.

*Вывод: работа была актуальна, внедрили ее с января 2020 года по всей территории Республики Башкортостан.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление правительства РФ от 4 мая 2012 г. N 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии»;

( Пункт 161. Если иные время и дата снятия показаний расчетных приборов учета, в том числе используемых в соответствии с настоящим документом в качестве расчетных контрольных приборов учета, не установлены договором энергоснабжения (купли-продажи (поставки) электрической энергии (мощности)), договором оказания услуг по передаче электрической энергии, то снятие показаний расчетных приборов учета должно осуществляться по состоянию на 00 часов 00 минут 1-го дня месяца, следующего за расчетным периодом, а также дня, следующего за датой расторжения (заключения) договора энергоснабжения (купли-продажи (поставки) электрической энергии (мощности)), договора оказания услуг по передаче электрической энергии.)

2. 1С: «Учет транспорта электроэнергии»

\* Форма для передачи показаний гарантирующему поставщику и все рисунки редактированы с помощью редакторов MS Excel и MS Paint и носят рекомендательный характер.

УДК 621.45.044

А. Д. ВАЛИТОВ  
*sladisius@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Р. М. САЛИХОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ**

**Аннотация.** Определено понятие бегущей волны, рассмотрен метод локализации повреждения на основе данного явления, показан пример использования современного устройства с использованием систем бегущей волны для локализации и устранения повреждений на воздушных линиях, оценены перспективы подобных устройств.

**Ключевые слова:** бегущая волна, определение места повреждения, метод двухсторонней локализации повреждений.

Возможность точного определения местоположения повреждений на линиях энергосистем очень важна. Это способствует быстрому нахождению неисправности, что приводит к более быстрому восстановлению поврежденных линий. В то же время, точное определение места повреждения является сложной технической задачей, поскольку оценка производится на основе ограниченного количества информации, собранной на терминалах линии.

Проблемы, которые необходимо преодолеть, включают в себя предельную точность параметров ЛЭП, погрешности измерений приборов, связь с соседними ЛЭП, неизвестное и часто нелинейное сопротивление повреждения и ограниченную продолжительность повреждения, что приводит к короткому временному окну для сбора необходимых данных.

При возникновении неисправности на линиях электропередачи резкое изменение напряжения и тока вызывает высокочастотный электромагнитный импульс, называемый "бегущей волной" (БВ). Эти волны распространяются по линии, двигаясь от места повреждения к противоположным концам линии со скоростью, близкой к скорости света. [1]

Использование устройств для локализации повреждений на основе бегущих волн позволяет определить место повреждения с точностью до нескольких сотен метров, что позволяет быстрее устранить или найти слабые места линии.

Для локализации повреждений методом бегущей волны необходимо следующее оборудование [2]:

- а) устройство определения времени (GPS) на обоих концах линии;
- б) соответствующий датчик для обнаружения напряжения или тока, в зависимости от используемого параметра.

Допущения, принимаемые при определении места повреждения:

1. Форма бегущей волны распространяется приблизительно со скоростью света;
2. Разрывы в электрической системе приводят к отражению волн. Каждый разрыв можно использовать в качестве калибровки времени прихода волны на приемный конец линии. Поскольку скорость распространения постоянна, расстояние может быть рассчитано достаточно точно;
3. Схема связи необходима для передачи данных с отметкой времени в центральный пункт;
4. Компьютер, способный получать удаленные данные, должен выделять соответствующую форму волны для расчета местоположения неисправности и предоставлять соответствующие расчеты для нее.

Рассмотрим метод двухсторонней локализации повреждений. Этот метод локализации повреждения основан на измерении времени бегущей волны на обоих концах линии электропередачи. [3]

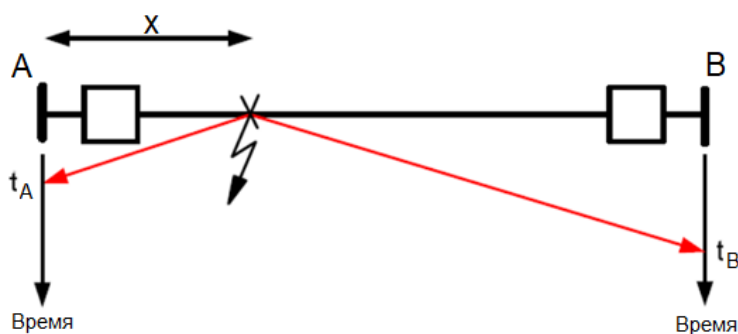


Рис. 1. Метод двухсторонней локализации повреждений

Терминалы с обеих сторон линии измеряют время прихода бегущей волны. Они оба используют общий эталон времени с высокой точностью.

На основании уравнения можно рассчитать расстояние до места повреждения:

$$x = \frac{L}{2} * \left(1 + \frac{t_A - t_B}{t_{BB}}\right);$$

где  $L$  – длина линии,  $t_A$  – время прибытия БВ на стороне А,  $t_B$  – время прибытия БВ на стороне В.

Метод двухсторонней локализации повреждений измеряет текущие бегущие волны и включает в себя алгоритм временной привязки, который использует интерполяцию для нахождения времени пика для выхода дифференцирующего сглаживающего фильтра. Такая интерполяция обеспечивает точность временной метки приблизительно 0,1 мкс, т.е. примерно в десять раз лучше, чем интервал выборки. Метод двухсторонней локализации повреждений является простым и очень точным. Он требует идентификации и временной регистрации только самых первых волн на обоих терминалах линии. Отсутствие необходимости изолировать и идентифицировать происхождение всех последующих бегущих волн является большим преимуществом этого метода локализации повреждений по сравнению с односторонним методом. Синхронизация устройств локализации повреждений обычно достигается с помощью спутниковых синхронизированных часов или с помощью прямого оптоволоконного канала "точка-точка" между устройствами. Метод двухсторонней локализации повреждений проверен на практике и имеет точность в среднем в пределах одного пролета опоры (300 м).

За последние четыре года компания TERNА осуществила несколько пилотных проектов в сетях ВН и СВН с использованием систем бегущей волны для локализации и устранения повреждений на воздушных линиях.

Успешная локализация повреждения произошла 04 декабря 2020 года на многоконцевой ВЛ высокого напряжения в Альпийском районе (Северо-Восточная Италия) во время снежной бури, бушевавшей в этой местности. Метель сопровождалась большим количеством снега и сильным ветром, что привело к отключению нескольких линий ВН и многочисленным отключениям.

Система определения повреждения, основанная на устройствах бегущей волны на каждом конце, которые связываются с центральным сервером через

сеть мобильной связи.

При произошедшем устойчивом повреждении (отклонение кронштейна опоры, в результате чего проводник соприкоснулся с опорой), была правильно идентифицирована неисправность с указанием места повреждения. Быстрая идентификация повреждения позволила начать ремонтные работы всего через 4 часа с момента обнаружения неисправности. При другом известном методе, осмотр всей линии потребовал бы до 48 часов работы по поиску повреждения, в зависимости от погодных условий, которые могут не позволить проводить осмотр с вертолета или БПЛА.

В данный момент использование этих систем не очень широко распространено, и устройства на основе бегущей волны используются в основном для локализации повреждений. Однако системы, использующие данные устройства, обладают чрезвычайно высокой производительностью и надежностью. Ожидается, что в ближайшей перспективе производители будут представлять все больше и больше интеллектуальных электронных устройств (IED) на основе бегущей волны, чтобы удовлетворить требования к отказоустойчивости и помочь будущим применениям в новых сценариях энергосистем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глик К., Ковалик Р., Расоломампыенона Д. Определение мест повреждение волновым методом в линиях электропередач. – Р. Acta Energetica, 2011. – 9 с.
2. Лачугин В., «Определение мест повреждений воздушных линий высокого напряжения с использованием спутниковой связи. Волновой метод двусторонних синхронизированных измерений» – Энергия Единой Сети, 2017. – 30-40 с.
3. Use of travelling waves principle in protection systems and related automations, 2021. – 53 p.

УДК 621.311.24

В. Ю. ВАСИЛЬЕВ

*vasilievvalerij@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, доц. Е. В. ТИТОВ

*Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова*

## ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В РОССИИ

**Аннотация.** В работе рассмотрены особенности применения ветряных электростанций для выработки электроэнергии в удаленных от крупных сетевых поставщиков электроэнергии районах России. Выделены основные преимущества и недостатки использования ветряных электростанций. Обозначены направления развития ветроэлектрических установок.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии; ветряные электростанции; ветряные электроустановки; электроснабжение; электроэнергия; электроснабжение удаленных районов.

На протяжении всей истории своего развития человечество занималось созданием и развитием различного вида производства. Со временем количество населения увеличивается, а используемые людьми технологии совершенствуются. В настоящее время это приводит к росту потребления электроэнергии. На сегодняшний день обеспечение человечества электроэнергией осуществляется посредством использования ископаемых энергоносителей, таких как уголь, газ. Но их ресурсы ограничены и в скором времени могут закончиться [1].

Как известно [2], альтернативой для выработки электроэнергии могут служить возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Проблема их применения рассматривается научным сообществом долгое время. Использование возобновляемых источников энергии для энергообеспечения потребителей несет с собой ряд экономических и экологических преимуществ. Так, например, ВИЭ позволяет снизить выбросы углекислого газа в атмосферу, а также снижение затрат на энергоносители и способность размещать электростанции вблизи энергопотребителей, что не всегда возможно в случае применения традиционных источников энергии [1].

Одним из перспективных направлений в данной области является применение ветряных электростанций (ВЭС) для электроснабжения потребителей,

что отражено в [3, 4]. Это особо актуально для тех территорий, которые находятся в далеких от крупных сетевых поставщиков электроэнергии [2].

Однако применение ВЭС имеет и ряд недостатков. Как видно из рисунка 1 часть территории России не имеет достаточной среднегодовой скорости ветра для эффективного использования ветряных электростанций, а непостоянность ветра создает риск некачественного электроснабжения потребителей либо его полное отсутствие [5]. Кроме того, в результате нестабильности ветра возникает неравномерность выдачи электроэнергии в сеть. Вышеперечисленные факторы влекут за собой применение различных технических средств для преобразования величины и частоты вырабатываемого напряжения, а также применение различного рода аккумулирующих устройств в случае излишков выработанной электроэнергии, что приводит к значительному увеличению себестоимости электроэнергии, выработанной данным способом.

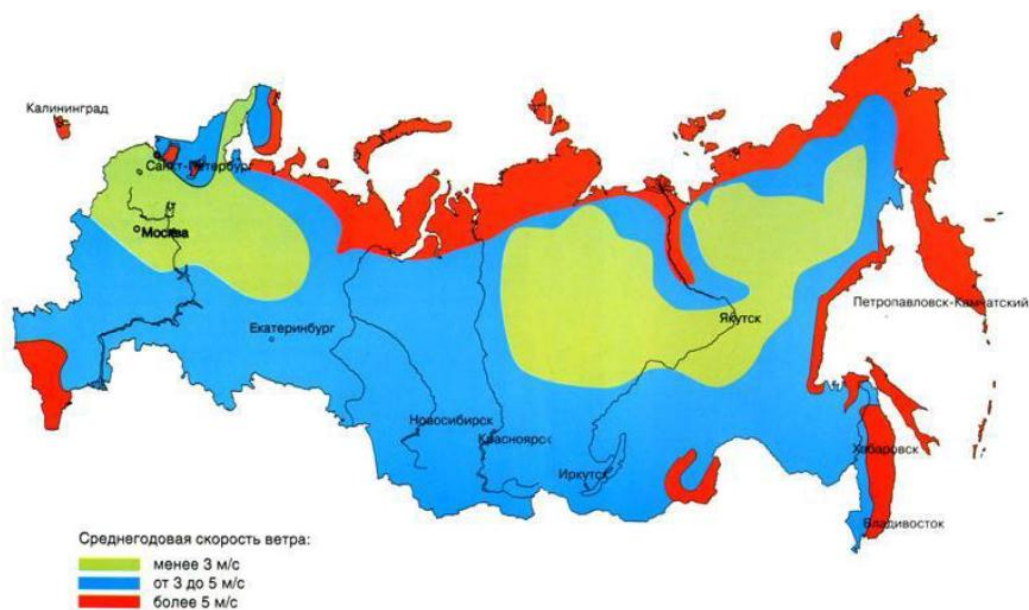


Рис. 1. Карта среднегодовых скоростей ветров России [2]

Таким образом, применение ветряных электростанций стоит рассматривать как одну из приоритетных задач развития электроэнергетики России. Но для решения данной задачи необходимо развитие технических средств стабилизации, преобразования и аккумулирования вырабатываемой электроэнергии для качественного и эффективного электроснабжения потребителей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дакалов, М. В. Экономические аспекты развития возобновляемых источников энергии в странах ЕС: : специальность 08.00.14 «Мировая экономика» : диссертация на соискание степени кандидата экономических наук / Дакалов Мамед Вахаевич. - Москва, 2015. - 204 с.
2. Алексеенко, В. А. Научно-технические аспекты разработки и функционирования автономных вертикально-осевых роторных ветроэнергетических установок для сельскохозяйственных потребителей: : специальность 05.14.08 «Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии (технические науки)» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Алексеенко Виталий Алексеевич. – Ставрополь, 2022. – 377 с.
3. Распоряжение правительства РФ от 09.06.2020 N 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» // СПС КонсультантПлюс.
4. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 21.12.2021 N 1436 «Об утверждении Прогноза научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года» // СПС КонсультантПлюс.
5. Закиров, И. В. Автономная ветроэлектростанция с комбинированным аккумулированием энергии для сельскохозяйственных объектов: : специальность 05.20.02 "Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Закиров Илья Валерьевич. – Зерноград, 2016. – 136 с.



УДК 621.31

И. А. ГАЙНУЛЛИН, А. А. НИКАНДРОВ, И. С. РАМАЗАНОВ  
*gainullin282@gmail.com, artjom-nikandrov2013@yandex.ru,*  
*ilyasramazanovwarman@yandex.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. Ф. А. ГИЗАТУЛЛИН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АЛГОРИТМ РАСЧЕТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ИСКРОВЫХ РАЗРЯДОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СВЕЧАХ ЗАЖИГАНИЯ ПО ОСЦИЛЛОГРАММЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В СВЕЧЕ**

*Аннотация.* Проведен анализ алгоритма расчетного определения энергии искровых разрядов.

*Ключевые слова:* искровой разряд; свеча зажигания.

Энергия разрядов в свечах может определяться различными способами. Эти способы сводятся к следующему:

1) Аналитическое определение энергии разряда на основе аппроксимации экспериментальных осциллограмм разряда тока и напряжения в свече. Этот метод описан в научно-технической литературе, точность расчета определения энергии зависит от способа аппроксимации законов изменения тока и напряжения.

2) Энергию можно определить на основе схемотехнических решений с использованием перемножителя токов и напряжения. Например, в качестве перемножителей могут использоваться преобразователи Холла, элементы с квадратичными ВАХ, полупроводниковые аналоговые перемножители.

Ниже представлен алгоритм определения энергии искровых разрядов по осциллограммам.

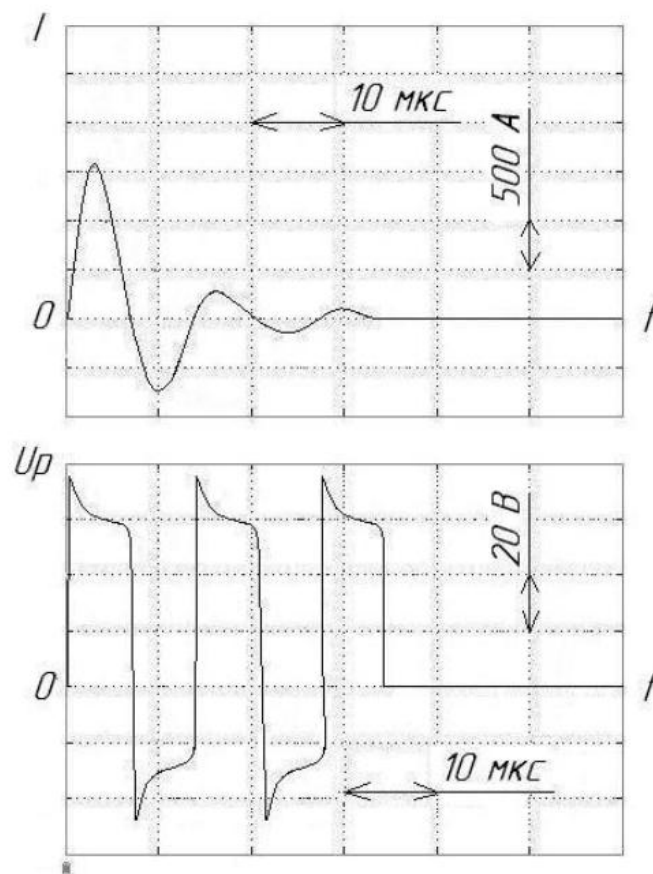


Рис. 1. Осциллограммы тока и напряжения на свече

Энергия искровых разрядов определяется по следующему закону:

$$W = \int_0^{t_n} u i dt,$$

где  $u$ ,  $i$  – мгновенные значения напряжения в свече и разрядного тока;  $t_n$  – длительность разряда.

Для практического применения данного соотношения существует следующая последовательность:

1. Построение кривой мгновенной мощности осуществляется исходя из осциллограмм тока и напряжения в свече. Также, для определения мгновенных значений разрядного тока и напряжения следует учитывать чувствительность усилителя вертикального отклонения осциллографа и параметров датчиков.

Мгновенное значение разрядного тока определяется следующим образом:

$$i = \frac{y_1 h_1 W}{R} \text{ [A]},$$

где  $y_1$ [В/см] – чувствительность вертикального входа осциллографа при регистрации тока;  $h_1$ [см] – отклонение луча, которое определяется по осциллограмме;  $W$  – число витков измерительного трансформатора тока;  $R$  – величина сопротивления резистора, подключенного ко вторичной обмотке измерительного трансформатора.

Мгновенное значение напряжения в свече определяется следующим образом:

$$u = y_2 h_2 k \text{ [В]},$$

где  $y_2$ [В/см] – чувствительность вертикального входа осциллографа при регистрации падения напряжения на свече;  $h_2$ [см] – отклонение луча, которое определяется по осциллограмме;  $k$  – коэффициент деления делителя напряжения.

2. Далее следует вычислить площадь  $S$  [мм<sup>2</sup>], которая ограничена, по оси абсцисс, построенной кривой мгновенной мощности, а по оси ординат, осью времени.

3. Энергия разряда рассчитывается по следующей формуле:

$$W = SM \text{ [Дж]},$$

где  $M = mx \cdot 10^{-6}$  [Дж/мм<sup>2</sup>] – масштабный коэффициент;  $m$ [ВА/мм] – масштабный коэффициент для построения кривой мгновенной мощности;  $x$ [мкс/мм] – чувствительность по оси времени.

Экспериментальные значения, представленные в работах [1, 2, 3, 4, 5], подтверждают эффективность данного метода определения энергии и показывают погрешность не более 3-5%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ямалов, И.И. Микропроцессорная система зажигания с устойчивым искрообразованием при пониженной частоте вращения генератора [Электронный ресурс] дата обращения (27.04.2022)
2. Емкостная система зажигания аperiodического разряда с частичным резервированием [Электронный ресурс] дата обращения (29.04.2022)
3. Лобанов А.В. Емкостная система зажигания на основе умножителя напряжения [Электронный ресурс] URL: [https://e-library.ufarb.ru/dl/lib\\_net\\_r/Lobanov\\_Yemk\\_sist\\_zazhig\\_osn\\_um\\_napr.pdf/info](https://e-library.ufarb.ru/dl/lib_net_r/Lobanov_Yemk_sist_zazhig_osn_um_napr.pdf/info) дата обращения (21.04.2022)

4. Габидуллина, З.Г. Энергетическая эффективность емкостных систем зажигания с однополярным разрядным импульсом [Электронный ресурс] URL: [https://e-library.ufarb.ru/dl/lib\\_net\\_r/Gabidullina\\_Energeticheskaya\\_effektivnost\\_2016.pdf/info](https://e-library.ufarb.ru/dl/lib_net_r/Gabidullina_Energeticheskaya_effektivnost_2016.pdf/info) дата обращения (05.05.2022)
5. Шабашев, Т.Ю. Емкостная система зажигания апериодического разряда повышенной эффективности [электронный ресурс] URL: [https://e-library.ufarb.ru/dl/lib\\_net\\_r/Gabidullina\\_Energeticheskaya\\_effektivnost\\_2016.pdf/info](https://e-library.ufarb.ru/dl/lib_net_r/Gabidullina_Energeticheskaya_effektivnost_2016.pdf/info) дата обращения (26.04.2022)

УДК 621.31

И. А. ГАЙНУЛЛИН, А. А. НИКАНДРОВ, И. С. РАМАЗАНОВ  
*gainullin282@gmail.com, artjom-nikandrov2013@yandex.ru,*  
*ilyasramazanovwarman@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Р. ФАРРАХОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР ОСНОВНЫХ ТИПОВ ЛИНЕЙНЫХ ПРИВОДОВ МЕХАНИЗМОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ**

**Аннотация.** Рассматриваются основные типы линейных приводов, применяемых в механизмах с параллельной кинематикой, их достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** линейный привод; параллельная кинематика.

В связи с современным развитием техники возросла необходимость более точного позиционирования научной и технологической аппаратуры в пространстве, этому требованию удовлетворяют механизмы с параллельной кинематикой.

Механизм с параллельной кинематикой – это устройство, выходное звено которого связано с основанием несколькими кинематическими цепями, а именно линейными приводами.

Линейный привод является одним из наиболее важных элементов данных механизмов, который определяет статические и динамические точностные характеристики механизма, а также его надежность.

Линейные приводы по принципу работы характеризуются на гидравлические, пневматические, пьезоэлектрические и электромеханические.

*Гидравлический привод* – это механический привод, который преобразует гидравлическое давление в поступательное движение.

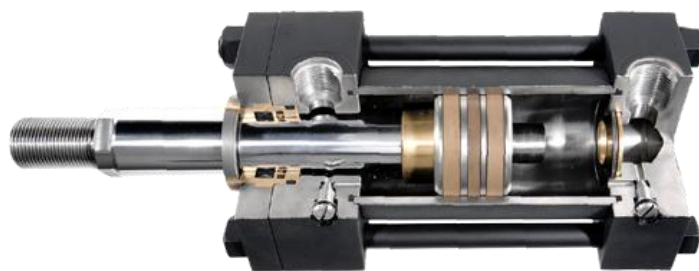


Рис. 1. Цилиндр гидравлического привода

К преимуществам данного типа линейного привода следует отнести очень большие усилия, высокий показатель мощности на объем, возможность удерживания силы и момента на постоянном уровне без подачи дополнительного давления.

Недостатки следующие: потеря жидкости приводит к уменьшению эффективности, а также большое количество сопровождающих компонентов, таких как резервуар для жидкости, двигатели и насосы.

*Пневматический привод* – это механический привод, который преобразует давление сжатого воздуха в поступательное движение.

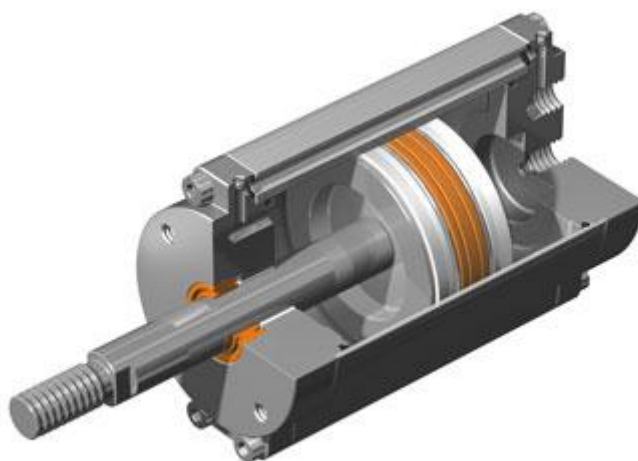


Рис. 2. Цилиндр пневматического привода

Данный тип привода является более точным и меньше подвержен влиянию окружающей среды, чем гидравлический привод, однако для длительного удержания усилия и момента необходимо постоянно подавать воздух.

В настоящее время широкое распространение получили *пьезоэлектрические приводы*, в которых механическое перемещение происходит за счет обратного пьезоэлектрического эффекта.

К преимуществам данного типа привода следует отнести крайне высокую точность позиционирования (единицы нанометров), высокое толкающее и удерживающее усилие.

Недостатки связаны с необходимостью применения специальными способами управления источников питания и быстрым износом деталей.

Наиболее широкое применение в современных механизмах с параллельной кинематикой получили *электромеханические линейные приводы*, которые представляют собой электродвигатель, соединенный с механической передачей.



Рис. 3. Электромеханический привод

Преобразователем движения в данных приводах служит либо ходовой винт, либо шарико-винтовая передача.

Столь широкое применение электромеханического привода обусловлено достаточно высокой точностью позиционирования (до 8 мкм), а также более полным управлением параметрами движения благодаря современным системам управления, это позволяет контролировать скорость, положение, момент и приложенные силы.

Для условий низкой нагрузки целесообразно использовать другой вид электрического привода, а именно линейные двигатели, которые представляют собой двигатель с разомкнутым статором и развернутой обмоткой. В позиционных системах применяются синхронные машины с постоянными магнитами. Точность при использовании данного привода достигает 50 мкм.

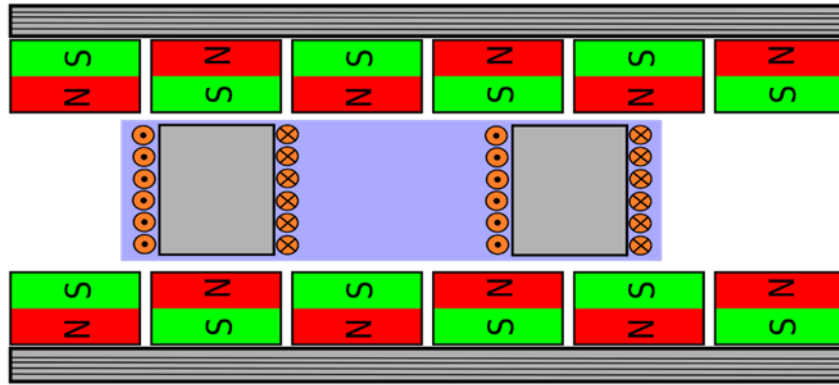


Рис. 4. Синхронный линейный двигатель

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрический привод: Учебное пособие / Усольцев А.А. СПб: НИУ ИМТО, 2012, - 238 с.
2. Основы построения станков с параллельной кинематикой: учебное пособие / С.В. Каменев; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2017. – 127 с.



А. А. ГАЛИЕВА

*alinka-malinka.a.01@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Ю. ПАШАЛИ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СОРТИРОВКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

**Аннотация.** В России ежегодно образуется более 60 млн. т. твердых бытовых отходов, из которых на переработку отправляется только 5%, хотя из всего объема образующихся отходов пригодно для переработки и дальнейшего использования около 60% [1]. Оставшиеся объемы практически полностью отправляются на мусорные полигоны, что представляет собой серьезную экологическую нагрузку. Для эффективного обращения с отходами и увеличения доли вторичного сырья, попадающего на переработку, необходимо автоматизировать технологические процессы на всех этапах: при сборе, накоплении, логистике и переработке.

**Ключевые слова:** экология; переработка твердых бытовых отходов, сортировка, автоматизация, манипулятор, электродвигатель.

В настоящее время для эффективного сбора и накопления отходов используются следующие автоматизированные решения: фандоматы, урны с автоматической сортировкой по фракциям и прессовкой сырья на месте сбора, оснащенные электродвигателями различной мощности с возможностью комплектации оборудованием для автономного питания [1, 2].

Фандоматы, автоматы по приему вторичного сырья: ПЭТ-бутылок и алюминиевых банок, способны принимать тару, сортируя ее по материалу и сминая при необходимости, что обеспечивает удобство дальнейшей транспортировки и переработки. Фандоматы оснащают электродвигателями мощностью от 0,3 кВт до 2,6 кВт, электроснабжение которых возможно от солнечных батарей, что облегчает установку фандоматов и не привязывает к энергосети города [2].

Введение в России отдельного сбора твердых бытовых отходов (ТБО) и поэтапное введение запрета на захоронение отходов, пригодных ко вторичной переработке способствует развитию использования урн с автоматической сортировкой по фракциям, которые распознают состав вторичного сырья с помо-

шью искусственного интеллекта, сортируют, прессуют и контролируют уровень заполнения.

На российском рынке представлено технологическое решение SmartCity Bin – урна, прессующая отходы с контролем забора мусора, работающая полностью автономно на солнечных батареях, оснащенная специализированным программным обеспечением, позволяющим в режиме онлайн следить за заполненностью урны и контролировать вывоз мусора, тем самым обеспечивая максимальную экономическую эффективность сбора [3].

Современные технологии используются и в экологической сфере на российском рынке: мусорные контейнеры оснащаются современными датчиками для мониторинга наполненности и прогнозирования времени вывоза, а также построения оптимального маршрута движения машины вывоза ТБО [1].

В настоящее время приоритетной задачей развития отечественной экономики РФ является развитие отрасли промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов, что требует создание многофункциональных сортировочных комплексов и оптимизацию работы существующих мусороперерабатывающих заводов, которая направлена на внедрение автоматизации промышленной сортировки поступивших отходов на конвейерной ленте на вторичные ресурсы, а также отходы, не подлежащие дальнейшей утилизации [1].

В настоящее время на мусороперерабатывающих заводах используется ручная сортировка мусора или иностранные технологии и оборудование. Роботизирование ручной сортировки мусора с использованием отечественных разработок является основной задачей. Современные роботы-сортировщики должны решать ряд задач [4]:

1. Механическая задача: обеспечение подвижности манипулятора типа рука - робот.

2. Задача оптики и электроники: манипулятор типа рука - робот должен быть оснащен современными надежными датчиками с возможностью подключения к интернету вещей для качественной сортировки.

3. Задача программирования: манипулятор типа рука - робот должен распознавать сортируемые объекты и действовать согласно заложенному алгоритму, т.е. использование машинного зрения и нейросетей.

Для решения механической задачи при разработке манипулятора необходимо выбрать подходящие двигатели для его звеньев [5]. В современном оборудовании в приводах используются шаговые и серводвигатели, однако излишняя точность позиционирования сервоприводов, являющаяся результатом функции высокой обратной связи, приводит к удорожанию оборудования.

Использование униполярных шаговых электродвигателей для манипулятора, представляющих собой достаточно точный и недорогой тип электродвигателей, обладающих долгим сроком службы и высокой надежностью из-за особенности конструкции, позволяет осуществлять позиционирование ротора с точностью до долей градуса [5].

На рисунке 1 представлена схема манипулятора с указанием номеров звеньев для подбора электродвигателей по характеристикам и габаритам модели шаговых униполярных двигателя.

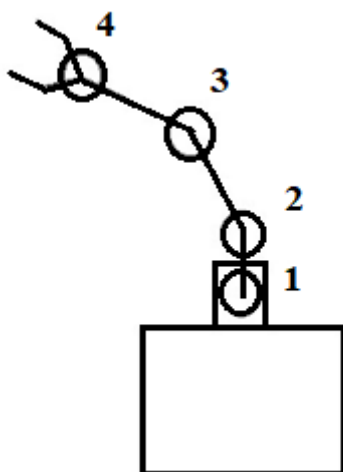


Рис. 1. Схема манипулятора типа рука-робот

Проведем расчет крутящих моментов шаговых двигателей манипулятора для выбора электродвигателей. Двигатель в клешне (4 звено), с длиной плеча в 10 см, должен поднимать груз весом до 1 кг, тогда крутящий момент четвертого двигателя равен:

$$M_{4к} = 1 \cdot 10 \text{ см} = 10 \text{ кг} \cdot \text{см} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Проведем расчет третьего звена, длину звена принимаем равной 15 см, вес груза, поднимаемого манипулятором, принимаем равным 1 кг, а также учитываем вес электродвигателя в клешне, равный 0,25 кг. Тогда крутящий момент третьего двигателя равен:

$$M_{3к} = 1,25 \cdot 15 \text{ см} = 18,75 \text{ кг} \cdot \text{см} = 1,875 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для второго звена принимаем равным длину плеча – 15 см, а вес с учетом двигателя – 1,5 кг. Тогда крутящий момент второго двигателя равен:

$$M_{2к} = 1,5 \cdot 15 \text{ см} = 22,5 \text{ кг} \cdot \text{см} = 2,25 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Двигатель в основании вращает всю конструкцию, обладающую максимальной длиной плеча 40 см, однако он вращает ее только в горизонтальной плоскости, что уменьшает нагрузку и необходимый крутящий момент электродвигателя для четвертого звена:

$$M_{1к} = 0,87 \cdot 1,75 \cdot 40 \text{ см} = 61,4 \text{ кг} \cdot \text{см} = 6,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Далее необходимо провести выбор среди известных отечественных производителей шаговых двигателей, таких «НПФ «Электропривод», «Степ-мотор», «НПО «Атом».

В настоящее время среди отечественных производителей представлен высокий ассортимент двигателей, рассчитанный на широкий спектр требований.

Например, шаговые двигатели НПФ Электропривод общепромышленного назначения всех типоразмеров применяются, когда требуется прецизионное позиционирование и точное управление скоростью, а требуемый момент и скорость не выходят за допустимые пределы, что позволяет получить отличные

динамические характеристики и дает возможность использовать их в быстродействующих устройствах [6]. Использование гибридных двигателей серии FL, российско-китайского производства, позволяет обеспечить типичное число шагов на оборот от 100 до 400 (угол шага 3,6–0,9 град.). Использование шаговых двигателей с тормозом, оснащенных электромагнитным статическим тормозом с независимым питанием, дает возможность останавливать и удерживать на месте инерционную нагрузку без подачи питания на обмотки фаз двигателя.

«НПО «Атом» предлагает шаговые двигатели широкого диапазона мощностей: от миниатюрных приборных шаговых двигателей до мощных двигателей с высоким крутящим моментом для использования в обрабатывающих станках, машинах плазменной резки и другом оборудовании [7].

На основе проведенных расчетов выбираем к установке в манипулятор типа рука - робот следующие шаговые двигатели «НПО «Атом» (таблица 1).

Таблица 1

Технические характеристики шаговых двигателей серии FL42STH НПО «Атом»

Положение двигателя	Модель двигателя	I	R	L	M <sub>кр</sub>	Кол-во выводов	J	Вес	Длина
		A	Ом	мГн	Кг·см	шт.	г·см <sup>2</sup>	кг	мм
Первое звено	FL57STH41-1006	2	2	3,1	10,2	6	400	0,9	67
Второе звено	FL57STH76-2804	2,8	1,13	3,6	18,9	4	480	1	76
Третье звено	FL86STH65-2808	2,8	1,4	3,9	34	8	1000	1,7	65
Четвертое звено	FL86STH118-4208	4,2	0,9	6	87	8	2700	3,8	118

В дальнейшем будут проведены необходимые корректировочные расчеты по массе устанавливаемых двигателей, а также конструктивный расчет манипулятора типа рука - робот с учетом габаритов двигателей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арбузова А. Инновации мусорного сектора: фандоматы, датчики и умная сортировка: [электронный ресурс] // РБК. Тренды. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/5ee9dc6c9a7947091ee27961> (дата обращения: 12.09.2022).
2. Проектируем и производим фандоматы: [электронный ресурс] // ООО «Группа ТАРАС». URL: <https://taras.group/bottle-bank/out-trvm-full/> (дата обращения: 12.09.2022).
3. Умные урны SmartCity Bin: решение проблемы традиционного сбора мусора: [электронный ресурс] // ООО «Нетмус» — производство, инжиниринг и продажа оборудования для

- переработки отходов. URL: <https://netmus.ru/press-center/articles/umnye-urny-smartcity-bin-reshenie-problemy-traditsionnogo-sbora-musora/> (дата обращения: 12.09.2022).
4. Масленников А. Роботы - сортировщики мусора: [электронный ресурс] // Технологии переработки отходов. URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=443> (дата обращения: 12.09.2022).
5. Стрельцов Н.А. О выборе шагового привода для манипулятора типа рука – робот // Стрельцов Н.А. Труды Международного симпозиума «НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО»: в 2 т. – Пенза: ПГУ, 2015. – 2 том – с. 188 - 190.
6. Шаговые электродвигатели: [электронный ресурс] // «НПФ «Электропривод». URL: <https://electroprivod.ru/> (дата обращения: 12.09.2022).
7. Шаговые электродвигатели: [электронный ресурс] // «НПО «Атом». URL: <http://www.npoatom.ru/> (дата обращения: 12.09.2022).

А. Р. ГАЛИЕВ, А. С. ГОРБУНОВ

*artemfelps@gmail.com*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В УСТАНОВКАХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ

**Аннотация.** В статье рассмотрены типы силовых высокочастотных трансформаторов, используемых в электротехнологических установках с индукционным нагревом с воздушным и водяным охлаждением на примере броневой и тороидальной конструкции. Описаны основные тепловые режимы, возникающие в трансформаторах и способы улучшения теплоотдачи с их поверхностей.

**Ключевые слова:** индукционный нагрев; трансформатор; электротехнология; тепловой режим; коэффициент теплоотдачи.

Силовые высокочастотные согласующие трансформаторы, применяющиеся в современных индукционных установках с источниками питания на базе преобразователей частоты с промежуточным звеном постоянного тока, используются для следующих основных целей [1]:

1. Согласование номинального напряжения питания нагревательного индуктора и выходного напряжения инвертора (преобразователя частоты).
2. Гальваническая развязка цепи нагрузки и цепи источника питания.
3. Возможность изменения выходных параметров источника питания за счет изменения коэффициента трансформации рассматриваемых трансформаторов. Для этого они выполняются с несколькими катушками первичных и/или вторичных обмоток или с отпайками от катушек.

В зависимости от используемой схемы компенсации реактивной мощности индуктора, такие трансформаторы рассчитываются на активную мощность нагрузки (рис. 1, а) или на полную мощность нагрузки (рис. 1, б).

Согласующие трансформаторы могут применяться с магнитопроводами различных типов: стержневыми, броневыми, тороидальными. В преобразователях частоты малой мощности возможно применение трансформаторов с воздушным охлаждением обмоток с магнитопроводом, например, тороидальной конструкции (рис. 2) [2]. В высокочастотных источниках питания большой мощности часто используется броневая конструкция высокочастотных транс-

форматоров (рис. 3) [3]. В последнем случае применяется водяное охлаждение обмоток и (если требуется) сердечника. В случае водяного охлаждения катушки обмоток выполняются из медных трубок.

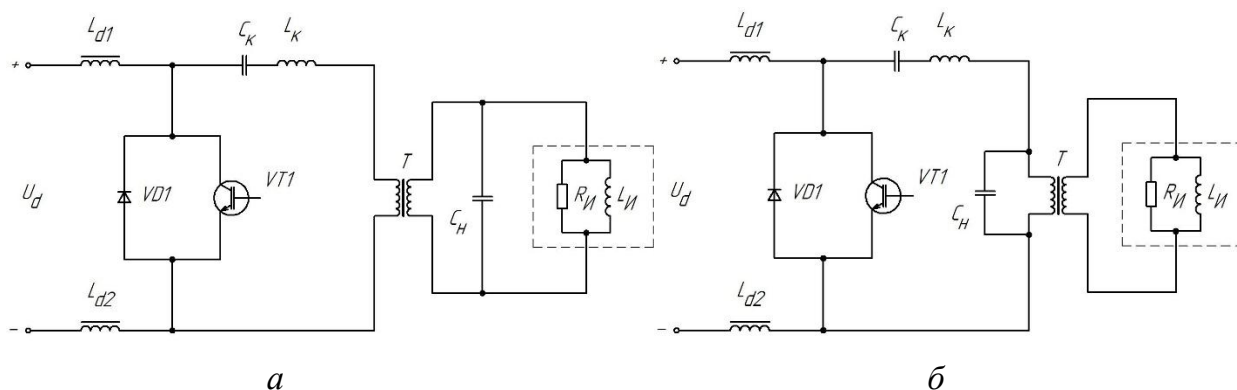


Рис. 1. Схемы компенсации реактивной мощности индуктора:  
 а – для трансформатора, рассчитываемого на активную мощность нагрузки;  
 б – для трансформатора, рассчитываемого на полную мощность нагрузки

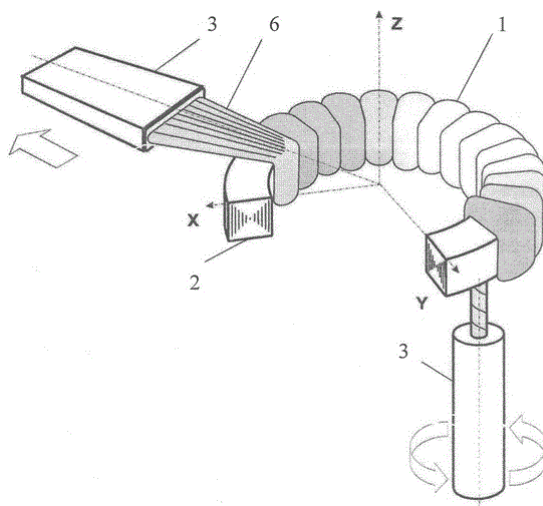


Рис. 2. Намотка трансформатора тороидальной конструкции

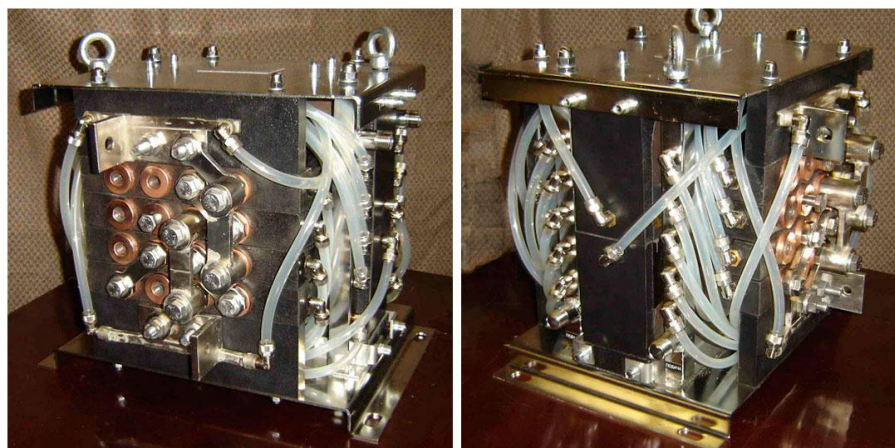


Рис. 3. Согласующий трансформатор TPC1-800C4



Трансформаторы по рис. 3 выполняются на мощности 640–800 кВА. При мощностях от десятков кВА и выше также эффективно может быть использовано принудительное воздушное охлаждение с обдувом от вентиляторов со скоростью протекания воздуха 3 м/с и выше. При этом работа трансформаторов в условиях протекания в их обмотках токов высокой частоты обуславливает необходимость использования современных активных материалов и элементов – обмоток и магнитопроводов. При воздушном охлаждении целесообразно изготавливать обмотки из гибких многожильных проводов – литцендратов. В качестве магнитопроводов эффективно могут быть применены ферриты различных марок, аморфные или нанокристаллические сплавы и т.д. Рассмотрим особенности теплового режима работы силового высокочастотного трансформатора при воздушном охлаждении.

На рис. 4 показана картина распределения температуры перегрева катушки трансформатора, намотанной на магнитопроводе. При работе трансформатора в таких условиях возможно наличие одного из двух тепловых режимов [4]:

1. Тепловой поток проходит от магнитопровода через катушку обмотки и отводится в окружающую среду. Этот режим возможен, если потери в магнитопроводе равны или превышают потери в катушке обмотки, а тепловая изоляция или каналы между магнитопроводом и обмоткой отсутствуют.

2. Режим, когда катушка обмотки охлаждается и со стороны наружной поверхности, и со стороны канала между катушкой и магнитопроводом.

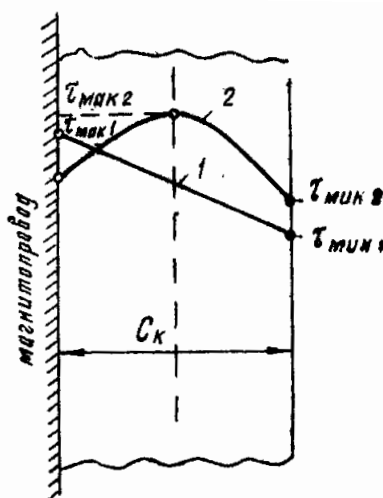


Рис. 4. Распределение тепла в обмотках трансформатора

На рис. 4 цифрами показаны распределения температур, соответствующие каждому из режимов. Определение действующего теплового режима для конкретного трансформатора производится по [5] после выбора активных и изоляционных материалов, расчета геометрических размеров и определения потерь.

Важным показателем работы системы охлаждения трансформатора является обеспечиваемый коэффициент теплоотдачи с поверхности [4]:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \sqrt[4]{\frac{\tau}{\tau_0}} \cdot \sqrt[6]{\frac{h_0}{h}} \cdot m_T, \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  – «базовый» коэффициент теплоотдачи, соответствующий температуре перегрева  $\tau_0$  °С и высоте охлаждающейся поверхности  $h_0$  м, Вт/м<sup>2</sup>·°С;  $\tau$  °С,  $h$  м – фактические значения этих параметров;  $m_T$  – коэффициент.

Достаточно часто принимается  $\sigma_0 = 10$  Вт/м<sup>2</sup>·°С. Для улучшения теплоотдачи магнитопроводы трансформаторов своей максимально возможной частью поверхности должны быть надежно и плотно закреплены на металлическом корпусе или основании. В этом случае можно принять коэффициент  $m_T = 1,1$ – $1,15$ . Таким образом, для расчетов трансформаторов при естественном воздушном охлаждении можно принимать  $\sigma = 10$ – $12$  Вт/м<sup>2</sup>·°С.

Повышение коэффициента теплоотдачи до величины  $\sigma = 30$ – $36$  Вт/м<sup>2</sup>·°С может быть достигнуто путем использования принудительного воздушного охлаждения трансформатора от вентиляторов со скоростью движения воздуха 3 м/с или более. На рис. 5 показан график зависимости коэффициента  $m_T$  от скорости движения воздуха, обдувающего трансформатор [4].

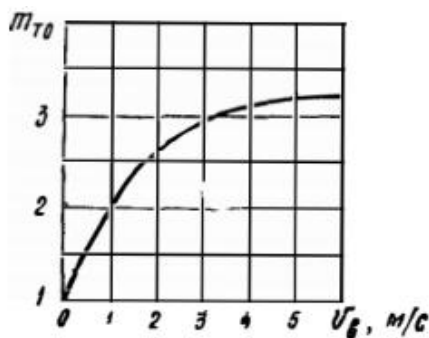


Рис. 5. Зависимость  $m_T$  от скорости воздуха

При этом за счет качественной пропитки трансформатора, хорошего контакта с корпусом и т.д. могут быть получены несколько бóльшие показатели  $\sigma$ .

Таким образом, правильный выбор коэффициентов теплоотдачи с поверхности элементов трансформаторов, а также выбор максимально допустимых температур активных частей представляет собой важную задачу при расчете высокочастотных трансформаторов для установок индукционного нагрева. Проверка правильности принятых конструктивных решений при расчете трансформатора должна производиться в том числе путем выполнения тепловых расчетов с учетом условий эксплуатации трансформатора и теплового режима.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Элементы индукционных установок / А. К. Белкин и др.; под ред. Ю. М. Гусева. М.: Энергоатомиздат, 2007. 140 с.
2. Пат. 2351032 Российская Федерация, МПК H01F 41/08. Способ намотки тороидальных высокочастотных трансформаторов / Синявский И.В., Михайлов В.В., Турулев В.М., Павлов В.А.; заявитель и патентообладатель Новочеркасск, ОАО "ВЭЛНИИ". № 2007131917/09; заявл. 22.08.2007; опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9. 9 с.
3. Трансформатор согласующий ТРС1-800С4. URL: <http://xn--b1а6ао.xn--p1ai/transformatory/soglasuyushchie/trs1-800s4/> (дата обращения 15.09.2022).
4. Бальян Р. Х., Обрусник В. П. Оптимальное проектирование силовых высокочастотных ферромагнитных устройств. Томск: Издательство Томского университета, 1987. 164 с.
5. Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания / А. Н. Горский и др. М.: Радио и связь, 1988. 176 с.

**СИЛОВЫЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ  
ДЛЯ УСТАНОВОК ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА**

**Аннотация.** В статье рассмотрены типы высокочастотных трансформаторов, используемых для источников питания установок индукционного нагрева. Приведена схема такого источника питания, определены функции таких трансформаторов в этих источниках. Рассмотрены элементы конструкции высокочастотных трансформаторов, а также типы современных трансформаторов, используемых в составе индукционных установок.

**Ключевые слова:** индукционный нагрев; индуктор; ферромагнитные устройства; силовой высокочастотный трансформатор.

Современные индукционные установки, применяющиеся в промышленности для высокочастотного нагрева или закалки металлических деталей, характеризуются использованием различного электротехнического оборудования для преобразования энергии, потребляемой из сети. На рис. 1 показана упрощенная структурная схема источника питания для высокочастотного индукционного нагрева [1].

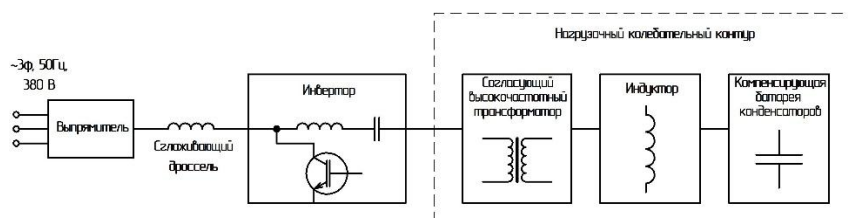


Рис. 1. Структурная схема источника питания высокочастотной индукционной установки

В установке на рис. 1 согласующий высокочастотный трансформатор используется для согласования выходных параметров преобразователя частоты (на схеме он состоит из блоков, расположенных левее трансформатора) и колебательного контура нагрузки, состоящего из индуктора и компенсирующей батареи конденсаторов, которые соединяются последовательно или параллельно. Применение таких трансформаторов необходимо, когда, например, требуется производить высокочастотную термическую обработку деталей различных раз-

меров и конфигурации при питании от заданного источника питания, для чего производится подбор индуктора соответствующего размера и нужной конструкции. В этом случае зачастую для каждого варианта индукторно-конденсаторного контура необходимо обеспечение определенного напряжения питания, что и обеспечивается применением высокочастотных трансформаторов с переменным коэффициентом трансформации.

Особенности работы в составе источника питания для индукционного нагрева определяют специальные требования к элементам конструкции таких трансформаторов и применяемым в них активным материалам. Так, ввиду работы при преобразовании переменного напряжения высокой частоты, сердечники таких трансформаторов выполняются из ленточной электротехнической стали (при частотах до 10 кГц), магнитодиэлектриков, ферритов, аморфных или нанокристаллических сплавов и т.д. В последнее время расширяется применение магнитомягких композиционных материалов – магнитодиэлектриков, например, *Fluxtrol*, *Ferrotron* и др. [2], а также аморфных или нанокристаллических сплавов, обладающих высокой индукцией насыщения, малыми магнитными потерями и способных эффективно работать при частотах до сотен кГц. Ранее в таких областях преимущественно использовались магнитопроводы из ферритов.

В качестве обмоточных материалов в высокочастотных трансформаторах, работающих на частотах в десятки кГц, нецелесообразно использовать стандартные сплошные обмоточные провода марок ПБ, ПЭТВ, ПЭТ-155 и др. подобные с круглым или прямоугольным сечением вследствие значительного влияния скин-эффекта. В таких трансформаторах применяются гибкие многожильные проводники – литцендраты, например марок ЛЭП, ЛЭШД, ЛЭПКО и др. В мощных трансформаторах, работающих в индукционных установках мощностью свыше десятков кВт (при работе трансформатора на скомпенсированную нагрузку, как показано на рис. 1), ввиду увеличения требуемого сечения проводов, эффективно использовать обмотки, выполненные из медной во-

доохлаждаемой трубки круглого или прямоугольного поперечного сечения. При применении воздушного охлаждения обмоток целесообразно предусмотреть принудительное охлаждение от вентиляторов.

По конструкции магнитопроводы высокочастотных трансформаторов подразделяются на: стержневые, когда обмотки наматываются поверх магнитопровода; броневые, когда обмотки окружаются магнитопроводом (подобно «броне»); бронестержневые, в которых имеются участки, соответствующие обоим предыдущим типам; тороидальные, в которых магнитопровод имеет форму кольца с прямоугольным или круглым сечением стержня, вокруг которого наматываются обмотки. Преимуществом тороидальной конструкции являются малое рассеяние магнитного потока, а недостатком – худшее охлаждение трансформатора, по сравнению с другими типами. Рассмотренные конструкции магнитопроводов трансформаторов схематично показаны на рис. 2 [3].

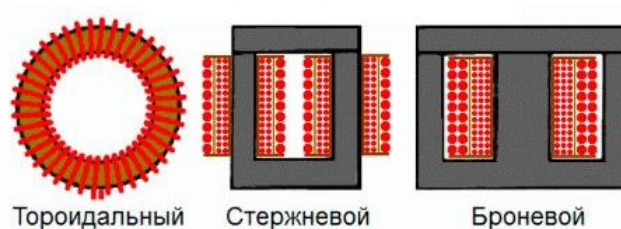


Рис. 2. Типы магнитопроводов высокочастотных трансформаторов

На рис. 3 показан внешний вид согласующего трансформатора ТЗ4–800, используемого для питания индукторов в установках индукционной закалки. В соответствии с этим, такой трансформатор называется закалочным [4].

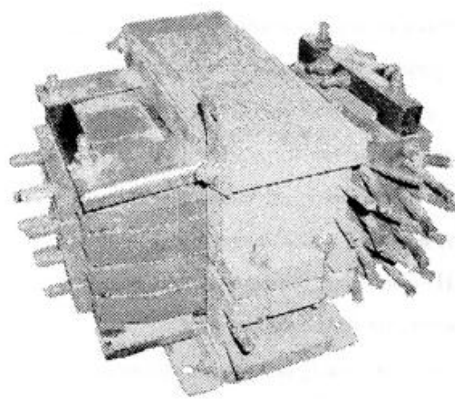


Рис. 3. Трансформатор закалочный ТЗ4-800

Первичная обмотка такого трансформатора содержит 24 витка, которые разделены на 4 отдельные секции из дисковых катушек, в каждой из которых выполнены отпайки. В зависимости от подключения таких отпаяек секций, возможно получение различных вторичных напряжений в таком трансформаторе. На рис. 4 показана схема подключения трансформатора при питании от напряжения 800 В.

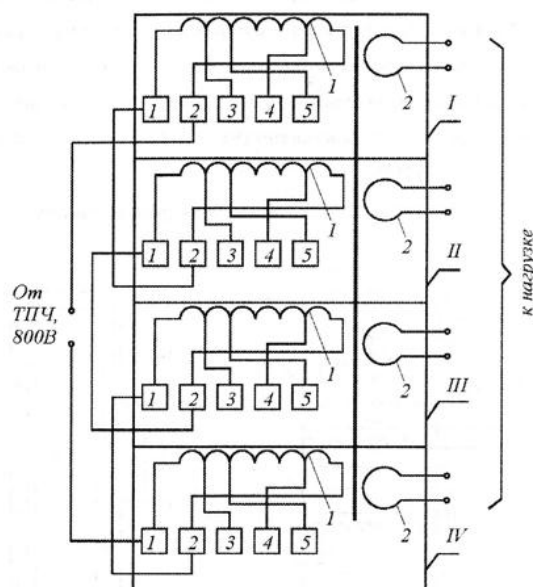


Рис. 4. Электрическая схема соединений трансформатора Т34-800 на входное напряжение 800 В

На рис. 5 показан закалочный трансформатор ТЗ–800 мощностью 800 кВт, выпускаемый на ЗАО «Индуктор СПб», г. Санкт-Петербург [5]. Такой трансформатор способен работать на частотах до 10 кГц.

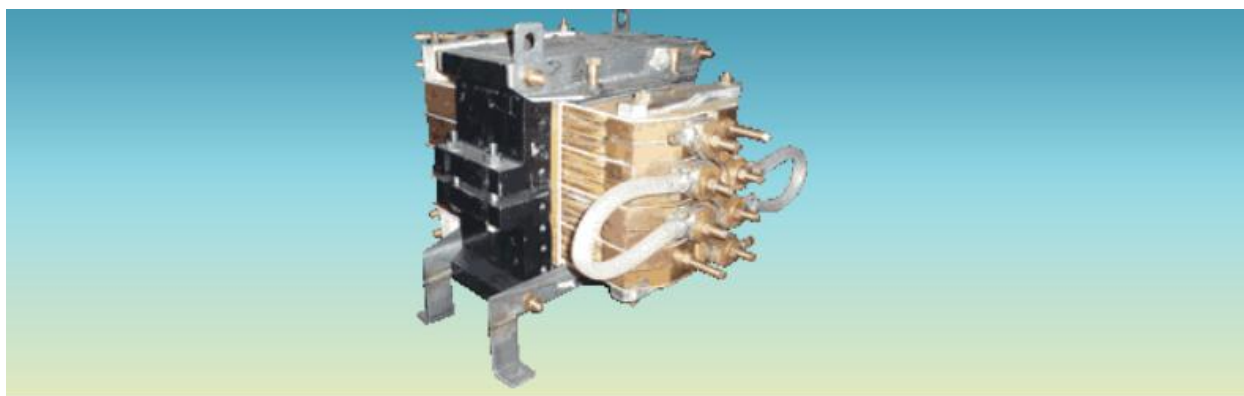


Рис. 5. Трансформатор ТЗ-800

На рис. 6 приведен аналогичный закалочный трансформатор ТЗ–3200 мощностью 3200 кВт.

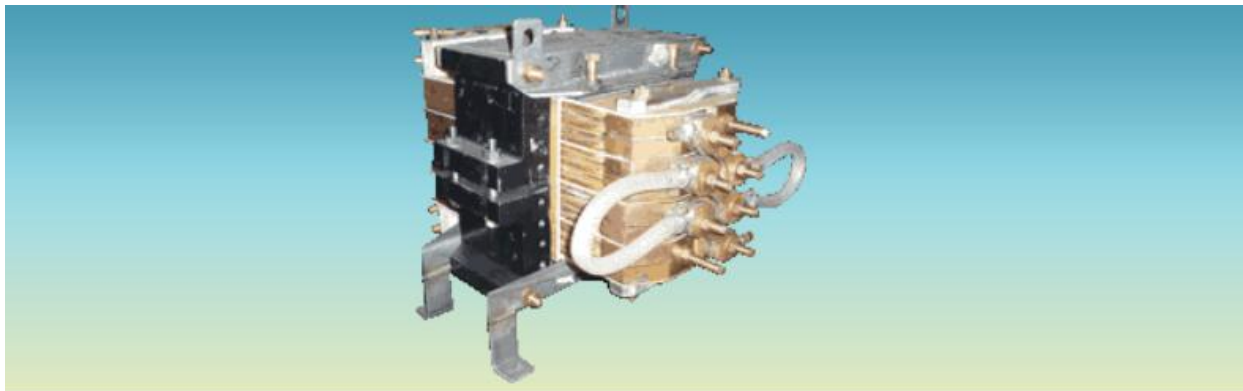


Рис. 6. Трансформатор ТЗ-3200

На рис. 7 показан согласующий автотрансформатор АТС5-500, используемый в индукционных нагревателях для кузнечных установок. Устройство работает при частотах до 10 кГц с активной мощностью 500 кВт. В табл. 1 показаны основные технические характеристики рассмотренного оборудования, выпускаемого на ЗАО «Индуктор СПб» [5].

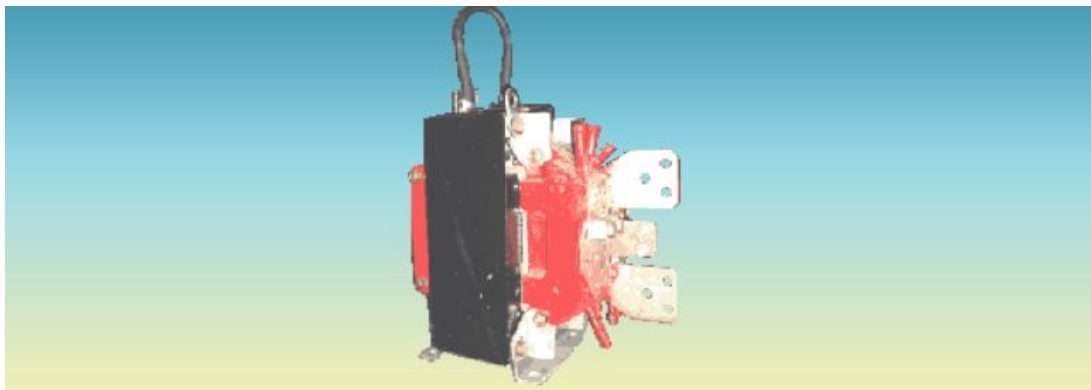


Рис. 7. Автотрансформатор АТС5-500



## Технические характеристики трансформаторов и автотрансформаторов

Наименование параметра	Величина параметра			
	ТЗ-800		ТЗ-3200	АТС5-500
	последовательное соединение витков первичной обмотки	параллельно-последовательное соединение витков первичной обмотки		
1. Мощность номинальная, кВ·А	800; 1600	800	от 1600 до 3200 (на частотах от 1,0 до 10,0 кГц)	500
2. Напряжение первичное номинальное, В	800	400	800	800; 1000
3. Напряжение вторичное при холостом ходе, В	от 33 до 266	от 33 до 266	от 57 до 33; от 114 до 66	от 750 до 400
4. Коэффициент трансформации при холостом ходе	от 3 до 24	от 1,5 до 12	от 14 до 24; от 7 до 12	от 1,07 до 2
5. Частота тока номинальная, кГц	2,4; 4,0; 8,0; 10,0		1,0; 2,4; 4,0; 8,0; 10,0	2,4; 4,0; 8,0; 10,0

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогинская, Л.Э., Горбунов А.С. Трансформаторно-индукторный комплекс с последовательным включением конденсатора в цепь нагрузки [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/113-11608> (дата обращения 15.09.2022).
2. Fluxtrol. URL: <https://fluxtrol.com/> (дата обращения 15.09.2022)
3. Импульсные трансформаторы: виды и особенности. URL: [https://stskabel.ru/perm/news/impulsnye\\_transformatory\\_vidy\\_i\\_osobennosti/](https://stskabel.ru/perm/news/impulsnye_transformatory_vidy_i_osobennosti/) (дата обращения 15.09.2022).
4. Элементы индукционных установок / А. К. Белкин и др.; под ред. Ю. М. Гусева. М.: Энергоатомиздат, 2007. 140 с.
5. Плавильные печи, индукционные печи, шахтные печи, индукционные установки. URL: <http://www.inductorspb.ru/prod.htm> (дата обращения 15.09.2022).

Д. Р. ГАРАФУТДИНОВ

*GarafutdinovD@yandex.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. Р. Р. САТТАРОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## РЕГУЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОТОКА В МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

**Аннотация.** Магнитоэлектрические демпферы находят широкое применение в самых разнообразных областях науки и техники –тяжелая промышленность, космическая отрасль, медицине и биологии, а также в ряде физических исследований. Это в свою очередь стимулирует разработки новых элементов и устройств, повышение их технико-экономических характеристик. Относительное движение между вторичным элементом (ротором) и магнитным полем создаваемое постоянными магнитами (ПМ) создаст вихревой ток, а магнитное поле, создаваемое вихревым током, противоположно полярности исходного магнитного поля, в результате чего возникает сила, препятствующая относительному движению, это явление называется электромагнитным затуханием. Гаситель вихревых токов может эффективно снижать кинетическую энергию механической системы и сдерживать вибрацию механического устройства, в частности прецизионного механического устройства. Вихретоковый демпфер на основе постоянных магнитов использует механизм бесконтактного демпфирования и может работать безопасно и стабильно, его стоимость производства низкая и имеет высокую надежность системы. Существует множество разновидностей магнитоэлектрических демпферов с различными конструктивными особенностями и способами регулирования магнитного потока, генерируемое постоянными магнитами. В данной статье приведено общее описание управляемых магнитоэлектрических тормозов, способов регулирования магнитного потока и конструктивных особенностей магнитоэлектрических устройств.

**Ключевые слова:** демпфер, магнитный поток, вихревые токи, постоянный магнит, регулирование электромагнитного момента.

Основными схемами регулирования угловой скорости вторичного элемента магнитоэлектрического демпфера не требующие постороннего источника электрической энергии является увеличение/уменьшение воздушного зазора между вторичным элементом и постоянным магнитом (ПМ) и регулирование магнитного потока при помощи реконфигураций магнитной цепи.

На рис.1. продемонстрирован магнитоэлектрический демпфер с регулируемым ротором рис, особенностью представленного вихретокового демпфера, является то что по мере увеличения скорости вращения вала, увеличивается центробежная сила и раздвижные элементы ротора начинают перемещения, радиально от оси ротора в приложенное магнитное поле. При нахождении эле-

ментов ротора параллельно постоянным магнитам, магнитное поле пронизывает ротор, наводит вихревые токи и происходит торможение. При уменьшении угловой скорости вала, элементы ротора выходят из зоны действия магнитного поля и процесс торможения прекращается. Данный демпфер нашел широкое применение как устройство для спуска альпинистов с высоты. Более высокая относительная скорость между проводником и магнитами приведет к более высокому тормозному моменту, тем самым потенциально ограничивая скорость вращения. Тормозной момент линейно пропорционален скорости только до тех пор, пока не будет достигнута пороговая скорость. При превышении этой скорости реакция тормозного момента на скорость становится нелинейной и достигает максимума, прежде чем начать снижаться с дальнейшим увеличением скорости. Эта характеристика проиллюстрирована на рис.2.

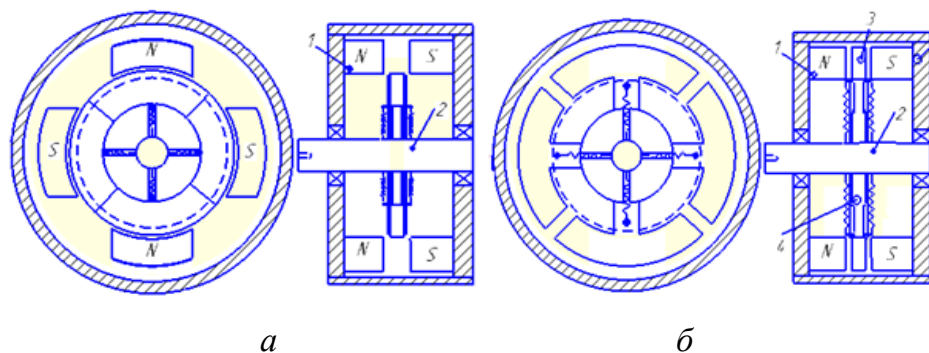


Рис. 1. Саморегулирующийся демпфер:

1 – постоянные магниты; 2 – вал; 3 – ротор; 4 – пружина и направляющий механизм;  
5 – железное ярмо; а – работа с минимальной частотой вращения ротора;  
б – работа с максимальной частотой вращения ротора

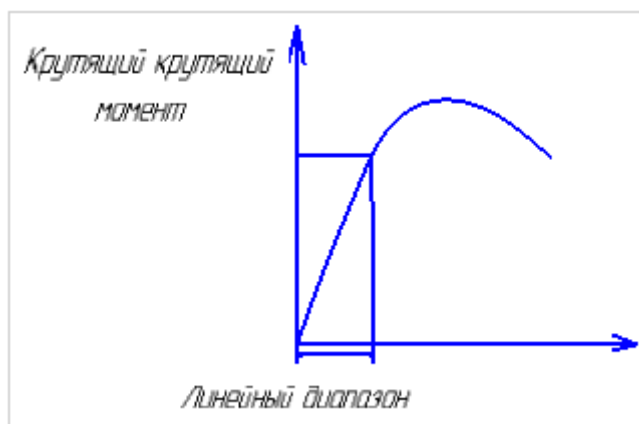


Рис. 2. Зависимость тормозного момента от скорости вращения

В работе авторов Baoquan Kou, Yinxi Jin, Lu Zhang and He Zhang, 1996 год, Китай, описан вихрековый демпфер с комбинированным возбуждением рис.3, особенностью данного демпфера является то что, магнитный поток создается постоянными магнитами и катушкой возбуждения.

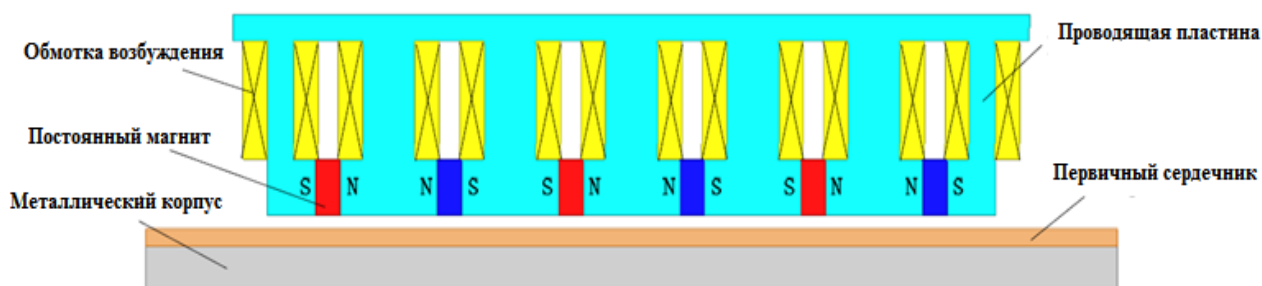


Рис. 3. Демпфер с комбинированным возбуждением

Линейный вихрековый демпфер комбинированного возбуждения включает первичную часть и вторичную часть, как показано на рисунке 3. Первичная часть состоит из обмоток возбуждения, первичного сердечника и постоянных магнитов (ПМ). Постоянные магниты поляризованы параллельно направлению движения движителя и помещены в пазы с переменной полярностью. Вторичная часть содержит проводящую пластину из меди на железной подложке. Магнитное поле генерируемое ПМ в первичном сердечнике противоположно направлены относительно линий потока генерируемые обмотками возбуждения и тем самым происходит влияние на уменьшение насыщения железа в зубьях первичного сердечника. Это позволяет подавать на тормоз более интенсивные токи, повышая тормозное усилие. Когда обмотки возбуждения не имеют тока возбуждения, поток, генерируемый постоянными магнитами, образует магнитное кольцо короткого замыкания в первичном железном сердечнике, и он почти не проходит через воздушный зазор, как показано на рисунке 4а. Когда ток возбуждения протекает через обмотки возбуждения, имеется два контура потока, как показано на рис.4б. Один из них вырабатывается обмотками возбуждения, а другой - постоянными магнитами. Сплошная линия-это поток, создаваемый постоянными магнитами, точечная и пунктирная линии-это поток, создаваемый обмотками возбуждения, а пунктирная линия-общий поток, созда-

аемый постоянными магнитами и обмотками возбуждения. Согласно закону электромагнитной индукции, относительное перемещение первичной части и вторичной проводящей пластины вызывает вихревые токи в проводящей пластине. За счет взаимодействия вихревых токов и магнитного потока, генерируемого постоянными магнитами и обмотками возбуждения, создается тормозная сила между первичной и вторичной частями. По сравнению с представленными выше магнитоэлектрическими демпферами с ПМ, демпфер с комбинированной системой возбуждения потребляет энергию от постороннего источника.

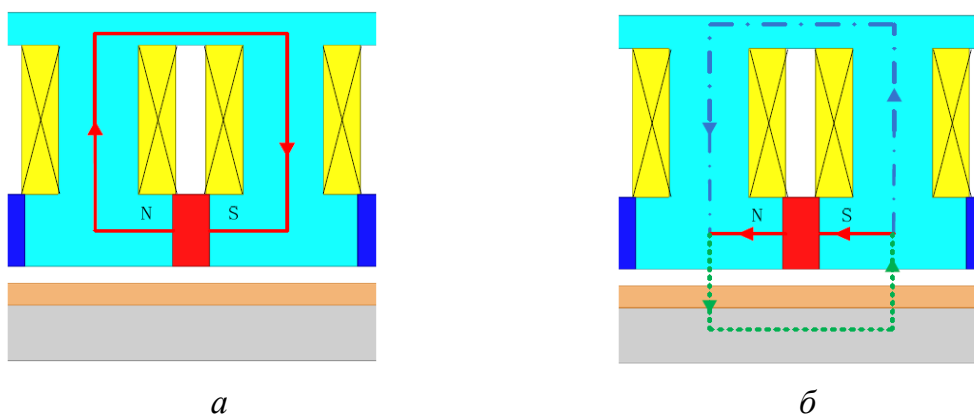


Рис. 4. (а) Направление магнитного потока ПМ (б) возбуждение обмотки с током возбуждения

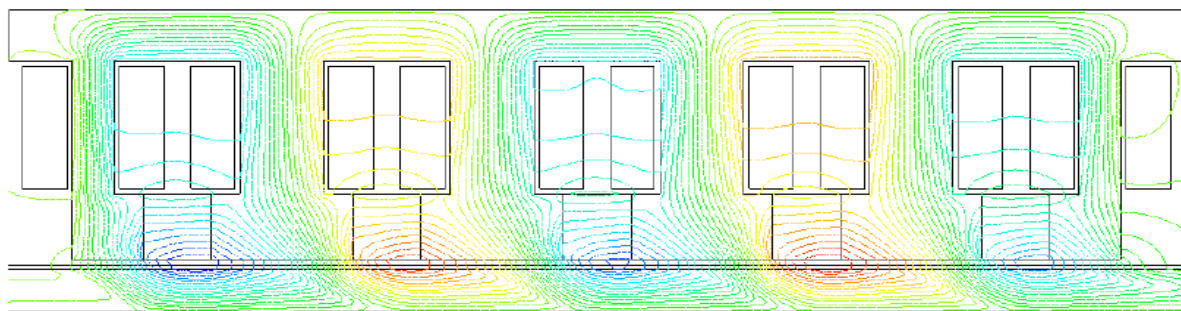


Рис. 5. Распределение магнитного потока

В работе автора Сагтаров Р.Р., 2018 года, Россия, описан Управляемый магнитоэлектрический тормоз с постоянными магнитами рис.6. Управляемый магнитоэлектрический тормоз содержит вал ротора на подшипниках с немагнитным цилиндрическим полым ротором. Корпус из мягкого железа выполнен с радиально расположенными постоянными магнитами и закреплен корпусом тормоза. Внутренний железный сердечник с выступающим полюсом закреплен

на другом валу, который установлен в корпусе на подшипниках. Сердечник помещен внутри полого ротора. Основными элементами данного тормоза являются постоянные магниты (ПМ), полый немагнитный ротор, индуктор, внутренний железный сердечник с неявным полюсом помещенный внутри полого ротора. Принцип работы данного тормоза заключается в следующем, когда тормоз включен, полюса металлического сердечника располагаются напротив постоянных магнитов и тем самым происходит уменьшение воздушного зазора и увеличение плотности магнитного потока что способствует увеличению тормозного эффекта рис.6 (а), замыкание магнитного потока происходит через сердечник с минимальным воздушным зазором. При повороте явнополюсного сердечника в положение изображенным на рис.6 (б), полюса сердечника равно удалены относительно постоянных магнитов и воздушный зазор увеличивается, тем самым уменьшая плотность магнитного потока и тормозной эффект. Таким образом, изменяя угловое положение внутреннего сердечника, можно регулировать величину тормозного момента от максимального до минимального значения, не потребляя электрической энергии от постороннего источника.

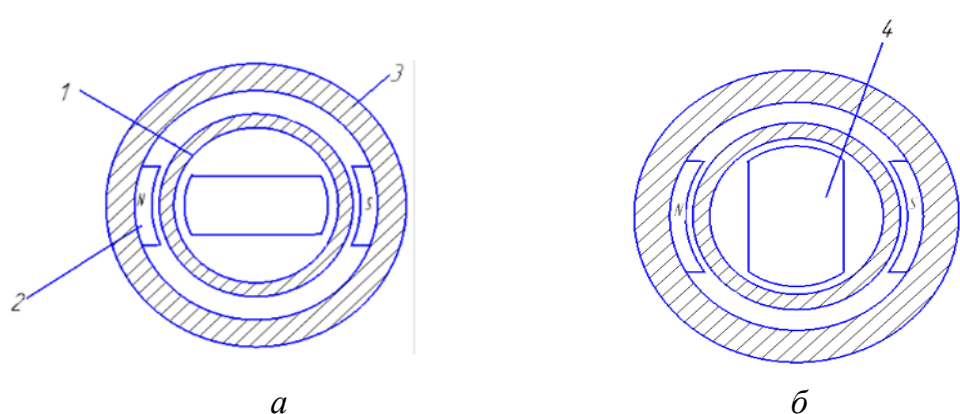


Рис. 6. Управляемый демпфер:

*1 – полый немагнитный цилиндрический ротор; 2 – постоянные магниты; 3 – индуктор; 4 – явнополюсный сердечник; а – положения внутреннего явнополюсного сердечника, соответствующим максимальному тормозному моменту; б – положения внутреннего явнополюсного сердечника, соответствующим минимальному тормозному моменту*

Проанализировав представленные магнитоэлектрические демпферы с различными конструктивными особенностями создано конструктивное мне-

ние что магнитоэлектрические демпферы, тормоза и муфты вполне эффективны. Для создания магнитного потока не требует источника электрической энергии, данные устройства могут применяться в любой отрасли начиная от бытовых устройств заканчивая космической промышленностью. Магнитоэлектрические демпферы имеют хороший срок службы так как отсутствуют трущиеся элементы нежели у фрикционных устройств. За большой промежуток времени выдающимися учеными всего мира изучены и разработаны модели которые позволяют рассчитать магнитоэлектрические демпферы с большой эффективностью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. Ebrahimi, M. B. Khamesee, and F. Golnaraghi, "Permanent magnet configuration in design of an eddy current damper," *Microsyst. Technol.*, vol. 16, no. 1–2, pp. 19–24, 2010.
2. R. He, X. Liu, and C. Liu, "Brake performance analysis of ABS for eddy current and electrohydraulic hybrid brake system," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2013, 2013.
3. Саттаров Р.Р., Еременко В.В. Замедление объектов с помощью управляемого электромагнитного демпфера // *Актуальные проблемы электроэнергетики: Сборник научно-технических статей*. 2019 Издательство Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород). 2019. С. 114–120.
4. H. Sodano, J. S. Bae, D. J. Inman, and W. K. Belvin, "Improved concept and model of current damper," *J. Vib. Acoust. Asme*, vol. 128, no. 3, pp. 294–302, 2006.
5. Балагуров В. А., Галтеев Ф. Ф. Электрические генераторы с постоянными магнитами./ Москва: Энергоатомиздат. – 1988.
6. Саттаров Р.Р., Исмагилов Ф.Р. Переходные процессы в электромагнитных демпферах с распределенной вторичной системой сложной геометрии // *Электричество*. 2014. № 3. С. 43–48.
7. Sattarov R.R. The Controllable Eddy Current Brakes with Permanent Magnets: Basic Concept // 2018 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2018 - Conference Proceedings. IEEE, 2018. P. 1–5.
8. Tonoli A. Dynamic characteristics of eddy current dampers and couplers // *Journal of Sound and Vibration*. – 2007. – Т. 301. – №. 3-5. – С. 576-591.
9. H.-J. Shin, J.-Y. Choi, H.-W. Cho, and S.-M. Jang, "Analytical Torque Calculations and Experimental Testing of Permanent Magnet Axial Eddy Current Brake," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 49, no. 7, pp. 4152–4155, Jul. 2013.
10. Управляемый магнитоэлектрический тормоз: Патент Рос.Федерация. №2365022 / Саттаров Р.Р., Огуречникова И.А., Гумерова М.Б; заявл. 03.03.2008 ; опубл. 20.08.2009. Бюл. № 19. 2–4 с.
11. J.-Y. Choi, H.-J. Shin, Y.-S. Park, and S.-M. Jang, "Torque analysis of axial flux PM type eddy current brake based on analytical field computations," in *Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2011 International Conference on*, 2011, pp. 1–5.

УДК 621.313

Р. И. ГАРЕЕВ, М. Б. ГАРЕЕВА, Н. Л. БАБИКОВА  
*rustamgareev85@mail.ru, gumerova\_m@mail.ru, 16.01.nat@gmail.com*  
Науч. руковод. – М. Б. ГАРЕЕВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЗА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MAPLE**

**Аннотация.** В статье проведены исследования математической модели, описывающей работу электродинамического тормоза. Математическая модель, основанная на совместном решении уравнений электромеханики и уравнения движения вторичной среды, была решена численно в программном пакете *Maple*. Полученные зависимости позволили сделать выводы об эффективности применения электродинамических тормозов в современных механизмах.

**Ключевые слова:** электродинамический тормоз; программный пакет *Maple*.

Исследование вопросов гашения энергии, возникающей в современных видах транспорта, испытательных стендах, отличающихся большими мощностями и скоростью движения, имеет особое значение. Это связано с ужесточающимися требованиями к безопасности, надежности, износостойкости и комфортности в эксплуатации и обслуживании.

Существенно упростить задачу анализа процессов в электромеханических системах позволяет использование компьютерного моделирования с помощью современных программных продуктов таких как *MathCad*, *MathLab*, *Maple*, *Mathematica*, *Electronics Workbench (EWB)*, *SimInTech*.

Конструкция электродинамических тормозов (ЭТ) включает индуктор, на котором расположены постоянные магниты или обмотки, а также малоинерционный ротор из проводящего материала, например алюминия [1]. ЭТ характеризуются большими значениями демпфирующих сил, минимальными потерями на трение, технологичностью, низким уровнем шума. Опыт эксплуатации ЭТ в различных погодных и дорожных условиях показывает их высокую эффективность, так как при этом достигается плавное торможение или замедленное движение автотранспортных средств с заданной скоростью. Все вышесказанное, в конечном счете, приводит к повышению безопасности движения.



В [2] была получена математическая модель, позволяющую совместно рассматривать электромагнитные и электродинамические процессы в ЭТ. Система уравнений, записанная в относительных единицах, примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\dot{H}_{2m}^*}{dt_\omega} + \left( \frac{1}{\varepsilon} + jv^* \right) \dot{H}_{2m}^* &= -jv^*; \\ \frac{d^2 X^*(t_\omega)}{dt_\omega^2} &= F_m^* \cdot \text{Im}\{\dot{H}_{2m}^*\} + F_B^*; \\ v^* &= \frac{dX^*(t_\omega)}{dt_\omega}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\dot{H}_{1m}^*$  – амплитудное значение напряженности первичного магнитного поля в относительных единицах;  $\dot{H}_{2m}^*$  – амплитудное значение напряженности вторичного магнитного поля в относительных единицах;  $v^*$  – линейная скорость движения ротора в относительных единицах;  $X^*(t_\omega)$  – координата перемещения ротора;  $t_\omega$  – приведенное значение времени;  $F_m^*$  – амплитуда электродинамической силы в относительных единицах;  $F_B^*$  – амплитуда вынуждающей силы в относительных единицах, определяющей характер движения.

Считается, что в начальный момент времени начала координат систем, связанных с ротором и с индуктором, совпадают, т.е. ротор находится в положении равновесия. В момент удара при  $t^*=0$  ротор мгновенно разгоняется до некоторой максимальной скорости. В начальный момент вторичное магнитное поле отсутствует, т.о. получим:

$$\begin{aligned} \dot{H}_{2m}^*(0) &= 0; \\ X^*(0) &= 0; \\ X^{*'}(0) &= v^*(0) = 1. \end{aligned} \quad (2)$$

Математическая модель (1) является системой нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, поиск аналитического решения не представляется возможным. Поэтому был проведен поиск численных решений для некоторых исходных значений в программном пакете *Maple*.

Программный пакет *Maple* – система компьютерной математики, предназначенная для символьных вычислений, при этом имеет ряд средств и для численного решения дифференциальных уравнений и нахождения интегралов. Обладает развитыми графическими средствами. Собственный интерпретируемый язык программирования *Maple* синтаксисом частично напоминает язык Паскаль.

Далее приведены графики для напряженности вторичного магнитного поля (рис. 1) и электромагнитной тормозной силы (рис. 2) при  $F^*_B=0,5$  и  $F^*_m=1$  для различных значений  $\varepsilon$  – магнитного числа Рейнольдса, характеризующего интенсивность электромагнитных процессов.

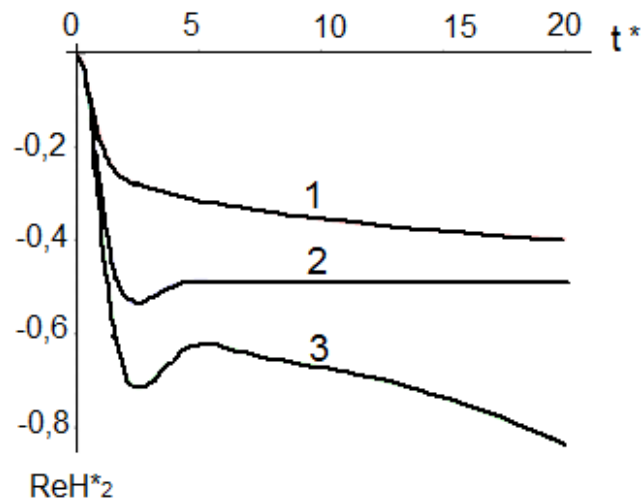


Рис. 1. Зависимость напряженности вторичного магнитного поля от времени:  
 $1 - \varepsilon = 0,5, 2 - \varepsilon = 1, 3 - \varepsilon = 1,5$

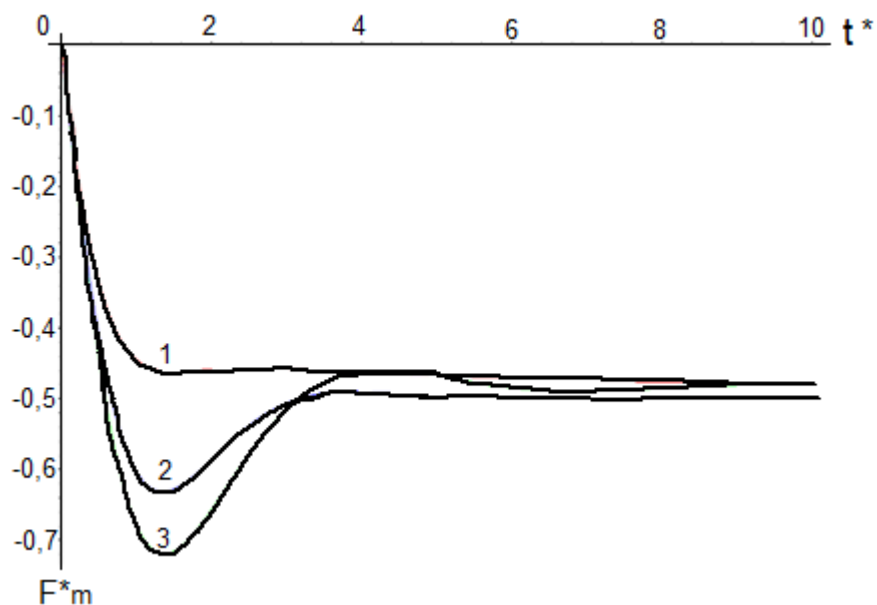


Рис. 2. Зависимость электромагнитной (тормозной) силы от времени:  
 $1 - \varepsilon = 0,5, 2 - \varepsilon = 1, 3 - \varepsilon = 1,5$

Из представленных графиков видно, что в начальный момент времени в кривых напряженности вторичного магнитного поля и электромагнитной силы наблюдаются ударные значения рассматриваемых величин. Чем больше значение  $\varepsilon$ , тем больше величина ударной силы.

Предпочтительно принимать  $\varepsilon = 1$ , т.к. в этом случае тормозная сила в установившемся режиме является наибольшей, т.е. ЭТ работает эффективно. Дальнейшее увеличение  $\varepsilon$  приводит к увеличению ударной величины силы и меньшему значению силы в установившемся режиме. Программный пакет *Maple* позволяет повысить качество, упростить работу исследователя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гумерова М.Б. Магнитоэлектрический тормоз. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Материалы 16 Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3-х т. Т.2. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. С. 15-17.
2. Исмагилов Ф. Р., Саттаров Р. Р., Гумерова М.Б. Математическое моделирование динамических режимов электромагнитных демпфирующих элементов. Вестник УГАТУ: науч. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. 2010. Т.14, №5(40). С.86-90.

УДК 681.5

У. Ф. ГАФАРОВ, Р. Р. ШАГИВАЛЕЕВ  
*ugafarovb1@gmail.com*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТ-ФАРАДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**Аннотация.** В статье представлено описание программно-аппаратного комплекса предназначенного для автоматизации процесса измерения вольт-фарадных характеристик с применением программируемых измерительных приборов: источника напряжения GWInstek PSM-6003 и измеритель иммитанса RLC E7-20.

**Ключевые слова:** измерительно-вычислительная система, вольт-фарадные характеристики, аппаратно-программный комплекс, модель, автоматизация измерений, LabVIEW.

В настоящее время в интегральных микросхемах и приборах микроэлектроники, приборостроении используются различные полупроводниковые структуры. Свойства и параметры таких структур обуславливают основные характеристики и параметры приборов, схем и устройств на их основе. Для измерения параметров полупроводниковых структур в настоящее время используется большое количество разнообразных методов. Одним из таких методов является методы вольт-фарадных характеристик.

В современных условиях серийного выпуска электронных приборов существует потребность в налаженном последовательном тестировании полупроводниковых структур, в процессе которого происходит сбор, структурирование и инициализация выходных данных.

Для выполнения тестирования необходимо разработка программного комплекса с высоким уровнем автоматизации способного выполнять множество последовательных измерений вольт-фарадных характеристик, а также с возможностью интеграции с другими техническими решениями и приборами.

Также высоки требования к степени организации средств управления на иерархическом уровне пользовательского интерфейса. Широкий объем производства электронных устройств обуславливает необходимость у разработанной системы тестирования выходных характеристик высокого уровня автома-

тизации сбора и обработки данных в системах. Наиболее оправданным способом представления (визуализации) данных для пользователя измерительного комплекса является использование компьютерных и программных средств с высоким уровнем кастомизации для адаптации систем для конкретных задач. Таким образом, с использованием виртуальных инструментов существует огромное количество вариантов построения измерительных систем.

Для проведения измерений были использованы следующие устройства: персональный компьютер, источник напряжения GWInstek PSM-6003 и измеритель иммитанса E7-20. Принцип работы аппаратно-программного комплекса заключается в считывании приборами информации, задаваемой пользователем средствами интерфейса и передачи значения емкости измерителем RLC обратно на ПК. Схема автоматизированного программного комплекса представлен на рис. 1. Передача информации между ПК и приборами происходит через интерфейс RS-232.

Измерение ВФХ происходит путем подачи на структуру двух сигналов. Первый – постоянное напряжение смещения, которое обеспечивает поддержку рабочей точки прибора, и второй – переменное напряжение малой амплитуды, необходимое для измерения собственно емкости структуры.

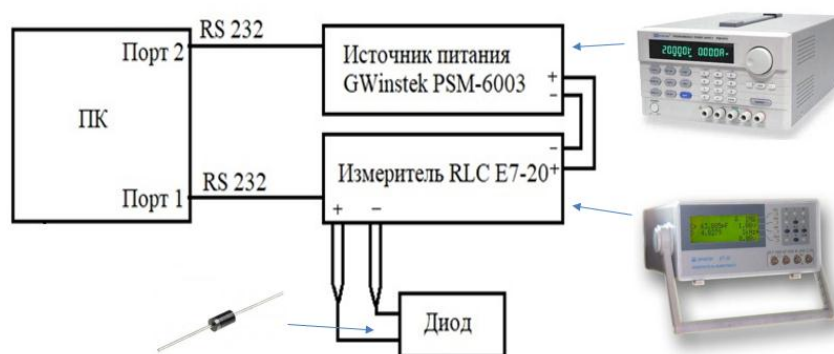


Рис. 1. Схема измерительного комплекса

Для поэтапной проработки разрабатываемого измерительного комплекса была спроектирована иерархическая структура (рис. 2). Ввиду требований, выдвинутых к задаче реализации измерительной системы, основным из которых является построение универсальной платформы для автоматизации измерений

средствами как программными, так и аппаратными, для реализации существующей модели автоматизированного процесса снятия выходных характеристик было решено использовать программные средства NI LabVIEW.

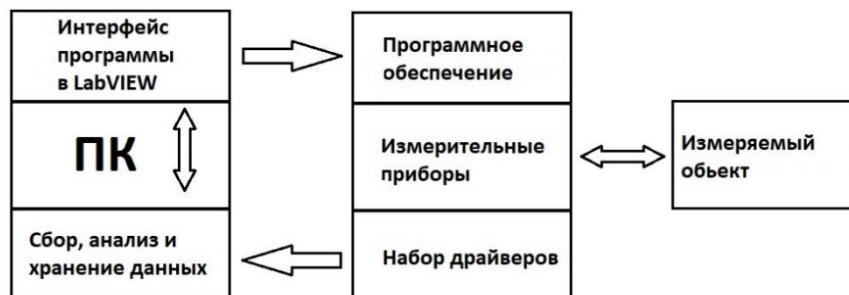


Рис. 2. Иерархическая структура измерительного комплекса

Блок диаграмма программы состоит из нескольких частей: модуля введения входных данных, передачи входных данных на прибор, подпрограммы для работы RLC и визуализация результатов (рис. 3). С модуля входных данных поступает информация для расчета количества необходимых измерений. Блок передачи данных состоит из элементов VISA, отвечающая за обмен информацией между ПК и источником напряжения GWInsteak. Подпрограмма для RLC необходима для получения значений емкости (рис. 4). Данные, полученные с RLC и источника напряжения инициализируются на пользовательском интерфейсе (лицевой панели программы) программными средствами в виде графика вольт-фарадных характеристик (рис. 5). Пользователь отсюда может задать входные данные: начальное и конечное напряжение смещения, шаг изменения напряжения и интервал, с которым будет отправляться сигнал на приборы для измерений. Для удобства работы оператора, программно-аппаратный комплекс позволяет проводить многократный запуск процесса измерения с последующим сохранением данных. Для последующей обработки полученных данных, реализована функция комментария и подписи таблиц.

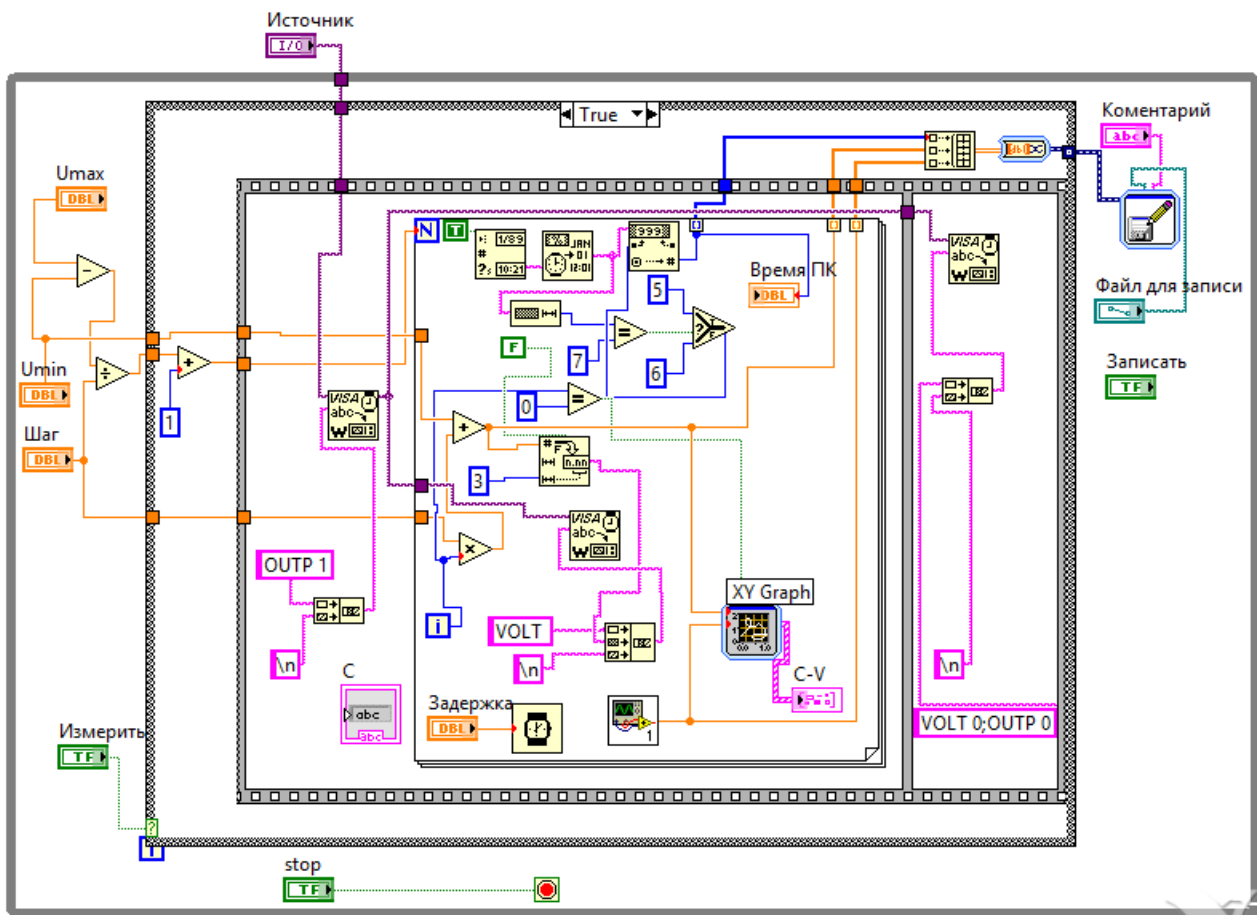


Рис. 3. Блок-схема программы источника напряжения

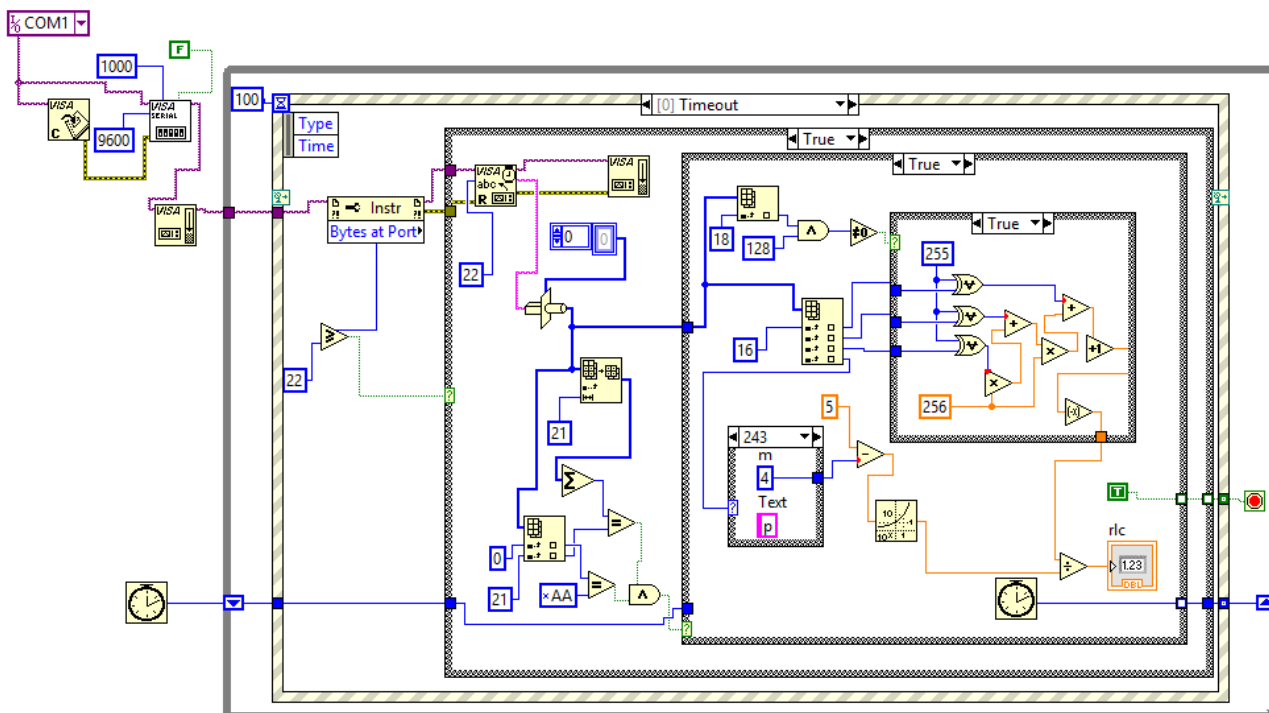


Рис. 4. Блок-схема программы источника напряжения

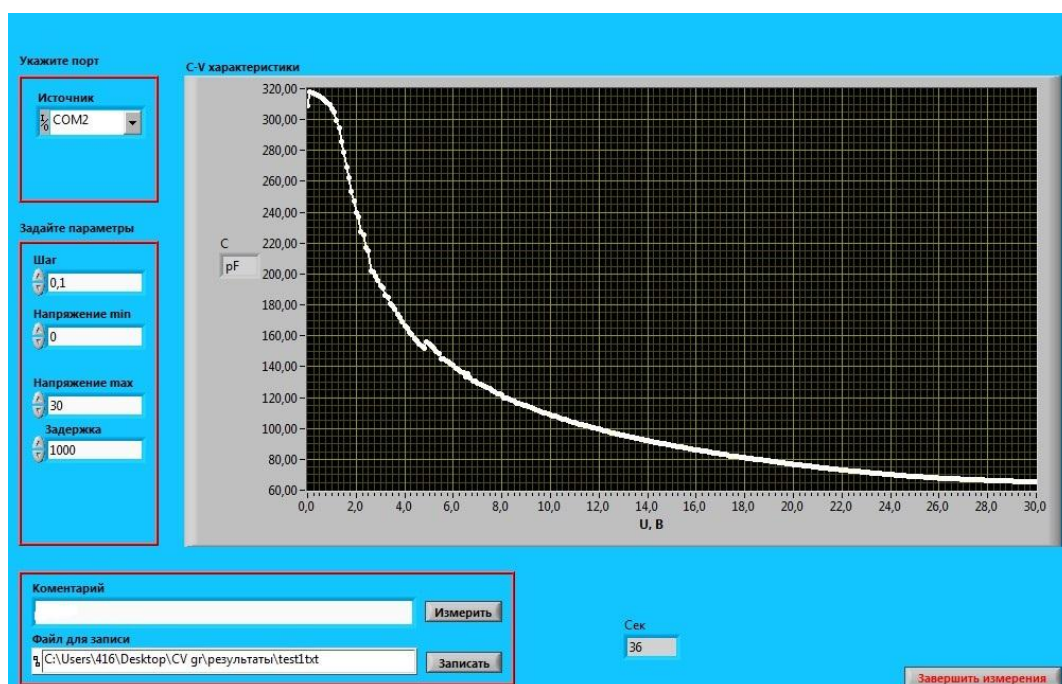


Рис. 5. Лицевая панель программы и график ВФХ диода Шоттки

Данный программный комплекс не требует высоких вычислительных мощностей, поэтому подходит для реализации на базе персонального компьютера с установленным на нем программным комплексом NI LabVIEW, а в качестве устройства представления данных в блоке визуализации используется монитор компьютера.

Применение данного автоматизированного измерительного комплекса позволяет проводить множество последовательных измерений. Программа позволяет задавать входные данные для источника напряжения и измерителя иммитанса, проводить измерения и графически визуализировать данные, полученные с измерителя иммитанса. В программе реализована функция записи. Так же программа имеет потенциал для модификации добавления других измерительных приборов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутырин П. А. Автоматизация физических исследований эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы / Бутырин П. А. // М.: ДМК Пресс. — 2005.
2. Бушмелев Д. Л. Обработка и анализ данных физических объектов с помощью программного комплекса Labview / Бушмелев Д. Л. Фомичев О. Е. // Научная мысль. Военный университет радиоэлектроники. — 2019г. — т. 7. №1 (31). — С. 138-141.



3. Петросьянц, В. В. Автоматизация процесса снятия амплитудно-частотных характеристик электронных устройств / В. В. Петросьянц, А. Д. Бурындина // Молодой ученый. — 2017. — № 22 (156). — С. 65-68.
4. Пильцов М. В. Создание виртуальных лабораторных стендов с помощью NI Labview / М. В. Пильцов, В. В. Тихонов // Современные технологии и научно-технический прогресс. Ангарский государственный технический университет. — 2021 г. — №8. — С. 141-142.
5. Сергеев. А. Д. Среда разработки LABVIEW / Сергеев А. Д. // Энигма. — 2020 г. — № 20. — С. 162-165.

УДК 621.31

В. Р. ГИЛЯЗЕВ

*ischeba.ugatu@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. физ.-мат. наук, доц. Д. В. МАКСУДОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

**АНАЛИЗ НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ: ПРИЧИНЫ УХУДШЕНИЯ,  
ЗАВИСИМОСТЬ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ  
И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ОТКЛОНЕНИЯМИ**

*Аннотация.* В статье производится анализ четырех, наиболее важных, показателей качества электрической энергии: установившегося отклонения напряжения и частоты; колебания напряжения; несимметрия напряжения; несинусоидальность напряжения. По каждому из перечисленных показателей производится анализ причин возникновения или ухудшения показателя, влияния на работу потребителей и способы восстановления качества электрической энергии или защиты от случаев возникновения данных показателей.

*Ключевые слова:* несинусоидальность; отклонение напряжения; колебание напряжения; показатели качества электроэнергии.

Электрическая энергия, как и любой другой продукт, обладает определенными, специфичными только для него, свойствами. И показатели этих свойств определяют качество электроэнергии. Каждый электроприемник предназначен для работы при определенных параметрах электрической энергии: номинальном напряжении и частоте, допустимом содержании высших гармоник и т.п., поэтому для нормальной работы этих приемников должен быть обеспечен необходимый уровень соответствия этих параметров. Таким образом, качество электрической энергии определяется совокупностью характеристик, при которых электроприемники могут нормально работать и выполнять заложенные в них функции. С каждым годом потребители становятся все чувствительней к качеству электроэнергии и параллельно с этим широко распространяются потребители, работающие через вторичный источник питания, которые в свою очередь ухудшают качество электрической энергии в питающей сети. Так же стоит отметить, что различные виды потребителей требовательны к различным показателям качества электроэнергии, что в свою очередь так же усложняет объективную оценку зависимости потребителя от качества электри-

ческой энергии, а также указывает на необходимость индивидуального подхода к различным видам потребителей.

Из всех показателей качества электрической энергии выделили четыре, к которым потребители наиболее чувствительны:

- установившееся отклонение напряжения и частоты;
- колебания напряжения;
- несимметрия напряжения;
- высшие гармонические составляющие и несинусоидальность напряжения.

Основной причиной возникновения установившегося отклонения напряжения является увеличение величины нагрузки из-за подключения одного или нескольких мощных потребителей. Так же причинами могут послужить увеличение числа потребителей без модернизации энергосистемы или обрыв контакта нулевого кабеля. Существует два способа нормализации напряжения в таких случаях. Первое – изменение коэффициента трансформации питающего трансформатора с помощью средства регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) или регулирования напряжения без возбуждения (ПБВ). Второе – установка в узлах потребления конденсаторных батарей, которые являются источниками реактивной мощности, и за счет генерации реактивной мощности и изменения перетоков мощностей позволяют повысить пропускную способность линии и повысить напряжение у потребителя. Количество и место установки конденсаторных батарей определяется посредством заблаговременных расчетов электрической сети.

Установившееся отклонение напряжения оказывает наиболее существенное влияние из все показателей качества электроэнергии на работу потребителей. Различные потребители в различной степени чувствительны и отклонения напряжения у разных потребителей приводит к различным уровням последствий. И если современные энергосберегающие технологии освещения становятся менее чувствительны к отклонению напряжения, то чувствительность

асинхронных машин не меняется, и это приводит к дополнительным потерям, сокращению срока службы и снижает качество и производительность технологического процесса.

Относительно колебаний напряжения, существуют два основные причины: подключение значительных нагрузок или неисправности на смежных электрически связанных участках.

Рассматривая чувствительность электроприемников к колебаниям напряжения, можно выделить, что инерционные потребители менее чувствительны и, возможно, вообще не требуют средств защиты, однако в современном производстве и быту повсеместно применяются полупроводниковые потребители, ЧРП и т.п. которые очень чувствительны к колебаниям напряжения и даже могут выйти из строя по причине их возникновения. А также еще одним распространенным видом последствий колебаний напряжения является отпадание контакторов электрических двигателей, что в свою очередь приводит к останову производственного процесса.

Основной причиной появления несимметрии токов и напряжений в электрических сетях в нормальном режиме является несимметричная нагрузка по фазам. Несимметричные токи, протекая по элементам электрической сети, вызывают разные по величине падения напряжения в фазах и, как следствие, несимметрию напряжений в узлах сети.

Возникновение несимметрии напряжения в сети приводит к возникновению токов нулевой и обратной последовательности, которые в свою очередь приводят к увеличению суммарного тока в элементах сети, к увеличению потер мощности, энергии, напряжения, уменьшению пропускной способности линий электропередачи и трансформаторов. Во вращательных машинах возникновение несимметрии приводит к значительному снижению срока их службы.

Для эффективного снижения несимметрии создаваемой нагрузкой применяют:

1) выравнивание фазных токов в распределительных сетях 0,38 кВ и 6-35 кВ путем равномерного распределения нагрузок по фазам;

2) раздельное питание несимметричных и симметричных нагрузок: от разных секций шин трансформаторов с расщепленной обмоткой, от разных трансформаторов двухтрансформаторных подстанций;

3) подключение мощных несимметричных нагрузок к отдельным трансформаторам, подключенным к шинам 35-220 кВ;

4) применение различных симметрирующих устройств (таких как фазоповоротных трансформатор и т.п.).

Источниками искажения синусоидальной формы напряжения являются нагрузки, обладающие нелинейной вольт-амперной характеристикой: дуговые сталеплавильные печи, тиристорные преобразователи, трансформаторы с нелинейными вольт-амперными характеристиками и т.д.

Отрицательное влияние несинусоидальности напряжения на работу электроприемников вызвано дополнительными потерями, вносимыми токами высших гармоник, а также тем, что данные гармоники образуют составляющие прямой, обратной и нулевой последовательности. Так составляющие нулевой последовательности образуются токами гармоник, кратных трем, которые генерируются, в частности, бытовыми приборами. Токи нулевой последовательности ухудшают характеристики электрических машин.

Однако, самое негативное влияние высшие гармоники оказывают на работу конденсаторных батарей, тепловые потери в которых пропорциональны частоте. Это означает значительное сокращение срока службы конденсаторных батарей. Кроме того, на частоте одной из гармоник в конденсаторной батарее может возникнуть явление резонанса, что приводит к отключению конденсаторной батареи или даже выходу ее из строя.

Влияние высших гармоник приводит также к возрастанию токов утечек в кабелях и ускорению старения изоляции различных электроприборов.

Существуют следующие возможные пути снижения несинусоидальности:

1) Схемные решения (например, включение нелинейных нагрузок только на одну шину);

2) Применение нелинейных устройств с низким уровнем генерации гармоник;

3) Применение фильтрующих или фильтрокомпенсирующих устройств, например, узкополосного резонансного фильтра.

Анализ данных показателей качества электроэнергии по различным видам потребителей может помочь заблаговременно защитить приемники от ухудшения качества электрической энергии или защитить электрическую сеть от внедрения источников электрических помех.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Исмагилов Ф. Р., Максудов Д.В. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике в вопросах и ответах: Учебное пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; - Уфа: УГАТУ, 2005. – 85 с.
- 2.Карташев И.И. Провалы напряжения. Реальность прогнозов и схемные решения защиты // Новости ЭлектроТехники. 2004. № 5(29).
3. Тропин В.В., Савенко А.В., Перепечин В.А. Анализ связи параметров сети с показателями качества электроэнергии. // Известия высших учебных заведений. Электромеханика: научно-технический и учебно-образовательный журнал. 27/10/2005. - №5. – с.16-18.
4. Зацепина В.И. Анализ провалов напряжения в системах электроснабжения. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал. – 2009г. -№1 – с. 387-390.

## **МОТИВАЦИЯ РАБОТНИКОВ ПРОЕКТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН С УЧЕТОМ КРОССКУЛЬТУРНЫХ ФАКТОРОВ**

**Аннотация.** Авторами проведен анализ мотивации работников проектных организаций Республики Башкортостан, с учетом кросскультурных факторов.

**Ключевые слова:** мотивация, работник, проектная организация, кросскультура, фактор, национальные особенности

Сегодня запросы персонала компании увеличиваются с каждым годом, поэтому важно уделять особое внимание построению грамотной системы мотивации. В России, в Республике Башкортостан в частности, понятие «мотивация труда» в экономическом значении появилось только недавно в процессе реформирования экономики, ранее оно в основном упоминалось только в социологии, педагогике и психологии. До недавнего времени понятие «мотивация», в основном, заменялось понятием «стимулирование», что приводило к ориентации на краткосрочные экономические цели и не вызывало заинтересованности в собственном развитии, самосовершенствовании работника. При этом, по мнению авторов, на процесс мотивации работников значительное влияние оказывает национальная культура Республики Башкортостан и при разработке мотивации труда необходимо учитывать кросскультурные факторы.

Авторы считают важным [1]:

- создание надлежащих условий труда, в том числе с учетом религиозных потребностей общества;
- формирование у работника надлежащего отношения к работе, при котором он бы воспринимал труд как сознательную деятельность, необходимую для нормального материального обеспечения себя и семьи;

– развитие у работника стремления к самосовершенствованию, самообразованию как основы профессионального и служебного роста;

– применение материальных и нематериальных методов стимулирования с учетом кросскультурных факторов;

– создание системы мотивации, которая бы развивала у сотрудника чувства принадлежности к национальной культуре своего народа и к корпоративной культуре конкретного предприятия, которая в значительной степени влияет не только на мотивацию, но и стиль ведения переговоров, взаимоотношения между сотрудниками;

– создание: условий для карьерного роста и решения интересных профессиональных задач; возможности реализации творческого потенциала работника, подающего инновационные предложения, и четкого понимания целей деятельности; комфортной обстановки в коллективе (по данным опроса [2]) и др.

Система мотивации работников проектных организаций Республики Башкортостан включает с себя следующие составляющие:

– специализированные премиальные фонды для стимулирования проектной деятельности, а также выполнения заданий повышенной сложности;

– материальное стимулирование, в том числе за инициацию проекта, за успешную реализацию и за участие, с разработкой обоснованных критериев и порядка расчета премии;

– систему бонусов, которые, как правило, носят под собой разовый характер выплат, например, это может быть годовой, полугодовой или новогодний бонус, бонус за стаж работы, качественное исполнение своих профессиональных обязанностей и т.д.;

– специальные премии, например Правительства Республики Башкортостан, как коллективам, так и отдельным сотрудникам, при этом особое внимание нужно уделить не только руководящему составу организации, но и рядовым сотрудникам, ответственно подходящим к выполнению трудовых функций;



- награждение почетными грамотами или благодарностями;
- введение практики учета выполненной работы в проектной организации с помощью специальных программных средств, в том числе с оценкой процента личного участия каждого члена команды и его загруженности;
- предоставление жилищных субсидий, как формы стимулирования за достижение высоких показателей в работе;
- организацию регулярных тематических мероприятий (форумы, конференции, круглые столы, совещания и т.д.) в Республике Башкортостан, способствующих получению новых знаний, обмену опытом и взаимодействию между представителями проектных организаций, бизнес-сообществом и органами власти;
- формирование и развитие специальных очно-заочных, на базе ведущих образовательных организаций Республики с применением дистанционных образовательных технологий, программ повышения квалификации и профессиональной переподготовки сотрудников проектных офисов, для развития *soft skills* и *hard skills* навыков. При проведении программ необходимо привлечение специалистов практиков, представителей реального сектора экономики;
- специальное дополнительное образование на базе зарубежных образовательных учреждений;
- налаживание гибкой коммуникации с персоналом для снижения функциональной нагрузки в условиях цифровизации;
- внедрение системы кросс-культурного менеджмента;
- обеспечение прозрачности деятельности проектного офиса: публичное декларирование целей и планируемых результатов в виде конкретных цифр, а также ежегодные публичные отчеты о проделанной работе, степени достижения поставленных показателей и анализа проблем
- самомотивацию сотрудников, в том числе на базе успеха известных личностей из числа сотрудников компании, создание специальных современ-

ных стендов с информацией и фотографиями успешных работников; вознаграждение за стаж работы в компании;

– поддержание жизнедеятельности и здоровья: обеспечение персонала горячими обедами; выражение отрицательной оценки, если сотрудники пренебрегают обедом; обсуждение на неформальных мероприятиях принципов здорового образа жизни; похвала сотрудников, занимающихся спортом; предоставление абонементов для успешных сотрудников в бассейны, спортивные залы или спортклубы;

– наставничество; минимальный контроль; возможность выразить свое мнение; делегирование доверительных поручений.

– четкую систему планирования, недопущение частого перепланирования; занятия по тайм-менеджменту и самоменеджменту; корпоративные традиции и ритуалы, которые создают чувство уверенности в завтрашнем дне.

– поддержание корпоративных и семейных ценностей [3]: управленческие поединки и турниры; совместное посещение театров и концертов; фотоконкурсы и конкурсы рисунков; обучение мастерству «вторая профессия», создание фильмов о компании; корпоративный экстрим; написание книги «история компании и ее лучшие работники»; веселые старты для семей сотрудников; походы выходного дня, корпоративные детские сады; подарки на праздничные мероприятия, концерты самодеятельности и т.д.

Авторами проведен анализ мотивации работников проектных организаций Республики Башкортостан, с учетом кросскультурных факторов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайретдинов А. А., Юшкова О. А., Пашали Д. Ю. Развитие мотивации деятельности инженера проектного предприятия // Психология творчества и одаренности. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 15-17 ноября 2021 года, г. Москва: в 3-х частях/ Под ред. А.А. Александрова и В.К. Балтяна. – М.: Ассоциация технических университетов, 2021. – 227 с. – Часть 2. С.87-92.
2. <https://ufatime.ru/news/2018/03/01/eksperty-vyyasnili-chto-motiviruet-zhitelej-bashkirii-natrudovye-sversheniya-i-chto-lishaet-ih-zhelaniya-rabotat/>
3. Баданаева А. И. Материальная и нематериальная мотивация // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. – 2016. № 2. – С. 36-37

УДК 621.314.11

А. В. КЕКИН, В. А. ПЕТРОВ

*sasha.kekin@mail.ru, pitbull@bk.ru*

Науч. рук. – канд. техн. наук, доц. И. И. ЯМАЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АВИАЦИОННЫЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

**Аннотация.** Обзор современных схмотехнических решений и перспективных направлений развития элементной базы силовых DC/DC преобразователей, применяемых в авиации и промышленности.

**Ключевые слова:** авиация, промышленность, DC/DC, преобразователь, электроника, электротехника, паразитные параметры.

Электричество как вид энергии используется человечеством относительно недавно, однако ввиду удобства и разноплановости использования в современности стал просто незаменимым. А многие прочие источники энергии стали использоваться для получения электроэнергии. Электричеством можно нагреть чайник, осветить стадион и раскрутить электродвигатель, однако ко всему нужен определенный подход, по сути выливающийся в изменение характеристик тока.

В электротехнике под преобразованием электроэнергии подразумевается изменение ее формы на выходе некоторого устройства относительно его входа. По форме ток может быть постоянным и переменным, то есть изменяться по определенному закону (чаще синусоида) с определенной частотой (например, бытовая сеть 50 Гц). Следовательно, и преобразователи электроэнергии могут подразделяться на те, что изменяют форму тока и/или его отдельно взятые параметры [1].

Рассмотрим конкретный тип преобразователей: «из постоянного тока в постоянный» или DC/DC.

Постоянный ток не изменяется со временем по величине и направлению, его форма - это прямая, следовательно, основная характеристика - это ее уровень.

Реальный DC/DC преобразователь изменяет не только уровень тока, но и напряжения, и мощности, а его важнейшая характеристика – КПД по мощности, т.е. степень эффективности преобразования.

Собственно, повышение мощности и КПД при понижении массогабаритных и прочих паразитных параметров и есть пути усовершенствования DC/DC преобразователей.

Первое важное направление – это улучшение и оптимизация устоявшихся схемотехнических решений, а также поиск принципиально новых.

Второе тесно связано с первым – поиск и внедрение новой элементной базы, а также электронных компонентов с более высокими характеристиками.

Ядро схем преобразования – это радиоэлементы, способные каким-либо образом накапливать электрическую энергию, имеющие реактивную составляющую. Их всего два типа:

1. Конденсатор – две обкладки, разделенные диэлектриком, на которых концентрируются разноименные заряды;
2. Индуктивность – проводник, чаще намотанный на магнитопровод, путем увеличения магнитного поля запаасающий энергию.

Импульсные DC/DC преобразователи принято разделять по функциональности, т.е. если на входе 12 В, а на выходе 5 В, 5 меньше 12, значит преобразователь понижающий (Рис.1); на выходе больше, чем на входе – повышающий (Рис.2); еще есть инверторы (Рис.3) [2].

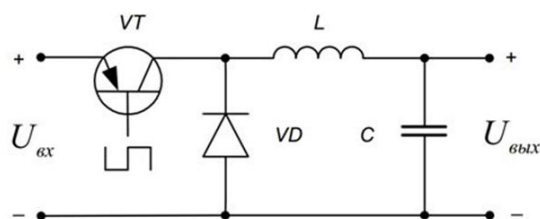


Рис. 1. Типовая схема понижающего DC/DC преобразователя:  
*VT* – транзистор; *L* – индуктивность; *C* – конденсатор; *VD* – диод;  
*U<sub>вх</sub>* и *U<sub>вых</sub>* – входное и выходное напряжение

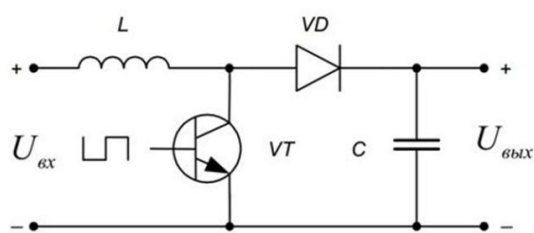


Рис. 2. Типовая схема повышающего DC/DC преобразователя

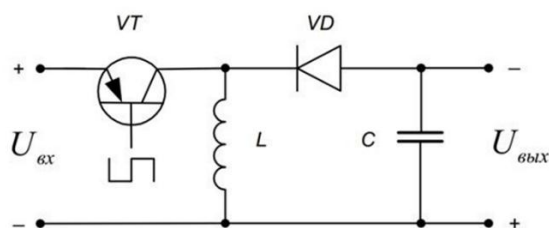


Рис. 3. Типовая схема DC/DC инвертора

Выделим важные моменты для всех трех схем:

1) Применяется одинаковый минимально допустимый набор радиоэлементов, меняется лишь схемотехника, от чего конечный результат может диаметрально отличаться;

2) Обычно в схемах для показательности применяется простой ключ, а не транзистор в ключевом режиме. Таким образом показан изменившийся подход к разработке схем, когда транзистор, управляемый ШИМ-сигналом от, например, внешнего микроконтроллера, стал чем-то обыденным;

3) Используются радиоэлементы, имеющие реактивную составляющую, которая зависит от времени, тем самым создавая некоторую задержку прохождения электроэнергии. Хотя благодаря ним и становятся возможными подобные преобразования, возникают паразитные параметры и физические ограничения, борьба и избавление от которых также является важнейшей задачей.

В реальных схемах применяется множество дополнительных и необходимых решений, как: гальваническая развязка входа и выхода (например, обратные преобразователи); унификация преобразователей путем слияния двух и более схем и мн. др.

Как пример, рассмотрим одно из схемотехнических решений, позволяющих убрать паразитные параметры индуктивностей. Это преобразователи на коммутирующих конденсаторах, где индуктивностей нет в принципе (Рис.4, 5, 6).

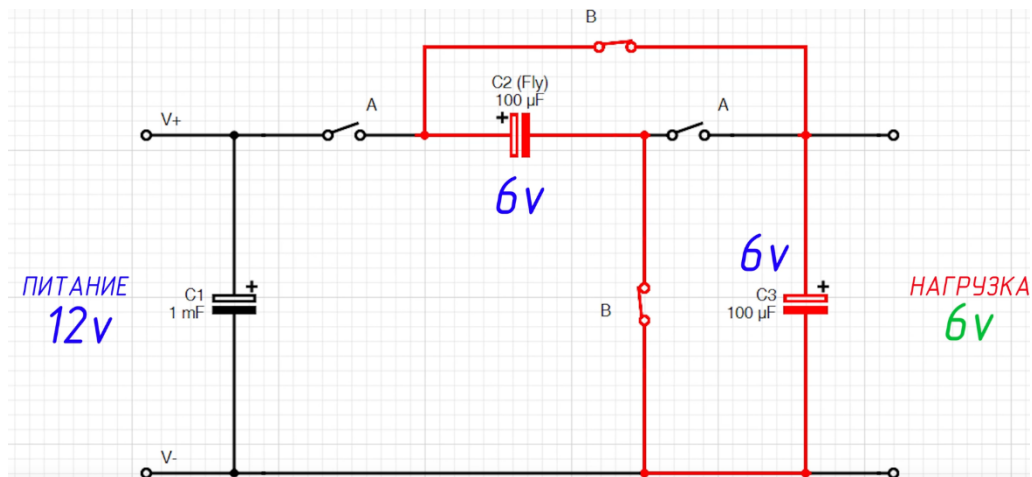


Рис. 4. Понижающий DC/DC преобразователь на «летающем конденсаторе»

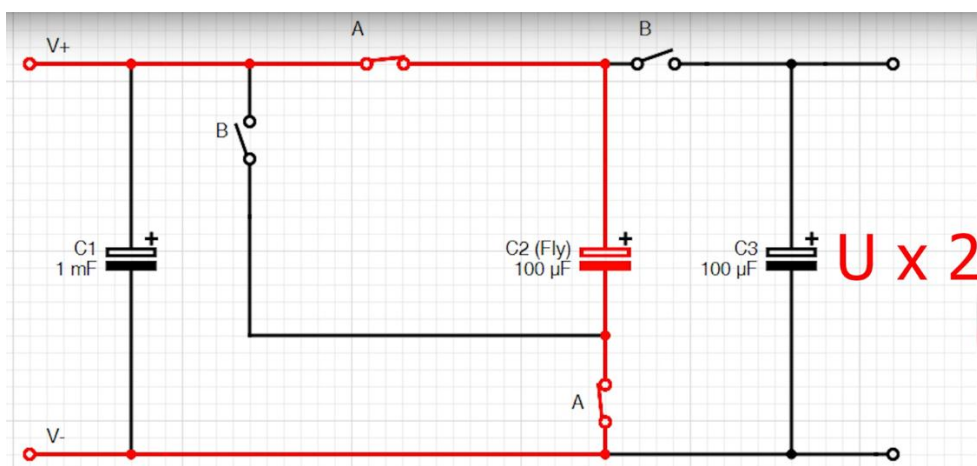


Рис. 5. Повышающий DC/DC преобразователь на «летающем конденсаторе»

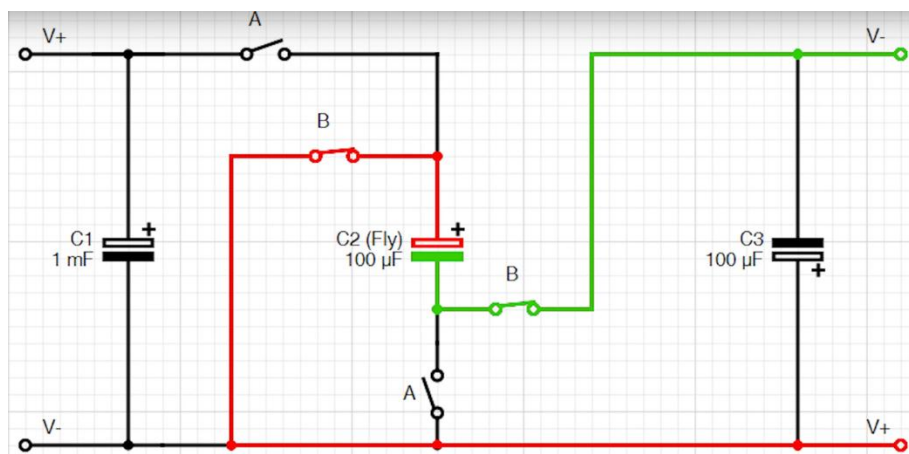


Рис. 6. DC/DC инвертор на «летающем конденсаторе»

Данные преобразователи широко используются в маломощных системах, есть даже готовые решения в формате микросхем, требующих минимальной обвязки. Они обладают высоким КПД, малым уровнем шумов и хорошими массогабаритными показателями, однако предъявляются высокие требования к параметрам конденсаторов и имеются ограничения по мощности. Для улучшения параметров данных преобразователей можно рассмотреть применение суперконденсаторов повышенной емкости при малом времени зарядки/разрядки.

Частота коммутации ключей – важнейший параметр для всех видов преобразователей. Он предъявляет высокие требования к транзисторам и остальным радиоэлементам. На сверхвысоких частотах работы требуется особый подход к схемотехнике, разводке плат, конструкции радиоэлементов и в разы и порядки возрастающим паразитным параметрам, напрямую влияющим на работоспособность и КПД. Например, затраты на перемагничивание магнитопроводов, токи Фуко, скин-эффект, эффект близости, добротность конденсаторов и мн.др [3].

Если раньше в ядре подобных преобразователей стояли реле и лампы, позже тиристоры, то сейчас транзисторный век. До сих пор популярны и массово используются именно биполярные транзисторы, однако сейчас весь мир переходит на полевые транзисторы.

Причем данная технология в физическом смысле еще не скоро исчерпает свой потенциал. Сейчас активно развивается тренд ухода от кремниевых p-n переходов в сторону новых технологий.

Уже выпускаются транзисторы и диоды на основе карбида кремния или галлий нитрида с минимальными внутренними сопротивлениями, высокими мощностью, теплопроводностью и частотой переключения.

Большое распространение среди DC/DC преобразователей получили уже классические двухуровневые инверторы, выдающие на выходе два уровня напряжения:  $+U$  и  $-U$ . Задача повышения мощности такого преобразователя приводит к поиску более мощных комплектующих. Сегодня же в производство

внедряются многоуровневые инверторы, например, трехуровневый инвертор с фиксированной нейтральной точкой, имеющий на выходе:  $+U$ ,  $U/2$  и  $0$ . Такие преобразователи более стабильны, имеют больше уровней выходного сигнала, а самое главное – могут использовать каскады менее мощных полупроводников для увеличения мощности.

Вывод: технологии в современном мире развиваются невероятно быстро, и даже в открытых источниках можно отыскать пути повышения эффективности таких сложных устройств, как преобразователи электроэнергии. Определили проблемы, требующие решения, таких как: увеличение КПД и мощности, уменьшение массы, габаритов, паразитных параметров. Мы рассмотрели не только устоявшиеся и применяющиеся повсеместно схемотехнические решения, но и новые перспективные и более эффективные; а также применение во всех них новой элементной базы. Убедились, что DC/DC преобразователи – крайне востребованная область силовой электроники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы электротехники и электроники: учебник для высшего профессионального образования / В.Т. Еременко, А.А. Рабочий, А.П. Фусин и др.; под общ.ред. В.Т. Еременко. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – 529 с.
2. Практическая схемотехника, Преобразователи напряжения, Книга 3, Шустов М.А., 2002.- 184 с.
3. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – 2-е изд., испр. – М.:СОЛОН-Пресс, 2015. – 416 с.



## ТРАНСФОРМАТОРЫ С ВРАЩАЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

**Аннотация.** В статье рассмотрены типы трансформаторов с вращающимся магнитным полем, используемые в электротехнике. Приведены конструктивные особенности таких трансформаторов, области применения, а также их преимущества и недостатки по сравнению с обычными трехстержневыми трансформаторами с плоской магнитной системой.

**Ключевые слова:** трансформаторы; трансформатор с вращающимся магнитным полем; электрические машины.

Трансформатор с вращающимся магнитным полем (ТВМП) представляет собой асинхронную машину с неподвижным ротором. В ТВМП возможно преобразование числа фаз и частоты тока. Поскольку ротор такой машины неподвижен, воздушный зазор в ТВМП делается технологически минимально возможным путем напрессовывания «статора» (внешний магнитопровод) на «ротор» (внутренний магнитопровод). Это позволяет значительно снизить ток холостого хода в ТВМП по сравнению с классическими асинхронными машинами. При этом первичная и вторичная обмотки ТВМП для улучшения электромагнитной связи целесообразно выполнять на одном магнитопроводе, например, на внутреннем. В этом случае внешний магнитопровод будет представлять собой кольцо без пазов [1].

При применении ТВМП для преобразования числа фаз вторичная обмотка в общем случае отличается от первичной числом витков и числом фаз. В случае использования ТВМП для преобразования частоты используется явление насыщения магнитной цепи с уплощением кривой индукции в воздушном зазоре.

ТВМП с преобразованием числа фаз могут быть эффективно применены в источниках питания постоянного тока на основе многопульсных многофазных выпрямителей. Как известно, в таких источниках широко используются выпрямительные силовые трансформаторы с несколькими вторичными обмот-

ками, соединенными по различным схемам, среди которых зигзаги, треугольники и фазосдвинутые треугольники с получением соответствующих групп соединения с требуемым фазовым сдвигом линейных напряжений вторичных систем напряжений. Один из вариантов таких трансформаторов показан на рис. 1 [2].

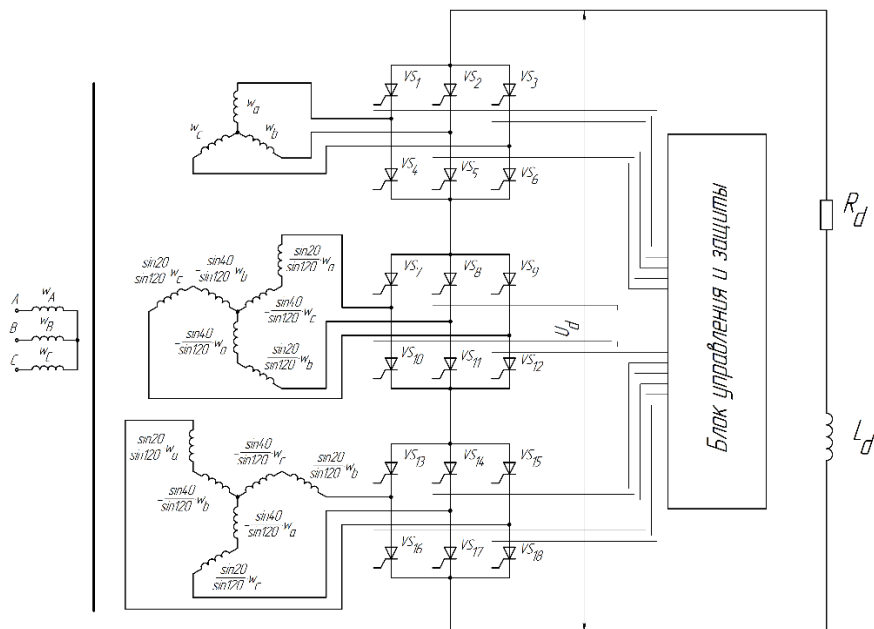


Рис. 1. Трансформаторно-полупроводниковый преобразователь для получения постоянного тока

Недостатком использования вторичных обмоток, соединенных в зигзаг или фазосдвинутый треугольник, является повышенная установленная мощность выпрямительного трансформатора за счет геометрического суммирования напряжений катушек обмоток, соединенных по этим схемам, а также сложность выполнения таких обмоток. Одним из решений этих проблем является применение ТВМП, где необходимый фазовый сдвиг вторичных систем получается за счет различия осей фаз в пазах магнитопроводов, аналогично с тем, как это происходит в фазорегуляторах, что позволяет не использовать сложные схемы соединения обмоток в ТВМП.

В [3] описывается трехфазно-многофазный ТВМП, состоящий из внешнего и внутреннего магнитопроводов, в которых уложены первичная и вторичные обмотки, при этом в одном случае первичная обмотка выполнена на внешнем магнитопроводе, а вторичные обмотки – на внутреннем, а в других случаях –

обмотки выполнены на одном магнитопроводе (рис. 2). Внешний или внутренний магнитопровод, если они выполнены без обмоток, в таком устройстве имеет форму кольца.

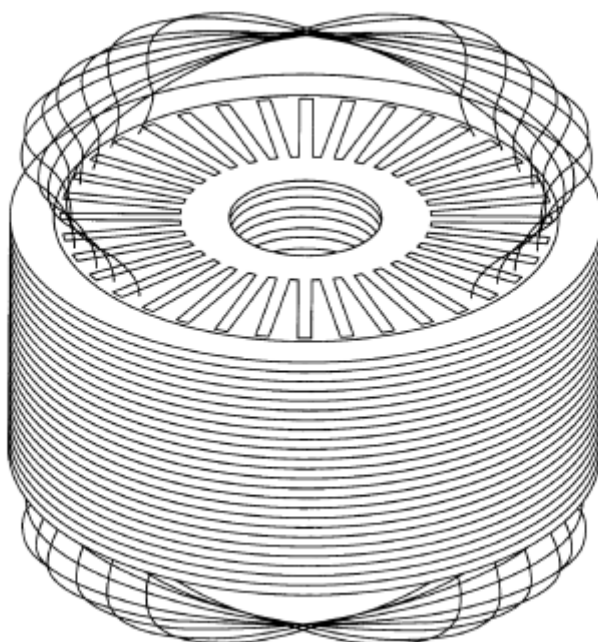


Рис. 2. ТВМП с внутренним магнитопроводом и внешним кольцом

Еще одним техническим преимуществом ТВМП является симметричность магнитной цепи для всех фаз, в отличие от традиционно используемой плоской трехстержневой магнитной системы обычных трансформаторов.

В [4] предлагается конструкция трехфазно-девятифазного преобразователя на базе ТВМП с одной первичной и тремя вторичными обмотками, выполненными на внешнем магнитопроводе (рис. 3).

Преимущество такого устройства состоит в унификации статора ТВМП со статором традиционных асинхронных машин, а также симметричность магнитной цепи. За счет выполнения на внешнем магнитопроводе трех вторичных обмоток, смещенных друг относительно друга и уложенных в пазы, согласно рис. 3, на вторичной стороне такого преобразователя формируются три симметричные трехфазные системы напряжений, сдвинутые на  $20^\circ$  относительно друг друга. На рис. 4 показана векторная диаграмма вторичных напряжений рассматриваемого ТВМП.

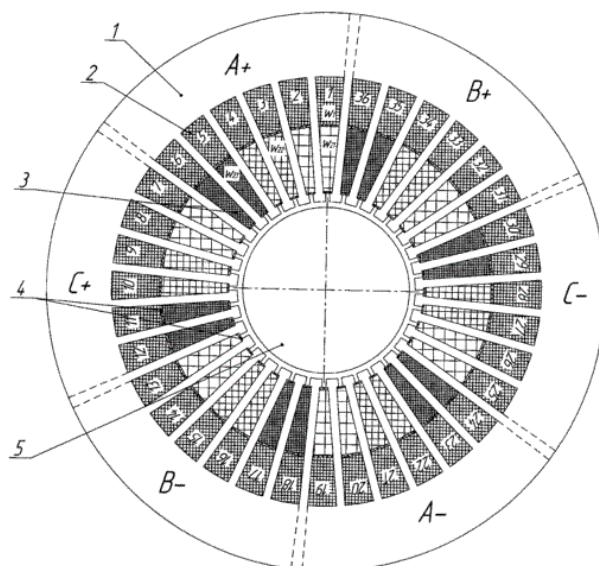


Рис. 3. ТВМП для получения вторичной 9-фазной системы напряжений

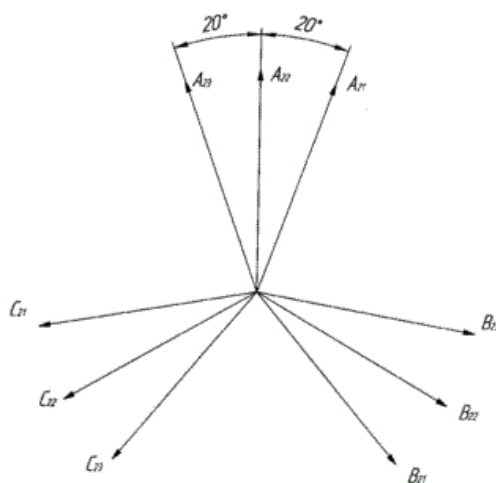


Рис. 4. Векторная диаграмма ТВМП для получения 9-фазной системы напряжений

Таким образом, за счет своих преимуществ, ТВМП могут быть эффективно применены в источниках питания постоянного тока в качестве преобразователей числа фаз вместо известных силовых трансформаторов с плоскими магнитными системами. К недостаткам ТВМП по сравнению с обычными трансформаторами можно отнести несколько большую величину тока холостого хода вследствие наличия небольшого воздушного зазора между внешним и внутренним магнитопроводами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины: в 2-х т. 3-е изд., стер. М.: МЭИ, 2006-Т. 1. 2006. 653 с.
2. Рогинская Л.Э., Горбунов А.С. Фазопреобразующий трансформатор как элемент системы повышения электромагнитной совместимости управляемого полупроводникового преобразователя с сетью и нагрузкой // Практическая силовая электроника. 2016. № 3 (63). С. 28–34.
3. U.S. Patent US7948340B2, H01F30/14. Three-Phase Multi-Winding Device / Rastogi M. [et al.]; Assignee: Siemens Industry, Inc., Alpharetta, GA (US). US 2009/0058584A1; Filed: Aug. 28, 2008; Date of Patent: May 24, 2011. 19 p.
4. Пат. 198 492 Российская Федерация, МПК H01F 30/14. Трансформатор с вращающимся магнитным полем / Рогинская Л.Э., Горбунов А.С., Меднов А.А.; заявитель и патентообладатель Уфа, Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. № 2020100554; заявл. 09.01.2020; опубл. 13.07.2020, Бюл. № 20. 6 с.

Р. М. МАНСУРОВ, Д. Ю. ПАШАЛИ  
*renman@bk.ru*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ СНИЖЕНИЯ ГИБЕЛИ ПТИЦ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

**Аннотация.** Авторами проведен анализ влияния жизнедеятельности птиц на надежность электроустановок на некоторых подстанциях Республики Башкортостан и проведен анализ методов и средств, предотвращающих гибель птиц и их влияние на надежность электроустановок.

**Ключевые слова:** линии электропередач, гибель, аварийное отключение, птица, надежность, метод, средство, продукт, жизнедеятельность, электроустановка.

Актуальной научно-технической является анализ влияния жизнедеятельности птиц на надежность электроустановок, так как птицы используя на разных этапах жизнедеятельности линии электропередач (ЛЭП) и другое оборудование электрических подстанций (ПС) служат причиной его повреждения и отключения, что в свою очередь приводит к ущербу от перерывам электроснабжения потребителей. Актуален также анализ методов и средств, предотвращающих гибель птиц и повышающих надежность электроустановок. Птицы при этом подвергаются риску гибели. Необходимость защиты птиц определена рядом документов, например федеральным законом № 52-ФЗ «О животном мире» от 24.04.1995 (ст. 28), постановлением Правительства РФ от 13.08.1996, Положением ПАО «Россетти» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» и др. [1]. В работе [2] приведены: примеры и оценка масштабов гибели птиц от поражения электрическим током при контакте с ВЛ 6-10 кВ; анализ действующего природоохранного законодательства и нормативно-технической базы в сфере обеспечения безопасности объектов животного мира при эксплуатации воздушных линий связи и электропередачи; методические рекомендации по защите объектов животного мира и организации контроля за соблюдением природоохранного законодательства при эксплуатации ВЛ.

Особую опасность для работы ЛЭП и электрооборудования ПС представляет вероятность перекрытия межфазных промежутков и промежутков «фаза-земля» различными материалами, которые переносят птицы (например, куски проволоки), перекрытие изоляции может вызвать пожар на ПС и привести к аварии. Прямой контакт птиц элементами ВЛ и электрооборудованием ПС являются причиной коротких замыканий с выходом из строя или повреждением оборудования и гибелью птиц. Влажность, обусловленная наличием отходов жизнедеятельности птиц, увеличивает риск возникновения «электрической дуги», также возникают технические проблемы работы воздушных линий (ВЛ): пляска проводов, изменение проводящих свойств токопроводящих элементов ЛЭП и изоляторов.

Таблица 1

Анализ отключений ВЛ 100 кВ

Год	Общее количество отключений	Отключения из-за воздействия птиц	
2019	16	4	25 %
2020	10	3	30 %
2021	5	2	40 %

Авторами проанализированы аварийные отключения ПС 35/10 кВ, питания электроприемников второй и третьей категории надежности электроснабжения – «Старо Мусино» и «Сайраново» за 2019-2021 года (рис. 2), из анализа видно, что доля аварийных отключений из-за воздействия птиц значительна.

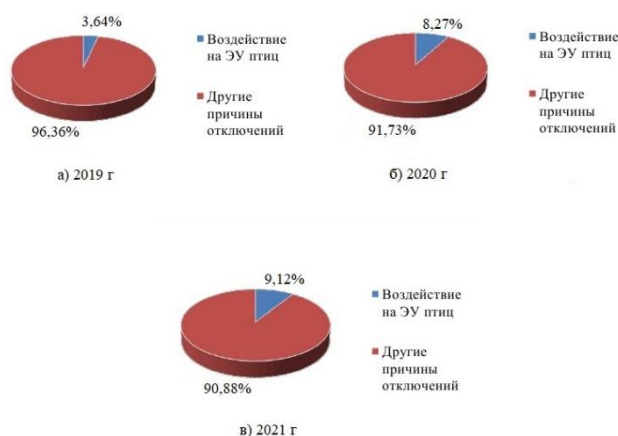


Рис. 1. Доля отключений из-за воздействия на электроустановки птиц в Чишминском РЭС в:  
*а – 2019 году; б – 2020 году; в – 2021 году*

По диаграммам (рис. 1) видно, что количество аварийных отключений из-за воздействия на электроустановки птиц в Чишминском РЭС с каждым годом возрастает. В 2019 году было 3,64%, а в 2021 году возросло практически в 3 раза – 9,12 %.

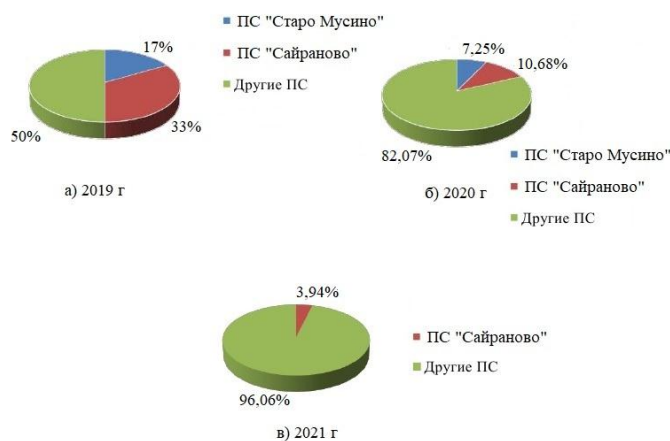


Рис. 2. Доля отключений на ПС «Сайраново» и ПС «Старо Мусино» в общем количестве аварийных отключений по РЭС из-за воздействия на электроустановки птиц в: а – 2019 году; б – 2020 году; в – 2021 году

По диаграммам (рис. 2) видно, что на анализируемых ПС воздействие на электроустановки птиц значительно. Количество аварийных отключений из-за воздействия на ЭУ птиц на ПС «Сайраново» в каждом году имеет большой процент, чем на ПС «Старо Мусино». Суммарный процент аварий на рассматриваемых подстанциях в 2019 году составил 50% от общего количества отключений по РЭС из-за воздействия на ЭУ птиц, в 2020 году – 17,93%, в 2021 году – 3,94%.

Авторы провели анализ методов и средств, позволяющих повысить надежность ВЛ и электрооборудования ПС, и минимизировать влияние птиц на аварийные ситуации, а также снизить гибель птиц:

– птицевозащитные устройства антиприсадного типа ЗП-КП, *SITITEK* «Барьер-Премиум» и др. ЗП-КП [2] колеблются при порывах ветра и отпугивают птиц, тем самым защищая ВЛ от обрыва и отключения, саму птицу от удара тока; не позволяют устраивать гнездо в не подходящих для этого местах опоры ЛЭП. Конструкция устойчива к порывам ветра, наледи и т.д.; имеет вид «вее-



ра», лучи которого выполнены с закруглениями на концах; крепится на траверсе ВЛ. Известно устройство ЗП-Н1 в виде «насеста», которое предотвращает загрязнение ВЛ и ее отключение из-за КЗ при контакте птиц одновременно с заземленными частями ЛЭП и частями, находящимися под напряжением;

– экранирующие птицевозащитные устройства ЭПЗУ-470, ЗП-ЭС1 и др. ЗП-ЭС1 – это экран из атмосферостойкого пластика для защиты подвесных стеклянных изоляторов;

– устройства защиты птиц маркерного типа ММ-01, защищающие птиц от столкновения с проводами ЛЭП. ММ-01 изготавливается из атмосферостойкого пластика и устанавливаются непосредственно на провод в пролетах между опорами ЛЭП;

– птицевозащитные устройства в виде защитных футляров для ВЛ ЛЭП, выполненных голым проводом и проводом СИП-3 с применением штыревых и подвесных изоляторов, например ПЗУ-6-10кВ-МЛ-2, ПЗУ КП-1Б (ООО «ИТС») и т.д.;

– устройства, создающие звуковой эффект: биометрический отпугиватель птиц Сапсан-3; Ultrason X4; Weitech WK-0020; ЭкоСнайпер LS-928, ЭкоСнайпер LS-987BF, громпушка Zon EL08, Торнадо ОП.01 и др. Например ультразвуковой отпугиватель ЭкоСнайпер LS-987BF, излучает ультразвук с переменной частотой 17-24 кГц; горизонтальный угол обзора 70 градусов, вертикальный 9 градусов; оснащен датчиком движения и включается только при появлении птицы на расстоянии меньше 12 метров. Остальное время прибор работает в режиме ожидания. Основным недостатком является, что он отпугивает не все виды птиц, например не эффективен против ворон. Биометрический отпугиватель птиц Weitech WK-0020 [3] воздействует на птиц, тревожными криками хищных пернатых, собачьим лаем и звуками ружейных выстрелов, плюс вспышки инфракрасного излучения;

– устройства визуального отпугивания, например «Филин», «Коршун», ДВО-Металл и др. ДВО-металл – это флюгер, к лопастям которого приклеены зеркала, отражающие солнечный свет в разных плоскостях и создающие «солнечных зайчиков», которые отпугивают птиц;

- специальные условия для гнездования птиц в не конфликтной зоне и/или дооснащение опор ЛЭП специальными гнездовыми платформами;
- замена воздушных линий на кабельные с прокладкой их в грунте, в местах массовой миграции птиц, особенно редких и охраняемых;
- вводы трансформаторов, защитных устройств и других электроустановок, выполненные неизолированным проводом должны быть защищены при помощи специальных птицевозрастных устройств из полимерных (диэлектрических) материалов, либо с помощью ленточной изоляции;
- долгосрочный мониторинг экологической обстановки в зоне расположения высоковольтных ВЛ электропередачи (ВЛЭ);
- конструктивные мероприятия: не использовать опоры ВЛ со штыревыми изоляторами; использовать самонесущий изолированный провод СИП-3; закрывать верхние отверстия полых стоек железобетонных опор наголовниками;
- ландшафтно-санитарных работы (рекультивация и расчистка трасс ВЛЭ, утилизация древесного мусора, препятствие формированию кормовых ресурсов), направленные на снижение численности видов животных, обитающих в зоне расположения ВЛЭ и др.

Для повышения эффективности рекомендуется комбинация способов и средств отпугивания, а также привлечение специалистов, обладающих необходимыми знаниями в области полевой биологии, экологии и имеющих необходимый опыт работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев А. П., Борисова С. Ю. Исследование влияния жизнедеятельности крупных птиц на статистику аварийных отключений ВЛ 110кВ // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. № 5. 2017. С. 9-16.
2. Птицевозрастка ВЛ нового поколения // Официальный сайт Южноуральской изоляторной компании ЮИК [Электронный ресурс] URL: <https://www.uik.ru/productions/171/armaturazasita/ustroistva-ot-ptits/>
3. Лучшие отпугиватели птиц в 2022 году [Электронный ресурс] URL: <https://www.kp.ru/expert/sad-i-ogorod/luchshie-otpugivateli-ptits/>
4. Мацына А. И., Замазкин А. Е. Рекомендации по обеспечению безопасности объектов животного мира при эксплуатации воздушных линий связи и электропередачи на территории Нижегородской области. Нижний Новгород: Экологический центр «Дронт». 2010. – 60 с.

УДК 330.34

Д. Р. МУРАТОВА  
*mdr574@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Ю. ПАШАЛИ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **НАПРАВЛЕНИЯ И СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА В РАМКАХ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА**

**Аннотация.** Для грамотного управления топливно-энергетическими ресурсами необходимо внедрять и реализовывать грамотный энергетический менеджмент в компании. В статье рассмотрены направления развития производства в рамках энергоменеджмента, стратегии энергопотребления ресурсов, а также представлен баланс электроэнергии России.

**Ключевые слова:** менеджмент, энергетический менеджмент, энергоменеджмент, политика энергосбережения, энергосбережение, энергопотребления, стратегия развития.

Проблема энергосбережения в последние года стоит наиболее остро, так как население планеты стало осознавать, что ресурсы исчерпаемы, значит в определенный момент наступит конец. Предприятия также понимают, что необходимо реализовывать политику экономии, в том числе и связи с возможностью снизить издержки предприятия и повысить его уровень социальной ответственности. Основываясь на данных факторах встал вопрос о необходимости внедрения энергетического менеджмента.

Основной задачей является стимулирование процессов, которые направлены на рациональное использование ресурсов компании, а также пересмотра и в случае необходимости их перераспределения. Для решения данных вопросов есть несколько направлений развития производства:

- внедрение эффективных технологий рационального распределения и использования энергии и ресурсов организации;
- внедрение и использование инновационного оборудования, которое позволит значительно снизить удельный расход различного вида энергии;
- финансирование и стимулирование к созданию инновационного оборудования;

– модернизация производства предприятия, в том числе в сфере технологического оснащения;

– расширение возможности переработки и использования вторичного сырья и топливно-энергетических ресурсов [1,2].

Важно понимать, что для реализации политики энергосбережения необходимо не просто заменить оборудование или внедрить новую технику. Нужно реализовывать грамотную систему управления имеющимися ресурсами в организации.

Есть несколько стратегий энергопотребления ресурсов, которые могут реализовываться в организации:

#### 1. Пассивная стратегия.

В рамках данной стратегии не реализуется долгосрочное планирование, которое происходит на регулярной основе, с постоянным учетом изменяющихся внешних и внутренних факторов. При данном подходе энергоменеджмент занимает наименее важную нишу и не является актуальным для предприятия.

#### 2. Стратегия максимизации прибыли в краткосрочном периоде.

Основой реализации данной стратегии является повышение срока окупаемости предприятия и высокой отдачи. Наиболее предпочтительным является использование решений и путей, эффективность которых уже была показана и доказана на практическом примере. То есть, происходит максимальный уход от проблем внедрения и дальнейшей реализации.

#### 3. Стратегия максимизации прибыли в долгосрочном периоде.

Реализация данной стратегии предполагает тщательную подготовку и четкое понимание рынка цен на ТЭР и энергоносители. Руководство предприятия принимает во внимание и к реализации проекты, которые предполагают длительный срок окупаемости. Большое внимание в компании уделяется концепции социальной ответственности.

#### 4. Стратегия реализации всех инвестиционно привлекательных мер.

В рамках этой стратегии основной целью и путем развития является применение возможных мер для оптимизации энергопотребления, а также поддержка проектов, которые направлены на данную цель. Принимаются проекты, которые направлены как на краткосрочную, так и на долгосрочную перспективу.

#### 5. Максимальная стратегия.

Данная стратегия предполагает всенаправленность. То есть, компании, которые придерживаются данной стратегии активно участвуют во всевозможных исследованиях, проектах, которые направлены на решение проблем энергосбережения и повышения ее эффективности, преимущественно с большим сроком окупаемости. Не менее важным является тот фактор, что для предприятия важно не только провести исследование, но и его реализация на практике и использование в реальном промышленном производстве и приведение к максимально рабочему виду, эффективность которого доказана и подкреплена результатами, показателями и документами.

#### 6. Функциональные стратегии.

В рамках реализации данной стратегии важным фактором является оценка имеющихся ресурсов и возможностей, а также принимаемых решений. То есть, в первую очередь необходимо провести оценку возможности внедрения альтернатив и различных условий, которые напрямую влияют на цену продукта, в том числе на факторы энергоэффективности и энергосбережения. Также, в данной стратегии большое внимание уделяется необходимости обучения персонала, которое направлено на повышение уровня компетенций в сфере энергоменеджмента, что актуально абсолютно для всех подразделений организации.

#### 7. Инвестиционная стратегия.

В данной стратегии инвестиционные проекты являются приоритетными и на их реализацию уделяется максимальное внимание. Инвестиционная стратегия разрабатывается на базе собственных имеющихся ресурсов и уровня развития. С учетом данных показателей определяется приоритетное направление

развития организации, для формирования системы энергоменеджмента. В рамках данной стратегии закладываются как долгосрочные планы развития, так и краткосрочные, которые необходимо реализовать [3].

Выбор стратегии зависит напрямую от руководителя, который сам определяет стратегию развития предприятия и необходимость внедрения энергоменеджмента, и модификации имеющихся бизнес-процессов. Однако, основной целью любой компании является получение, и максимизация прибыли, что можно достичь за счет минимизации издержек, в том числе реализуя политику энергетического менеджмента – энергосбережение [4].

Стоит отметить, что политика энергосбережения все чаще является приоритетной для функционирования компании. В соответствии с энергетическими трендами – баланс электроэнергии ЕЭС России имеет следующие показатели, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Баланс электроэнергии ЕЭС России

	Апрель 2022 (млрд кВт/ч)	% к апрелю 2021	Январь-апрель 2022	% к январю- апрелю 2021 (млрд кВт/ч)
Потребление	89,00	2,2%	392,40	2,2%
Производство, в том числе	90,80	2,5%	400,90	2,2%
ТЭС (тепловые)	49,00	2,2%	233,90	2,6%
ГЭС (гидравличе- ские)	16,40	-1,0%	62,90	-1,6%
АЭС (атомные)	19,10	5,6%	77,50	3,1%
ЭПП (промпред- приятия)	5,60	-0,1%	23,80	1,4%
ВИЭ (возобновля- емые)	0,70	75,0%	2,80	55,60%

Как можно увидеть рост потребления электроэнергии в России произошла на 2,2%. Это связано в первую очередь с тем, что значительно сократились объемы промышленного производства на фоне роста заболеваемости COVID-19. Также, негативное влияние на выработку энергии оказало то, что сместились сроки освобождения рек ото льда, что повлияло на работу ГЭС (-1,0%) [5].

При этом ключевыми проблемами энергетического менеджмента является преодоление низкого уровня энергоэффективности, которое оказывает влияние на компанию и производство.

Ограниченность ресурсов заставляет предприятия искать резервы и внедрять энергетический менеджмент и политику энергосбережения. В энергетическом менеджменте есть стратегии, из которых компания выбирает приоритетную для себя и направление производства и развития. Для обеспечения рационального использования имеющихся в компании ресурсов разрабатываются и внедряются мероприятия, которые направлены на систему ресурсосбережения.

Для перехода на новый уровень качества и внедрения продукции необходимо постоянно развивать и совершенствовать продукт и производства с использованием принципов, методов и стратегий. Предприятию нужно регулярно заниматься политикой социальной ответственности и энергосбережения, путем внедрения эффективного энергетического менеджмента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исмагилов Ф.Р., Бабилова Н.Л. Энергоэффективность и энергосбережение: учебное пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. Ун-т. – Уфа : РИК УГАТУ, 2017. – 119 с.
2. Гареев Р.И., Гареева М.Б. Энергосбережение и повышение энергоэффективности в электроэнергетической отрасли: учебное пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : УГАТУ, 2021 – 92 с
3. Система энергоменеджмента как инструмент снижения затрат на энергоресурсы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nipom.ru/blog/news/massmedia/sistema-energomenedzhmenta-kak-snizheniye-zatrat-na-energoresursy/?ysclid=17uji61af9432491368> (дата обращения 09.09.2022)
4. Внедрение системы энергоменеджмента в организации на основе стандарта ИСО 50001. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-sistemy-energomenedzhmenta-v-organizatsii-na-osnove-standarta-iso-50001/viewer> (дата обращения 09.09.2022)
5. Энергетические тренды. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo/2022/Energo\\_%E2%84%96\\_108.pdf?ysclid=17vrk5e9td212836008](https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo/2022/Energo_%E2%84%96_108.pdf?ysclid=17vrk5e9td212836008) (дата обращения 10.09.2022)

Д. Р. МУРАТОВА  
*mdr574@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Н. Л. БАБИКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

**Аннотация.** В любое время важнейшим элементом функционирования предприятия является наличие и использование необходимых ресурсов. Однако, с каждым годом все большее внимание приобретает реализация политики экологической безопасности. Одним из элементов является политика энергосбережения и реализация в организации энергетического менеджмента. В данной статье рассмотрены основные элементы и сущность энергоменеджмента. Представлены уровни внедрения и реализации энергоменеджмента, а также возможные показатели эффективности его функционирования.

**Ключевые слова:** менеджмент, энергетический менеджмент, энергоменеджмент, политика энергосбережения, эффект от реализации.

Важными элементами функционирования любой организации являются различные виды ресурсов, а также грамотное управление имеющимися ресурсами. Менеджмент – это система управления и комплекс мероприятий, реализация которых направлены на достижение определенной цели, повышение эффективности организации и отдельных ее элементов, с помощью рационального использования имеющихся ресурсов, с внедрением различных методов исследований и анализа [1].

Есть множество видов менеджмента, основные из которых:

- финансовый менеджмент;
- стратегический менеджмент;
- практический менеджмент;
- инновационный менеджмент;
- финансовый менеджмент.

Это только некоторые виды из огромного числа возможных. Также, на предприятии может внедряться энергетический менеджмент, который является важным элементом эффективного функционирования предприятия, преимущественно промышленного.



Энергетический менеджмент (энергомeneджмент) – это совокупность знаний, исследований, а также средств управления, которые направлены в первую очередь на снижение затрат и финансовых потерь на энергетические ресурсы [2].

Вопрос необходимости внедрения энергомeneджмента является крайне актуальным, в виду того, что в связи со значительным ростом тенденции социальной ответственности компаний и экологической безопасности деятельности предприятий и их производства образовалась проблема энергоэффективности. В соответствии с этим, все большее развитие и внедрение получают проекты, которые направлены на повышение энергоэффективности в компаниях, как на российском рынке, так и за рубежом.

Энергетический менеджмент может быть внедрен и реализован как на макро, так и на микроуровне:

- межгосударственный энергомeneджмент.

К данному уровню относятся вопросы рационального использования мировых ресурсов, которые находятся в общем доступе, поиска и получения инновационных. Стоит уточнить, что экологическая составляющая является не менее важной;

- внутригосударственный энергомeneджмент.

На данном уровне основной направленностью является вопрос независимости страны от других и решение задач в сфере энергетической безопасности страны;

- муниципальный энергомeneджмент.

Решаются вопросы по минимизации потребления и потерь топливно-энергетических ресурсов и при этом повышения эффективности действующих предприятий, и обеспечение комфортных условий для жителей города, а также экологической безопасности муниципалитета;

- отраслевой энергомeneджмент.

В рамках данного уровня рассматриваются задачи по повышению производительности промышленных предприятий, в рамках данной отрасли, при условии сохранения уровня потребляемых ресурсов;

- энергоменеджмент промышленного предприятия.

На этом уровне важным вопросом является снижение энергетических затрат и потребляемых организацией ресурсов, в рамках общего уровня издержек.

Важно понимать, что внедрение системы энергетического менеджмента на предприятии – это не единоразовое мероприятие. Необходимо регулярно проводить исследования и анализ эффективности, контролировать и выявлять несоответствия и отклонения, которые в дальнейшем необходимо ликвидировать. Внедрение может включать в себя множество этапов, основными из которых являются:

- принятие решения о необходимости разработки и внедрения системы энергоменеджмента и управления энергоэффективностью;
- ознакомление руководства предприятия со стандартом и их требованиями;
- создание рабочей группы;
- разработка Политики в рамках реализации системы энергосбережения;
- диагностика имеющейся на предприятии системы энергоменеджмента;
- проектирования системы энергоменеджмента;
- выделение перечня необходимых ресурсов, которые будут направлены на решение задач и достижения целей, составление сметы и определение источников финансирования;
- внедрение системы энергоменеджмента;
- анализ и оценка результатов внедрения, достижения целей и решения поставленных задач;
- оценка экономического эффекта от внедрения.

Внедрение системы энергетического менеджмента позволит достичь определенных установленных показателей эффективности, исходя из которых можно определить уровень достижения поставленной цели и оценить полученные результаты, с помощью как количественных, так и качественных показателей.

1. Организационный (управленческий) эффект:

- разработка корпоративных документов, которые регулируют энергосбережение;
- командообразование и синергетический эффект с связи с сбалансированным распределением функций в области энергосбережения;
- развитие корпоративной культуры и мотивации персонала за счет привлечения всех сотрудников к политике энергосбережения.

2. Финансовый эффект:

- улучшение финансовых показателей организации, в связи с повышенной экономией ресурсов;
- сокращение издержек предприятия, уменьшение количества брака и производственных и непредвиденных расходов;
- повышения количества привлекаемых инвесторов, за счет прозрачной политики энергосбережения.

3. Репутационный (экологический) эффект:

- повышение уровня имиджа, бренда и репутации за счет реализации энергосберегающей и энергоэффективной политики, как в глазах инвесторов, партнеров, так и со стороны государства и местного населения;
- увеличение узнаваемости компании и бренда как предприятия, который поддерживает и реализует политику энергосбережения и экологической составляющей.

4. Экономический эффект:

- экономия средств, которые направлены на закупку ресурсов, а также уменьшение планируемого уровня закупки на каждый год;

– снижение чувствительности предприятия к изменению уровня цен на энергоносители и необходимое оборудование.

#### 5. Технологический эффект:

– сокращение расхода энергетических ресурсов, а также уменьшение планируемого уровня;

– уменьшение потребляемого уровня энергетического ресурса в разрезе с уровнем потребления аналогичными компаниями и с ситуацией, которая была до [3,4].

Энергетический менеджмент является достаточно затратным и непросто реализуемым. Однако, его внедрение и полное функционирование позволит повысить множество показателей эффективности и достичь поставленных целей с наименьшими затратами. Реализации политики энергосбережения приводит к повышению показателей, как качественных, так и количественных, которые напрямую оказывают влияние на общий показатель результативности и КПД предприятия и производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исмагилов Ф.Р., Бабилова Н.Л. Энергоэффективность и энергосбережение: учебное пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. Ун-т. – Уфа : РИК УГАТУ, 2017. – 119 с.
2. Система энергоменеджмента как инструмент снижения затрат на энергоресурсы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nipom.ru/blog/news/massmedia/sistema-energomenedzhmenta-kak-snizheniye-zatrat-na-energoresursy/?ysclid=17uji61af9432491368> (дата обращения 09.09.2022)
3. Внедрение системы энергоменеджмента в организации на основе стандарта ИСО 50001. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-sistemy-energomenedzhmenta-v-organizatsii-na-osnove-standarta-iso-50001/viewer> (дата обращения 09.09.2022)
4. Преимущества внедрения системы энергоменеджмента на основе стандарта ISO 50001:2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria-stk.ru/mmqa/detail.php?ID=168379&ysclid=17ujpzd0jt172089839> (дата обращения 09.09.2022)

УДК 621.3

Д. Ш. МУСТАФИН

*mega.cool.2001@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Р. ФАРРАХОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ИМПУЛЬСНЫЕ DC-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

**Аннотация.** Рассмотрены виды DC-DC преобразователей, принцип действия, принципиальные схемы.

**Ключевые слова:** понижающий импульсный DC-DC преобразователь, повышающий импульсный DC-DC преобразователь, многофазный преобразователь, однофазный преобразователь.

Не смотря на век технологий, вечного двигателя так и не изобрели, но попытки повысить КПД в любом роде деятельности постоянно ведутся.

С развитием аппаратов, работающих на батарейном питании, востребованными стали преобразователи напряжения с повышенными выходными характеристиками. Это связано с тем, что с повышением рабочих токов и напряжений стандартные линейные преобразователи имеют большие тепловые потери, вследствие низкий КПД. На смену им пришли импульсные преобразователи. В работе рассмотрены виды импульсных DC-DC преобразователей, принцип действия, принципиальные схемы.

*Импульсные DC-DC преобразователи* – это преобразователи постоянного тока и напряжений, использующие широтно-импульсную модуляцию для регулирования выходного напряжения. Существуют два типа DC-DC преобразователей: повышающий и понижающий DC-DC преобразователи. Как понятно из названия один повышает напряжение, другой понижает. Кажется, на первый взгляд все просто, но как бы не так. Сейчас разберемся. Ниже представлена схема *понижающего DC-DC преобразователя*. Основным элементом в схеме является накопительный дроссель и ключ-транзистор, управляемый схемой стабилизацией. Принцип действия основывается на подаче напряжения отдельными порциями с паузой-ШИМ (широтно-импульсная модуляция. Дроссель в данном устройстве служит как накопитель энергии.

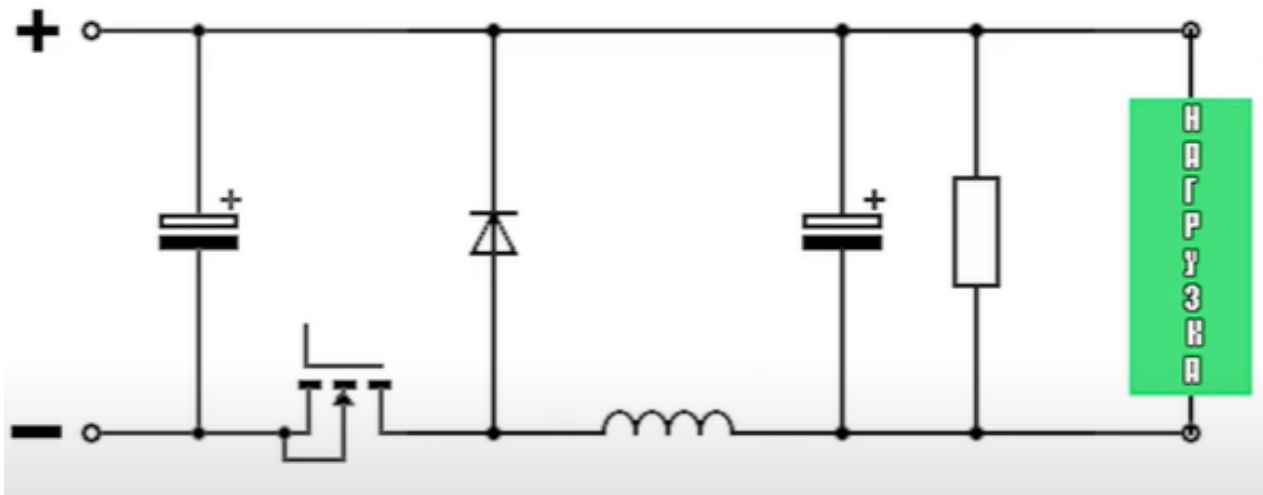


Рис. 1. Схема понижающего DC-DC преобразователя

Для начала разберемся с ШИМом. Основной характеристикой шим является отношение длительности открытого состояния ключа к общей длительности цикла или коэффициент заполнения  $D = \frac{t_1}{T}$ , где  $t_1$  – это время включенного состояния, а  $T$  – период. Путем изменения коэффициента заполнения происходит регулирование выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} D$ ,



Рис. 2. Импульсный сигнал, получаемый с помощью ШИМа

Рассмотрим принцип работы понижающегося преобразователя:

1) Ключ замкнут (транзистор открыт) ток течет следующим образом как показано на рисунке 3. Дроссель в первое время препятствует изменению тока в нагрузке, поэтому напряжение на выходе растет не сразу, а постепенно. Как

только напряжение на выходе достигнет определенного значения, схема стабилизации выключит транзистор.

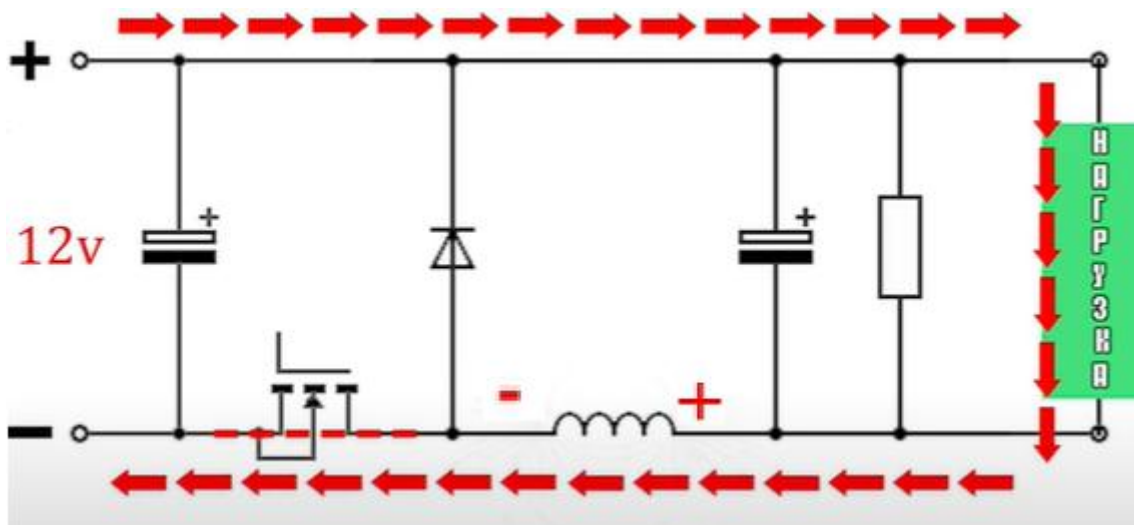


Рис. 3. Направление движения тока в момент замкнутого ключа

2) Ключ разомкнут

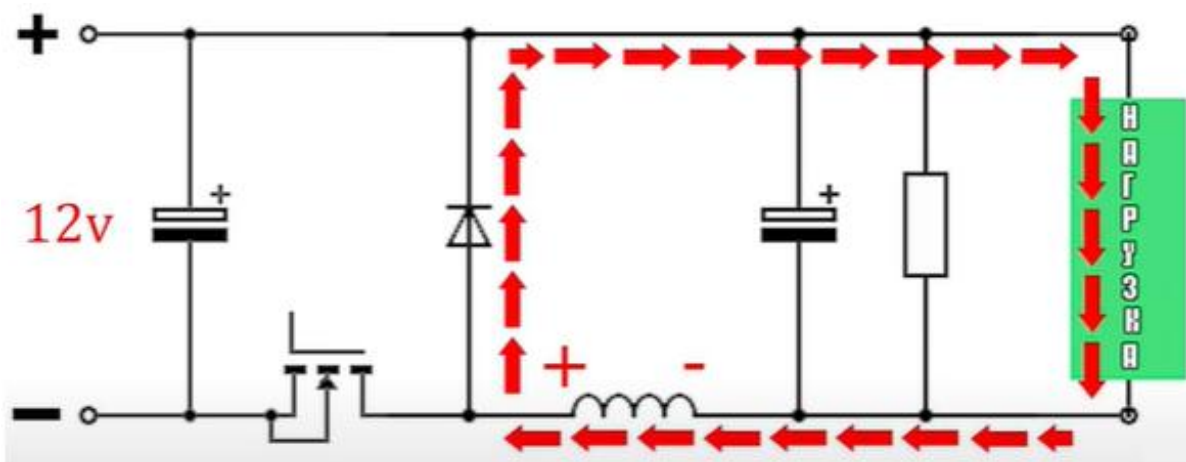


Рис. 4. Направление разрядного тока дросселя в момент разомкнутого ключа

Накопленная энергия дросселя преобразуется в электрический ток обратной полярности, который замыкается через диод на нагрузку как показано на рисунке 4. За счет накопительного конденсатора на нагрузке всегда присутствует ток.

Теперь рассмотрим *повышающий DC-DC преобразователь*.

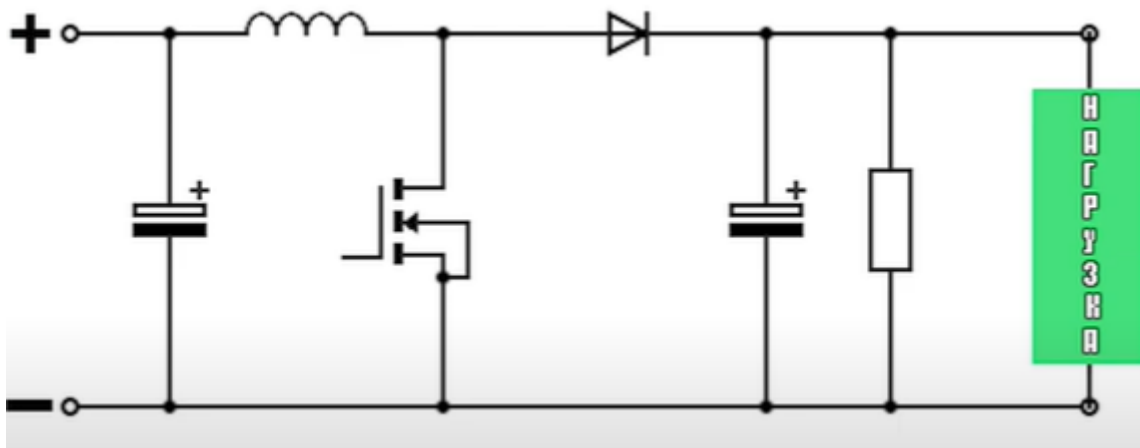


Рис. 5. Повышающий DC-DC преобразователь

Здесь диод подключен последовательно нагрузке. Процессы, происходящие в дросселе аналогичны понижающей схеме, но в силу иной схемы подключения обратный импульс дросселя суммируется с  $U_{ВХ}$ , таким образом происходит повышение  $U_{ВЫХ}$ . Рассмотрим принцип работы схемы:

1) Ключ замкнут, ток протекает через дроссель, как показано на рисунке 6, в нем накапливается энергия.

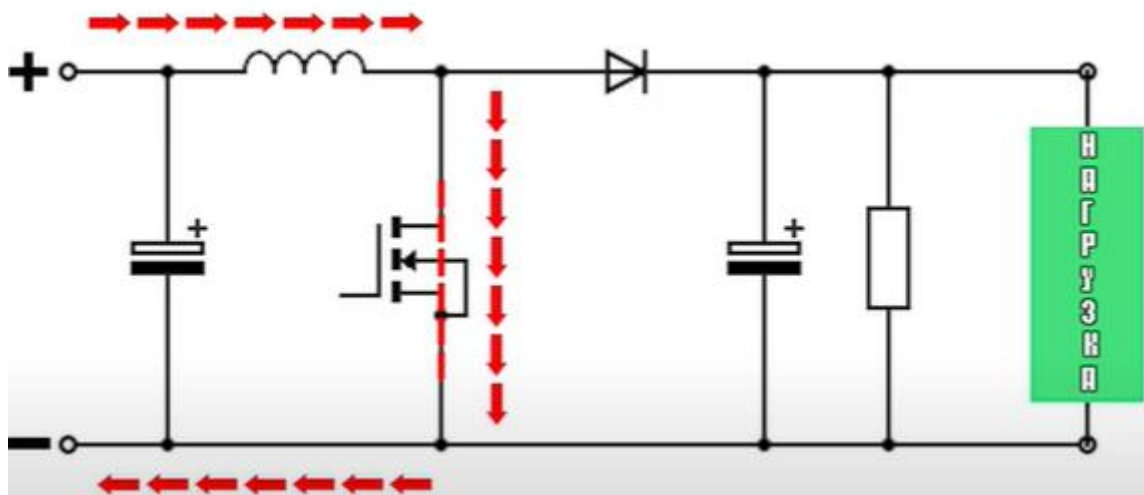


Рис. 6. Направление движения тока в момент замкнутого ключа

2) Ключ размыкается, накопленная энергия дросселя, в связи обратной полярности, складывается с энергией источника питания,  $U_{ВЫХ}$  увеличивается.

Диод нужен для того, чтобы конденсатор не разряжался через ключ, а разряжался только на нагрузку, поддерживая ток на ней.



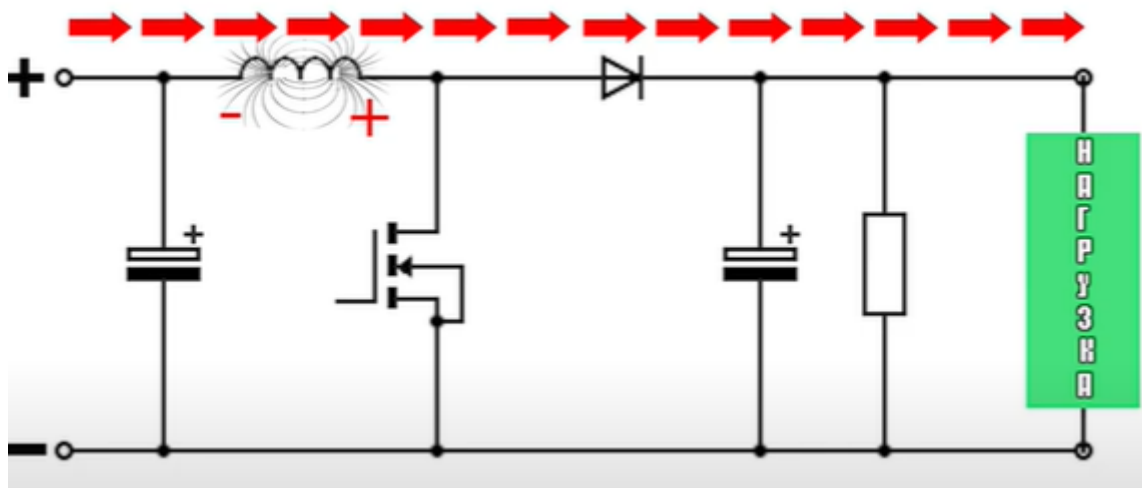


Рис. 7. Направление разрядного тока дросселя в момент разомкнутого ключа

Данные типы преобразователей являются однофазными, так как у них только 1 канал передачи. Как говорилось в самом начале, совершаются постоянные попытки повышения КПД, так и появились *многофазные DC-DC преобразователи*.

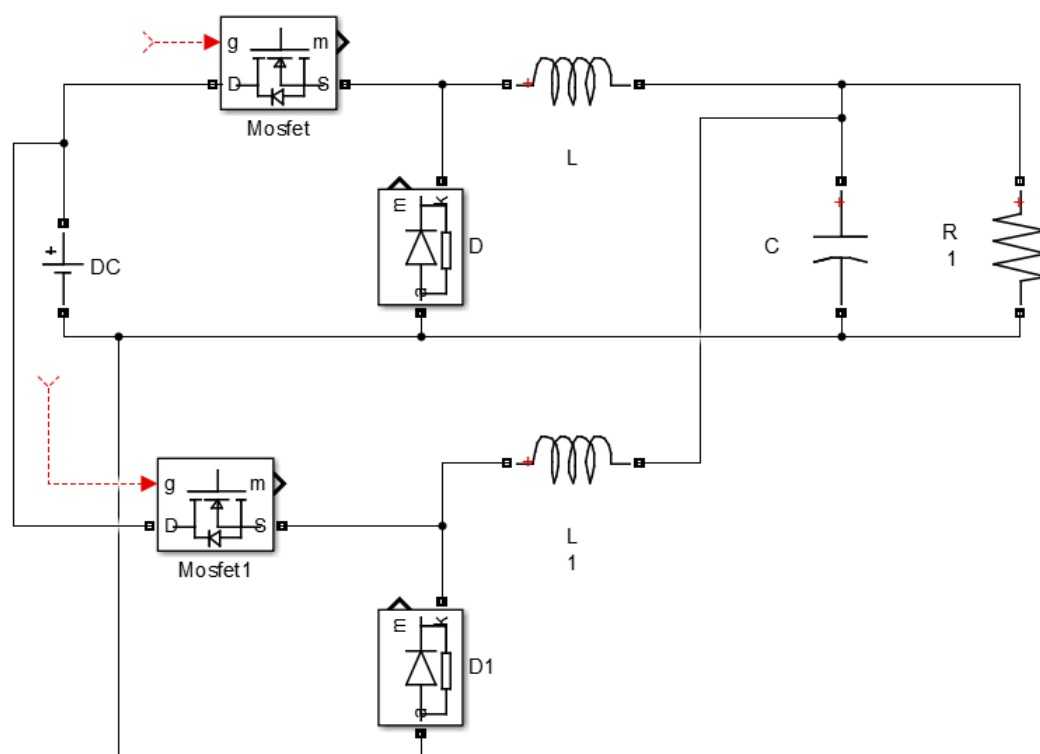


Рис. 8. Двухфазный DC-DC понижающий преобразователь

Различия с однофазным в том, что исходный сигнал делится между фазами и шим работает со сдвигом в зависимости от количества фаз. Преимущество

данной схемы это повышенный КПД, за счет уменьшения пульсаций дросселя и

$U_{ВЫХ}$ .

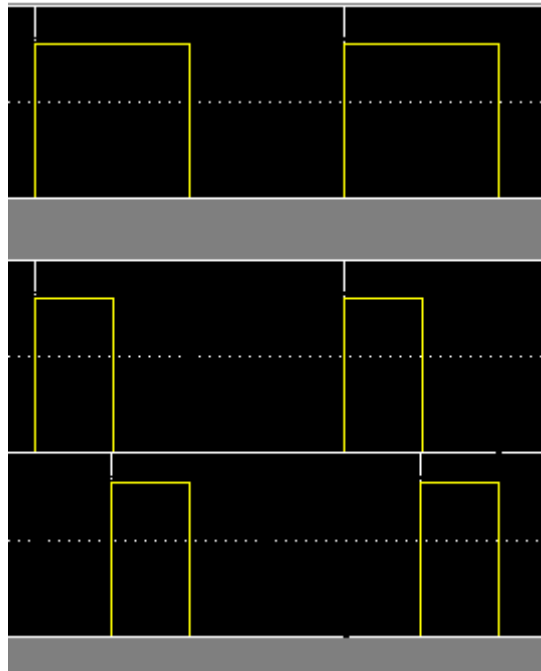


Рис. 9. Осциллограмма шим-сигнала двухфазного преобразователя

Прогресс не стоит на месте, по этой причине в скором времени стоит ожидать новые типы преобразователей с улучшенными выходными характеристиками, а там и до вечного двигателя не далеко.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семёнов Силовая Электроника от простого к сложному стр. 178-190
2. [https://www.lcard.ru/lexicon/linear\\_pulse\\_converter](https://www.lcard.ru/lexicon/linear_pulse_converter)
3. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационная\\_эра](https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационная_эра)
4. <http://www.electrosad.ru/files/BuckConverter.pdf>

А. А. НИКАНДРОВ, И. С. РАМАЗАНОВ, И. А. ГАЙНУЛЛИН  
*artjom-nikandrov2013@yandex.ru* , *ilyasramazanovwarman@yandex.ru*,  
*gainullin282@gmail.com*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. В. МАКСУДОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

**Аннотация.** Проведено компьютерное моделирование вопросы источника питания индукционного нагрева.

**Ключевые слова:** индукционный нагрев; индуктор; магнитное поле; концентратор.

На рисунке 1 показана компьютерная модель источника питания индукционного нагрева. Модель была сделана в программе «*Matlab*» с помощью библиотек *Simulink* и *PowerSystem*. Проведено моделирование таких элементов источника питания индукционного нагрева, как инверторный модуль, высокочастотный трансформатор и индуктор при их совместной работе в рамках индукционной установки.

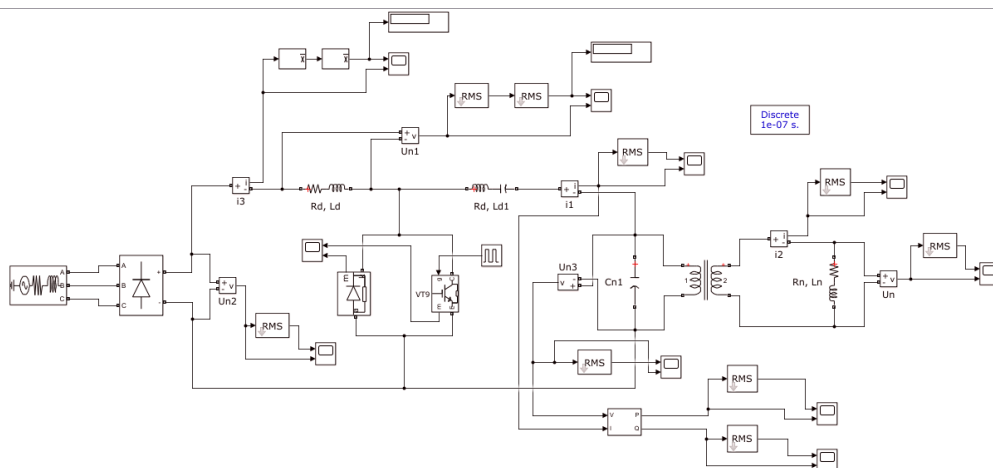


Рис. 1. Моделирование источника питания индукционного нагрева

В процессе моделирования были выявлены значения токов и напряжений элементов силовой части для расчетов источника питания индукционного нагрева. Данные исходные данные были использованы для расчетов элементов силовой части индукционной установки.

Также были получены графики элементов силовой части источника питания индукционного нагрева.

Исходные данные для построения модели были следующие:

Напряжение питающей сети  $U_{\phi} = 380 \text{ В}$ ;

Мощность системы:  $P = 12000 \text{ Вт}$ ;

Необходимая частоты системы:  $f = 66000 \text{ Гц}$ .

Рассмотрим осциллограммы высокочастотного трансформатора. На рисунке 2 приведен график действующего значения напряжения первичной обмотки высокочастотного трансформатора, которое составляет 300 В.

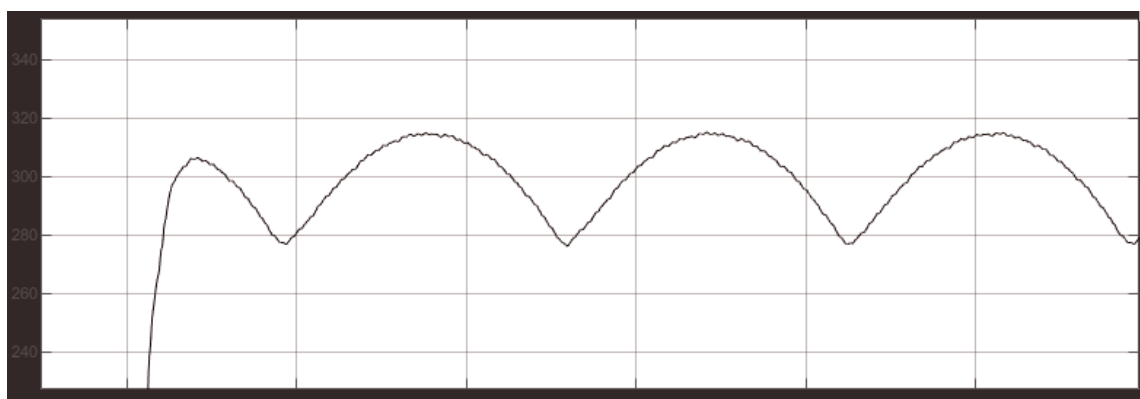


Рис. 2. Действующее значение напряжения в первичной обмотке высокочастотного трансформатора

На рисунке 3 приведен график мгновенных значений напряжения первичной обмотки высокочастотного трансформатора. Как видно, работа исследуемого инвертора, собранного по схеме несимметричного одноячейкового преобразователя обеспечивает близкую к синусоидальной форму выходного напряжения, подаваемого на первичную обмотку согласующего трансформатора.

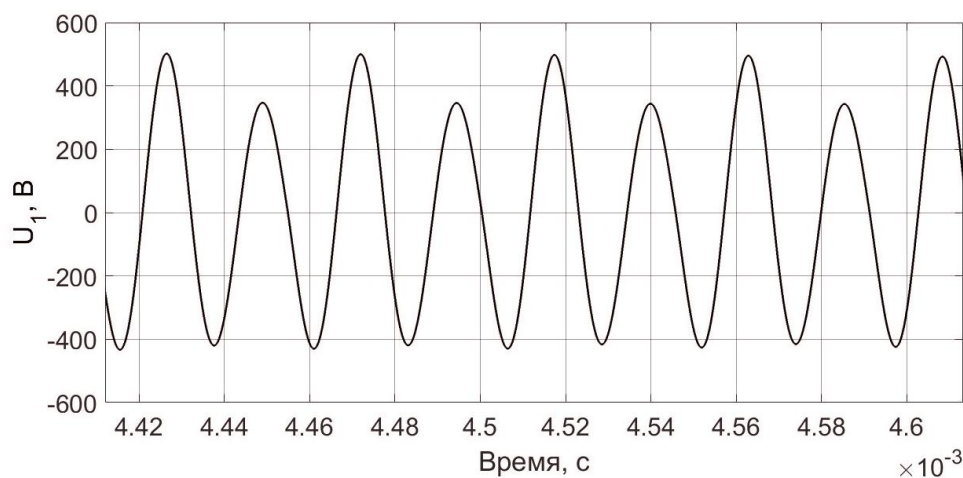


Рис. 3. Мгновенные значения напряжения в первичной обмотке высокочастотного трансформатора

На рисунок 4 приведен график действующего значения тока вторичной обмотки высокочастотного трансформатора, которое составляет 92 А.

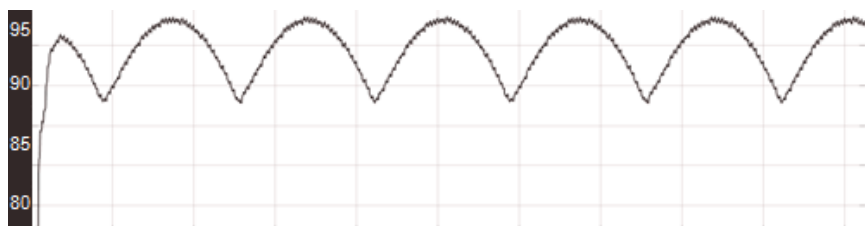


Рис. 4. Действующее значение тока в первичной обмотке высокочастотного трансформатора

На рисунке 5 приведен график мгновенных значений тока первичной обмотки высокочастотного трансформатора. На рисунке видно, что период изменения тока состоит из двух участков – синусоидального колебания и участка с протеканием постоянного тока. Это связано с тем, что сперва происходит перезаряд коммутирующего конденсатора через цепь вентилях и нагрузки в режиме синусоидальных колебаний при резонансной частоте, а затем при закрытых вентилях постоянный ток, потребляемый от выпрямителя через сглаживающий дроссель, обеспечивает дозаряд коммутирующего конденсатора до необходимого напряжения.

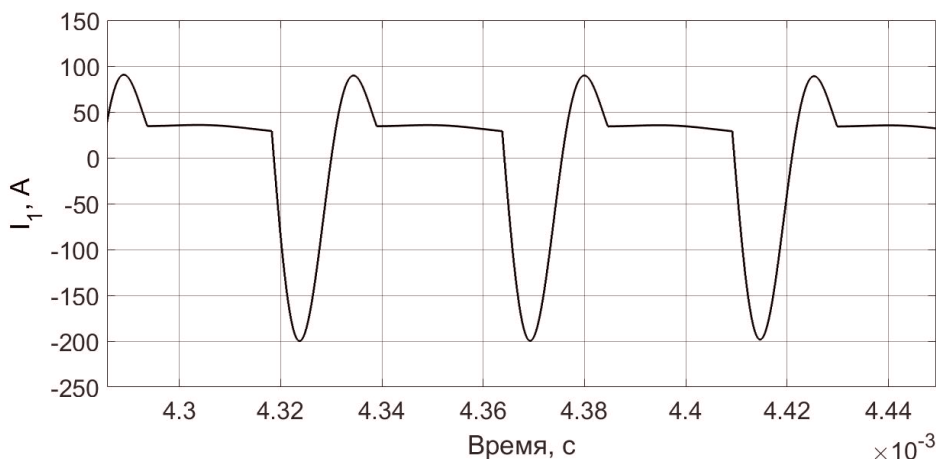


Рис. 5. Мгновенное значение тока в первичной обмотке высокочастотного трансформатора

На рис. 6 приведен график действующего значения тока вторичной обмотки высокочастотного трансформатора.

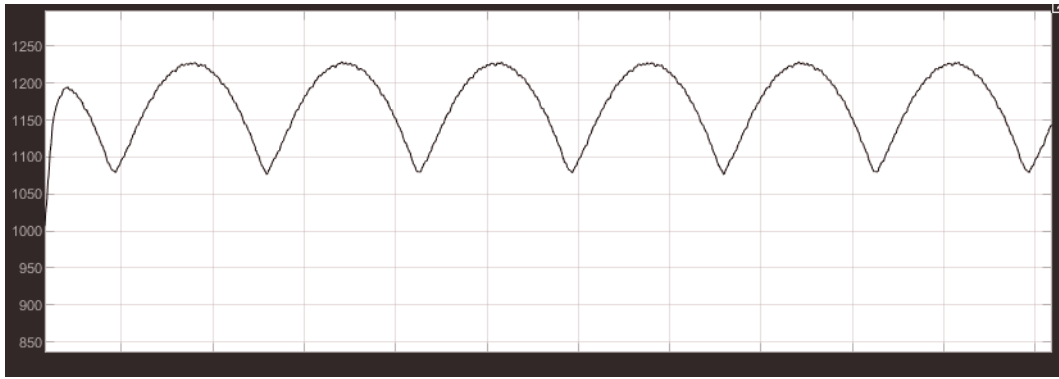


Рис. 6. Действующее значение тока во вторичной обмотке высокочастотного трансформатора

На рисунке 7 приведен график мгновенного значения тока вторичной обмотки высокочастотного трансформатора, равного току индуктора. График тока имеет близкую к синусоидальной форму вследствие работы инвертора резонансном режиме при резонансе токов в нагрузочном колебательном контуре.

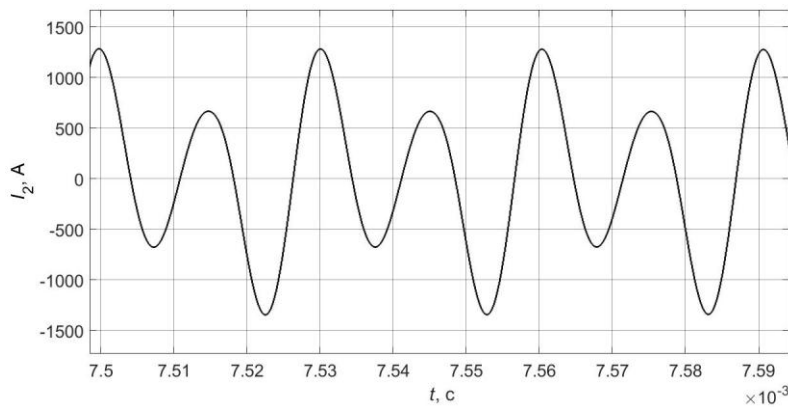


Рис. 7. Мгновенное значение тока во вторичной обмотке высокочастотного трансформатора

На рисунке 8 приведен график действующего значения напряжения вторичной обмотки высокочастотного трансформатора, которое составляет 100 В.

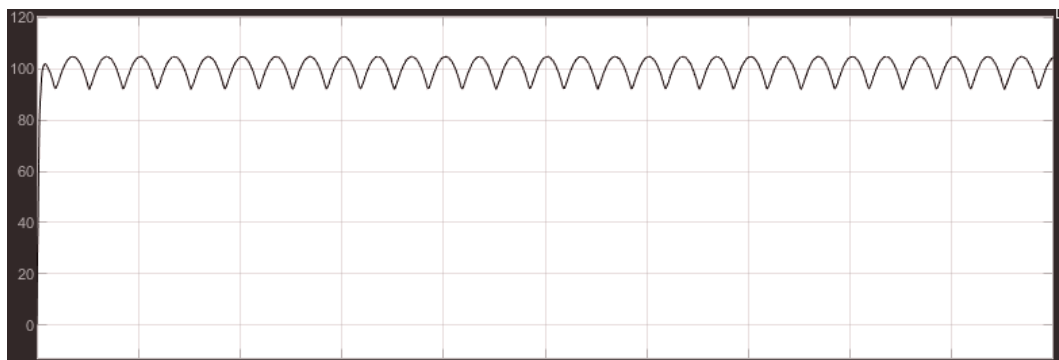


Рис. 8. Действующее значение напряжения во вторичной обмотке высокочастотного трансформатора

На рисунке 9 приведен график мгновенного значения напряжения во вторичной обмотке высокочастотного трансформатора. Как и в случае первичной обмотки, график имеет синусоидальную форму вследствие работы резонансного инвертора с параллельным резонансным нагрузочным контуром.

На рисунке 10 приведен график активной мощности на индукторе, которая соответствует заданному значению 12 кВт с колебаниями с частотой 300 Гц, связанными с работой трехфазного мостового выпрямителя.

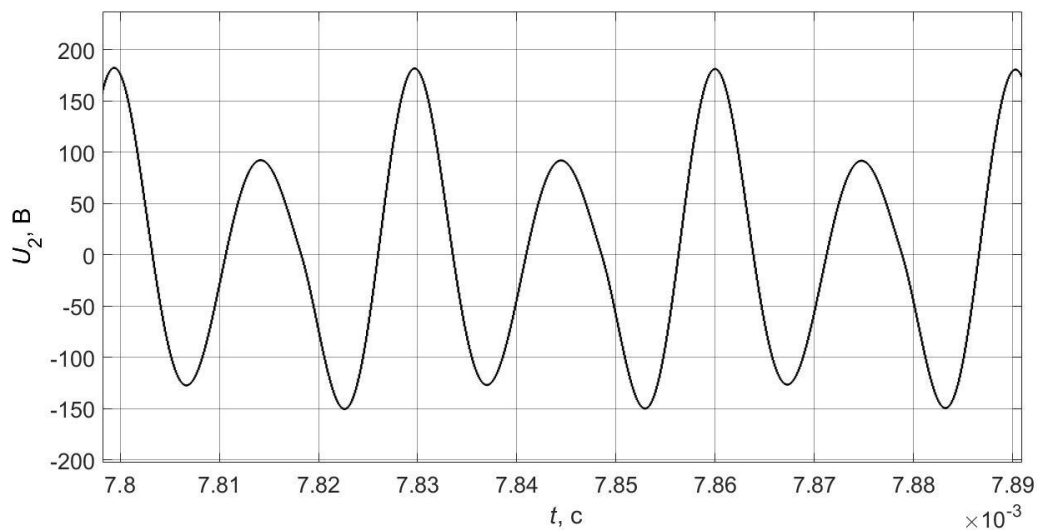


Рис. 9. Мгновенное значение напряжения во вторичной обмотке высокочастотного трансформатора

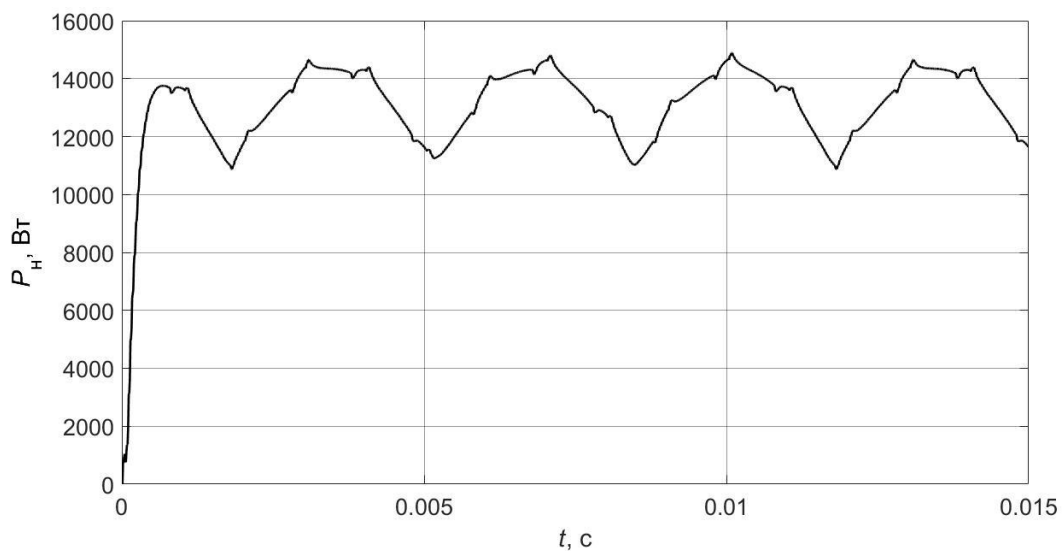


Рис. 10. Значение активной мощности на индукторе

На рисунке 11 приведена осциллограмма мгновенных значений тока и напряжения на *IGBT*-транзисторе, а на рисунке 12 приведена осциллограмма мгновенных значений тока и напряжения на обратном диоде.

На графиках видно, что при открытых вентилях ток имеет форму полупериодов синусоиды, причем обратный диод включается при закрытии транзистора. Затем при обоих закрытых вентилях на них возникает обратное напряжение, максимум которого составляет 1650 В. Соотношение между средним значением тока *IGBT*-транзистора и тока обратного диода зависит от величины выходного напряжения инвертора, при этом ток диода уменьшается с ростом такого напряжения и становится близким к нулю при напряжении  $\approx 400$  В.

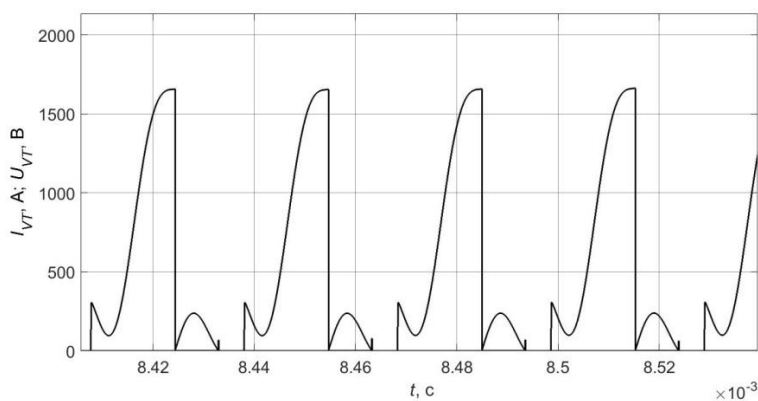


Рис. 11. Мгновенные значения тока и напряжения на транзисторе

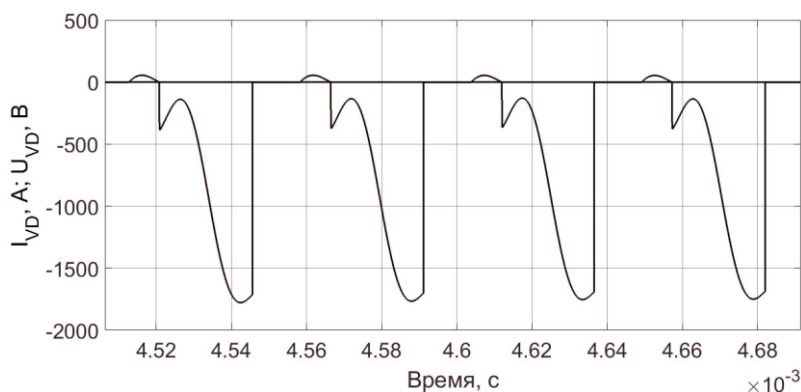


Рис. 12. Мгновенные значения тока и напряжения на диоде

Таким образом, в ходе моделирования были исследованы электромагнитные процессы в разрабатываемом источнике питания, выявлены необходимые исходные данные для расчета силовой части преобразователя для индукцион-



ного нагрева, сняты графики значений токов и напряжений элементов силовой части. По результатам моделирования на основе полученных осциллограмм были выбраны следующие элементы силовой цепи инвертора:

– Конденсатор компенсирующий пленочный с осевыми низкоиндуктивными выводами марки *E53.R60-183T20* емкостью 18 мкФ 3 шт. Размер одного конденсатора 115x115x60;

– *IGBT*-транзистор *STGB10NC60HDT4 IGBT N-CH* 600 В 20 А со встроенным диодом 3 шт;

– Обратный диод Д132-50, 3 шт.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунов А.С., Рогинская Л.Э., Таназлы И.Н. Расчет индукторов и экспериментальное исследование индукционных установок с согласующими трансформаторами // Вестник Чувашского университета. 2015. № 3. С. 26-39.
2. Roginskaya L. [et al.] Features of the calculation of inductors for heating cylindrical surfaces with an additional conductive medium with a slot // 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). 2020. P. 1-7.
3. Рогинская Л.Э., Горбунов А.С., Шило Д.В., Породинский И.А., Таназлы И.Н. Некоторые вопросы структурного и параметрического синтеза системы "Индуктор - нагреваемое тело" для технологии силицирования графитовых изделий // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2018. Т. 14. № 3. С. 12-21.
4. Элементы индукционных установок / А. К. Белкин и др.; под ред. Ю. М. Гусева. М.: Энергоатомиздат, 2007. 140 с.

УДК 621.31

А. А. НИКАНДРОВ, И. С. РАМАЗАНОВ, И. А. ГАЙНУЛЛИН  
*artjom-nikandrov2013@yandex.ru, ilyasramazanovwarman@yandex.ru,*  
*gainullin282@gmail.com*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. В. МАКСУДОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы генерирования высших гармоник нелинейной нагрузкой, их влияние на работу электроснабжения.

**Ключевые слова:** высшие гармоники; системы электроснабжения.

Современное развитие техники характеризуется широким распространением потребителей электрической энергии, обладающих нелинейными вольт-амперными характеристиками, что приводит к появлению высших гармоник в системе электроснабжения.

Источники искажения синусоидального напряжения могут быть сгруппированы по основным типам.

1. Силовое электронное оборудование: частотные приводы переменного тока, приводы постоянного тока, источники бесперебойного питания UPS, выпрямители, конвертеры, тиристорные системы, диодные мосты, плавильные печи высокой частоты;

2. Сварочные машины, дуговые печи, системы управления токами наложенной частоты, дуговые плавильные печи, сварочные автоматы; сварочные машины и дуговые сталеплавильные печи генерируют широкий и непрерывный спектр гармоник;

3. Трансформаторы с нелинейными характеристиками;

4. Статические преобразователи частоты, циклоконвертеры, выпрямительные установки;

5. Индукционные двигатели, генераторы, и т.д., индукционные двигатели могут генерировать гармоники из-за наличия зазора между статором и ротором,

особенно в сочетании с насыщением стали; при нормальной скорости вращения ротора частоты гармоник находятся в диапазоне 500-2000 Гц, но при запуске двигателя "пробегают" весь диапазон частот вплоть до установившегося значения; помехи, создаваемые двигателями, могут быть значительными при установке их в конце длинной линии низкого напряжения (более 1 км); в этих случаях были замерены гармоники величиной до 1%;

6. Бытовая техника: компьютеры, телевизоры, СВЧ-печи;

7. Вращающиеся машины — генераторы и двигатели, вращающееся поле которых не идеально синусоидально. При этом удается погасить гармоники первых порядков, которые более значительны, чем высшие гармоники и имеют меньшие значения и хуже распространяются по системе;

8. Насыщенные магнитные цепи, в первую очередь трансформаторы, в которых отношение между индукцией  $B$  и магнитным полем  $H$  нелинейно. Для намагничивающего тока в первом приближении можно принять, что основная гармоника преобладает, а другие гармоники незначительны. Однако при этом магнитный поток, а следовательно, и напряжение на зажимах не могут рассматриваться как синусоидальные;

9. Освещение (ДРЛ-ртутные лампы, люминесцентные лампы); газоразрядные осветительные устройства и электронные балласты

Любые сложные гармонические колебания, т.е. несинусоидальные кривые токов следует рассматривать таким образом, что они как бы состоят из совокупности некоторых гармонических колебаний различной частоты. Очевидно, что эти токи высших гармонических составляющих будут накладываться на основную гармонику. Вследствие этого происходит искажение формы кривой напряжения на элементах сети. Степень несинусоидальности напряжения этой сети характеризуется коэффициентом несинусоидальности напряжения.

Реальная часто встречающаяся форма напряжения показана на рис. 1, а идеальная, в сравнении с синусоидальной – на рис. 2

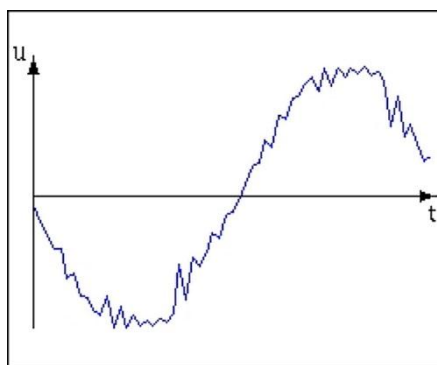


Рис. 1. Реальная форма напряжения при нелинейной нагрузке

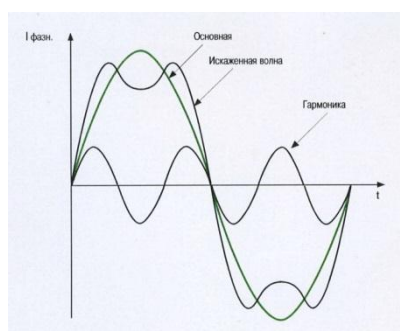


Рис. 2. Искажение синусоидального напряжения и появление гармонических составляющих

Резонансы в системах электроснабжения обычно рассматриваются применительно к конденсаторам, в частности к силовым конденсаторам. При превышении гармониками тока уровней, предельно допустимых для конденсаторов, последние не ухудшают свою работу, однако через некоторое время выходят из строя. Другой областью, где резонансы могут приводить к выходу из строя элементов оборудования, являются системы управления нагрузкой с помощью тональных частот. Для того чтобы предотвратить поглощение сигнала силовыми конденсаторами, их цепи разделяют настроенным последовательным фильтром. В случае местного резонанса гармоники тока в цепи силового конденсатора резко возрастают, что приводит к отказу настроенного конденсатора последовательного фильтра. Гармоники тока в линиях приводят к дополнительным потерям мощности и падению напряжения. В кабельных линиях гармоники напряжения увеличивают воздействие на диэлектрик пропорционально увеличению максимального значения амплитуды. Это, в свою очередь, увеличивает число повреждений кабеля и стоимость ремонтов. В линиях сверхвысо-

кого напряжения гармоники напряжения по той же причине могут вызывать увеличение потерь на корону.

Гармоники могут нарушать работу устройств защиты или ухудшать их характеристики. Характер нарушения зависит от принципа работы устройства. Цифровые реле и микропроцессорные устройства, основанные на анализе выборки данных или точки пересечения, особенно чувствительны к гармоникам. Чаще всего изменения характеристик несущественны. Большинство типов реле нормально работает при коэффициенте искажения до 20 %. Однако увеличение доли мощных преобразователей в сетях может в будущем изменить ситуацию.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике в вопросах и ответах: Учебное пособие / Ф. Р. Исмагилов, Д. В. Максудов. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; – Уфа: УГАТУ, 2005. – 85 с.
2. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий: 4-е изд., перераб. и доп. Москва Энергоатомиздат, 2000. 331 с.
3. Железко Ю.С. Потери электроэнергии и ее качество в электрических сетях. Обзорная информация. Сер. электрические сети и системы. Вып. 4. М.: Инфорэнерго, 1989. 64 с.
4. Гармонические искажения в электрических сетях. Выпуск 22. Техническая коллекция Schneider Electric.

УДК 621.3

Д. Ф. НОРКИН, Ю. В. ГРИГОРЬЕВА, А. Е. ГАМАЮНОВ  
*norkin01@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Ю. ПАШАЛИ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ МИКРОГЭС, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТУРИСТИЧЕСКОМ ПОХОДЕ**

**Аннотация.** Проведен обзор зарубежных конструкций микроГЭС, используемых в качестве источника электроэнергии в туристическом походе, отечественных аналогов не выявлено, установлено, что разработка подобных конструкций является актуальной научно-технической задачей.

**Ключевые слова:** микроГЭС, электроэнергия, туристический поход, портативное зарядное устройство.

Иногда, так хочется оторваться от городской суеты и уехать в туристический поход и посидеть у костра на берегу реки, но даже там многие люди не могут обойтись без различных электронных устройств и сталкиваются с проблемой их зарядки. Решить эту проблему можно с помощью применения микроГЭС.

Компания *Enomad* представляет портативное зарядное устройство (ПЗУ) *EStream* [1], генерирующее энергию за счет мощности водного потока, например, реки или ручья (рис. 1). ПЗУ оснащено аккумулятором на 6400 мАч; генератором, мощность 2,5÷5 Вт и модульным корпусом, защищенным от воды по стандарту *IPX8*, который позволяет длительно использовать устройство в воде на глубине более 1 м. Конструкция изделия разборная, внутри есть складные лопасти, а также *USB*-порты для последующей зарядки гаджетов. *EStream* весит 800 грамм и в собранном виде имеет габариты 24,5×6,5 см. Достоинства данной конструкции в том, что она оснащена съемным аккумулятором и нет необходимости ее мониторинга во время эксплуатации. Недостаток в том, что нужно ждать зарядки аккумулятора 4,5 часа, прежде чем начать заряжать гаджет.



Рис. 1. Внешний вид портативного зарядного устройства *EStream*

Известна также другая конструкция походного мини-генератора *Waterlily Micro Turbine*, производства компании *Seaformatics* [2], который работает на энергии ветра и/или воды, или при ручном вращении. Внешний вид приведен на рис. 2. Вес мини-генератора 800 грамм, мощность 25 Вт (при скорости потока воды 7,2 км/ч), рабочие скорости потока 1÷11 км/ч. Для повышения производительности мини-генератор можно прикрепить к катеру или лодке. Недостаток – отсутствие встроенного аккумулятора.



Рис. 2. Внешний вид походного мини-генератора

Известна модель, сочетающая в себе все лучшее вышеперечисленных микроГЭС, под названием *Blue Freedom* производства компании *Blue Buffalo Company* [3]. *Blue Freedom* состоит из двух компонентов: мини-турбины диаметром 12 см и базовой станции, внешний вид приведен на рис. 3.

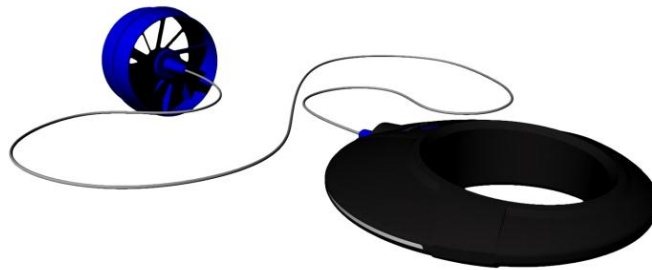


Рис. 3. Внешний вид *Blue Freedom*

Мини-турбина помещается в реку или, скажем, водопад, при помощи проводного соединения подключается к базовой станции на берегу. Этот модуль содержит аккумулятор емкостью 5000 мАч для накопления энергии, а также порты *USB* для подзарядки гаджетов. Достоинства: не требует какого-то определенного расположения по отношению к потоку; может функционировать при температурах от  $5\div 40^{\circ}\text{C}$  на высоте до 5 тыс. метров над уровнем моря. При скорости водного потока в 1,2 м/с внутренний аккумулятор может быть заряжен за три–четыре часа. В *Blue Freedom* встроен светодиодный блок, выполняющий функции светильника в темное время суток.

Проведен обзор зарубежных конструкций микроГЭС, используемых в качестве источника электроэнергии в туристическом походе, отечественных аналогов не выявлено, установлено, что разработка подобных конструкций походных микроГЭС и электромеханических преобразователей энергии к ним является актуальной научно-технической задачей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://24gadget.ru/1161063413-pohodnaya-gidroelektrostantsiya-dlya-zaryadki-gadzhetrov-11-foto-video.html>
2. <https://delta-eco.ru/drugoe/portativnaya-turbina.html>
3. <https://24gadget.ru/1161060851-karmannaya-ges-dlya-zaryadki-mobilnyh-ustroystv-6-foto-video.html>



УДК 621.3

Н. А. ПАХОМОВ

*nikpa2001@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Ю. ПАШАЛИ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ АСИНХРОННЫХ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИВОДОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ**

**Аннотация.** Анализ конструкций асинхронных тяговых двигателей и их применения в приводах электромобилей.

**Ключевые слова:** асинхронные тяговые электродвигатели, электромобили.

В настоящее время электромобили получают все большее применение. Электромобилей в мире на данный момент насчитывается около 2 млн. Преимуществами электромобилей являются [1]: экономичность; простота конструкции; простота в обслуживании и надежность; бесшумная работа; экологичность и т.д. В современных электромобилях, в качестве тягового используются индукционный или асинхронный двигатель. Устанавливаемые на электромобили разные типы электродвигателей отличаются типом питания и управления.

Одним из основных требований, предъявляемых к тяговому двигателю (ТД), устанавливаемому на электромобили, является мощность, которая может достигать от нескольких десятков до нескольких сотен кВт. Преимущества ТД [1]: максимальный крутящий момент (с момента пуска ТД и постоянен при любых оборотах); КПД ТД достигает 90÷95%; простота обслуживания; надежность; небольшие массогабаритные показатели; может работать как генератор (в режиме рекуперации); его скорость зависит от частоты переменного тока, что позволяет изменять скорость электромобиля и т.д. Недостатком является отсутствие силовой электроники отечественного производства для систем управления ТД.

На протяжении десятилетий асинхронный электродвигатель (АД) остается наиболее популярным типом современного тягового электродвигателя. Ос-

новное свое применение он нашел на железной дороге и метрополитене. В последнее время в России он распространился на автобусы и трамваи, а в качестве тягового двигателя электромобилей применяется в линейке автомобилей *Tesla Motors* (*Tesla Model S* и др.), АвтоВАЗ (*Ellada, Lada Vesta EV*)[2], и *Mii Electric* (*Seat Mii Electric*).

Рассмотрим ТД и схемы электромобилей *Lada Vesta EV*[4] и *Seat Mii Electric*[3] показаны на рис. 1,2. В таблице 1. приведена сравнительная оценка технических характеристик отечественных и зарубежных транспортных средств.



Рис. 1. Схема расположения силовой установки электромобиле *Lada Vesta EV*

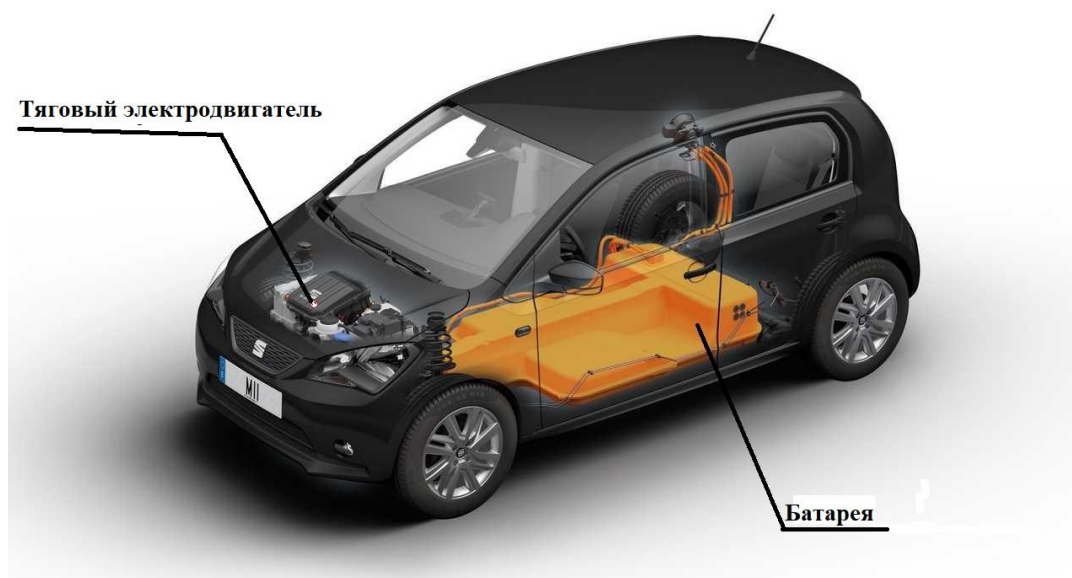


Рис. 2. Схема расположения силовой установки *Seat Mii Electric*

Таблица 1

## Техническая характеристика транспортных средств

Марка автомобиля	<i>Lada Vesta EV</i>	<i>Seat Mii Electric</i>
Производитель автомобиля	АвтоВАЗ	<i>Mia electric</i>
Марка тягового двигателя	<i>MES-200-330</i>	<i>LSMV 200L</i>
Производитель тягового двигателя	<i>MES</i>	<i>Leroy Somer</i>
Номинальная мощность тягового двигателя, кВт	40	37
Номинальный момент тягового двигателя, Н×м	130	97,3
Номинальная частота вращения тягового двигателя, об/мин	2850	2943
Максимальная скорость тягового двигателя, об/мин	9 000	8 000
Масса тягового двигателя, кг	99	182
Охлаждение ТД	Принудительное жидкостное с насосом	Воздушное с принудительной вентиляцией
Время разгона до 100 км/ч, с	15,5	12,3
Максимальная скорость, км/ч	140	130

В таблице 2 приведены требования к рассматриваемым в таблице 1 двигателям.

Таблица 2

## Требования к рассматриваемым в таблице 1 двигателям

Основные требования	Электродвигатель <i>MES-200-330</i>	Электродвигатель <i>LCMV 200L</i>
<b>Функциональные требования</b>		
1. Пределы плавного изменения скорости движения от 3 до 70 км/ч	Обуславливается изменением частоты тока	Обуславливается изменением частоты тока
2. Стабильность поддержания водителем скорости от 20 до 60 км/ч не меньше 10%	Обеспечивается постоянной крутящего момента	Обеспечивается постоянной крутящего момента
3. Плавное управления тяговым моментом при трогании и разгоне	Обеспечивается работой частотного преобразователя	Обеспечивается работой частотного преобразователя
4. Максимальное использование возможностей рекуперации энергии при торможении или движении под углом	Обеспечивается функция рекуперации ТД	Обеспечивается функция рекуперации ТД
<b>Конструктивные требования</b>		
1. Узлы и агрегаты ТД должны выполняться в виде конструктивно-законченных модулей, легко заменяемых в процессе эксплуатации	Электродвигатель установлен в модуле с редуктором. Модуль электронного блока управления двигателя <i>TIM-600</i>	Электродвигатель установлен в модуле с редуктором. Модуль электронного блока управления ТД
2. Агрегаты электропривода должны иметь защиту от проникновения посторонних тел и воды	Используется защита корпуса для модулей	Используется защита корпуса для модулей
<b>Эксплуатационные требования</b>		
1. Работоспособность электропривода должна обеспечиваться при температуре окружающей среды от $-40^{\circ}\text{C}$ до $+40^{\circ}\text{C}$	Применение жидкостного охлаждения с электронасосом	Воздушное с принудительной вентиляцией

Таким образом, провели анализ конструкций асинхронных тяговых двигателей, выявили их достоинства и недостатки. Анализ вышеприведенных таблиц показал, что двигатель *MES-200-330* при меньшей массе развивает больший крутящий момент и имеет большую максимальную скорость вращения, поэтому за прототип разработки, планируемой автором статьи, выбираем электродвигатель *MES-200-330* установленный на автомобиле *Lada Vesta EV*.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафиуллин Р.Н., Шаряков В.А., Резниченко В.В. Системы тягового электропривода транспортных средств: учебное пособие – Москва. Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 364 с.
2. URL:// <https://seat-avto.ru/tehnicheskie-harakteristiki-mii-electric.html> (Дата обращения: 11.09.22).
3. URL:// <https://www.lada.ru/>(Дата обращения: 09.09.22) .
4. URL:// <https://ev-avto.ru/electricheskie/lada-vesta-ev> (Дата обращения: 10.09.22).

УДК 331.101.3

В. Н. ПЕТРЯЕВ, Д. Ю. ПАШАЛИ  
*iceslava@mail.ru*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ: ВНЕДРЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ И РАБОТА С ПЕРСОНАЛОМ**

**Аннотация.** Авторами рассмотрены наиболее перспективные энергосберегающие мероприятия и методы комплексной работы с персоналом нефтяных компаний и его обучение основам энергосбережения, с учетом специфики возраста.

**Ключевые слова:** энергоменеджмент, энергосберегающее мероприятие, модернизация, персонал

Снижение нефтеперерабатывающими предприятиями потребления топлива, электрической и тепловой энергии благотворно сказывается как на энергосистеме города, в котором это предприятие расположено, так и на экологической обстановке в зоне влияния предприятия. Высокая энергоемкость технологических процессов нефтеперерабатывающего предприятия при отсутствии энергосбережения ведет не просто к избыточным затратам, но и к определенным техническим рискам, например, пиковые перегрузки сетей, трансформаторов и производственного оборудования и др. Внедрение энергосберегающих мероприятий, в блоках логистики, переработки и сбыта нефтепродуктов, позволяет достичь значительного экономического эффекта.

Наиболее перспективными энергосберегающими мероприятиями, с точки зрения авторов, являются:

– внедрение цифровых технологий, таких как работа с большими данными (например, при долгосрочном планировании энергопотребления и т.д), внедрение робототизированных систем, аддитивных технологий и др.;

– разработка комплексов бездатчикового управления процессом добычи нефти на основе цифровой модели насосной установки;

– модернизация оборудования, при этом особое внимание нужно обратить на печи установок первичной переработки нефти, отличающиеся высоким энергопотреблением;

– внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП и СУУТП);

– обновление системы отопления и освещения;

– применение систем мониторинга энергоэффективности и т.д.

Условием каждой эффективной системы энергоменеджмента является не только автоматизация и внедрение новых энергосберегающих технологий, но и комплексная работа с персоналом, его обучение основам энергосбережения, так как эти два направления дополняют друг и друга, позволяя в итоге получить значительный синергетический эффект.

Обучение персонала должно быть непрерывным процессом [1], целью которого является формирование определенного уровня профессиональных знаний, умений и навыков для осуществления процессов управления энергосбережением производства и повышением энергоэффективности.

Для повышения мотивации персонала необходимо обозначить, что энергосбережение это механизм позволяющий повысить размер прибыли компании, ее экономическую эффективность, а следовательно и уровень материального обеспечения оплаты труда сотрудников.

При этом следует отметить, что подходы к обучению технологиям энергоэффективности различаются в зависимости от возраста сотрудников, старшее поколение предпочитает стандартные программы, с личным общением с преподавателем. У старшего поколения мотивация к обучению сохраняется на высоком уровне при понимании ближайшей перспективы применения новых знаний на практике, так если результат обучения неочевиден или отсрочен, то это сильный демотиватор, который может быстро распространиться в группе слушателей программы. С каждым слушателем, направляемым на обучение, должна быть проведена специальная беседа и психодиагностическая работа по выявлению индивидуальных профессиональных целей [2].

Для молодежи наиболее интересны игровые методы обучения (онлайн геймификация) [3] и деловые игры [4], так как они способствуют повышению вовлеченности в обучающий процесс, легкости усвоения материала и лучшему запоминанию, а также готовности повторить материал. Например, «Умный город» (ООО «Рукарта») это стратегическая игра, в которой в «реальном времени» необходимо выстраивать город, проходя этапы развития от существующих технологий и методов управления энергоресурсами к современным инновационным технологиям и методам управления энергоресурсами. Игроку будут доступны объекты промышленности: фабрики и заводы по добыче и переработки ресурсов, здания по генерации энергии и т.д.

Еще одним методом обучения персонала является обучение без отрыва от работы, оно реализуется за счет интеграции нефтеперерабатывающих компаний и образовательных организаций с целью проведения стажировок и обмена опытом внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности.

При этом, значимость обучения персонала технологиям энергоэффективности заключается в том, что, благодаря ему возможно формирование роста эффективности трудовой деятельности персонала за счет более грамотного и рационального использования энергетических ресурсов предприятия, повышение уровня профессиональных компетенций персонала, стимулирование развития компании по направлению «бережливого производства» и создание условий для оптимизации себестоимости производства и продаж продукции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суворова А. А. Значимость обучения персонала технологиям энергоэффективности // *Journal of Economy and Business*. vol. 5-2 (63). 2020. P. 189-193. [Электронный ресурс] URL: <file:///C:/Users/Diana/Downloads/znachimost-obucheniya-personala-tehnologiyam-energoeffektivnosti.pdf>
2. Исмагилов Ф. Р., Пашали Д. Ю., Уразбахтин Р. Н., Гайсин М. Х., Зубарев Н. В. Опыт проведения программ повышения квалификации старшего поколения сотрудников машиностроительных предприятий в рамках реализации концепции цифровой экономики // *Современные проблемы науки и образования*. – 2019. – № 6. [Электронный ресурс] URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=29331>
3. Мельничук А. В. Игровые методы в обучении персонала // *Материалы Афанасьевских чтений*. – 2016. – №1 (14). С.12-16.
4. Обучение персонала на деловых играх: преимущества и методики. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hr-director.ru/article/66492-qqq-16-m12-obuchenie-personala-na-delovyh-igrah>

УДК 621.31

И. С. РАМАЗАНОВ, А. А. НИКАНДРОВ, И. А. ГАЙНУЛЛИН  
*ilyasramazanovwarman@yandex.ru, artjom-nikandrov2013@yandex.ru,*  
*gainullin282@gmail.com*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. В. МАКСУДОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВАНИИ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ**

**Аннотация.** Рассмотрены принципы измерения частичных разрядов для определения и анализа технического состояния изоляции

**Ключевые слова:** частичные разряды, электрооборудование, состояние изоляции

Частичные разряды – это совокупность возникающих локальных концентраций электрической напряженности поля в изоляции, превышающую электрическую прочность изоляции в отдельных местах.

Частичные разряды представляют собой импульсы тока, продолжительность которых составляет не более  $10^{-6}$  с. Если же изоляция является твердой, то импульсы тока частичных разрядов могут длиться  $10^{-11}$  с.

Появление частичных разрядов сопровождается протеканием импульсного тока через изоляцию испытуемого объекта, находящегося в цепи схемы регистрации частичных разрядов. Единичные частичные разряды регистрируются при измерениях в виде импульса тока или импульса напряжения в зависимости от характеристик устройства присоединения схемы регистрации, подключенного к испытуемому объекту.

При анализе частичных разрядов используют термин “интенсивность”, имеется в виду количественную сторону процесса частичных разрядов и не обозначается, какой пример при этом учитывается. Термин “интенсивность” отражает количественную сторону процесса частичных разрядов, если одновременно указывается одна из характеристик, например, число импульсов частичных разрядов, средний ток, мощность и др. Употребление термина “интенсивность” без указания какой-либо характеристики частичных разрядов некорректно допустимо только в контексте анализа процесса частичных разрядов по



каким-то конкретным характеристикам, например, если речь идет об анализе числа импульсов частичных разрядов или их мощности.

Техническая изоляция высоковольтного оборудования имеет неоднородную структуру, обусловленную применением электроизоляционных материалов с различными диэлектрическими свойствами или внесением включений, имеющих свойства, отличающиеся от

таковых основной изоляции, при изготовлении электроизоляционных систем или в условиях эксплуатации оборудования. Различия в диэлектрических свойствах обуславливают перераспределение электрического поля и образование участков изоляции с повышенной напряженностью электрического поля. Следовательно, неоднородность изоляции вызывает неоднородность электрического поля. На повышение напряженности поля влияют также острые кромки электродов высоковольтных конструкций.

Изменение свойств изоляции и ее разрушение в процессе эксплуатации оборудования является результатом комплексного воздействия электрического поля, температуры, увлажнения, вибрации, радиации, химически агрессивных продуктов. При этом интенсивность воздействия каждого фактора может быть различной и в зависимости от этого могут изменяться в худшую сторону свойства изоляции. Имея экспериментальные сведения о влиянии каждого фактора, разработчики оборудования проектируют устройства с расчетным сроком службы, так называемым эксплуатационным ресурсом. Значение этого ресурса содержит определенную степень надежности, т.е. является вероятностным. Если принятая надежность ресурса имеет вероятность 0,999, то вероятность 0,001 определяет возможность влияния неучтенных факторов.

Определения, понятия и термины характеристик ЧР, применяемых при оценке состояния изоляции.

1. *Кажущийся заряд* – абсолютное значение такого заряда,

при мгновенном введении которого на электроды испытуемого объекта напряжение между его электродами кратковременно изменится так же, как изменилось бы при ЧР.

2. *Временной интервал одного цикла измерения*, или число периодов воздействующего напряжения, - промежуток времени непрерывного измерения ЧР, выраженный в секундах или в числе периодов воздействующего напряжения.

3. *Регулярность возникновения* – отношение числа периодов воздействующего напряжения, в которых зарегистрированы ЧР с кажущимся зарядом  $q$  и более, к общему числу периодов воздействующего напряжения за интервал времени.

4. *Момент времени появления импульса*, или фазовый угол появления импульса ЧР - значение интервала времени от нуля предшествующей положительной полуволны до момента образования импульса ЧР в периоде воздействующего на изоляцию переменного напряжения, или угол между нулем предшествующей положительной полуволны и импульсом ЧР.

5. *Частота повторения импульсов* – отношение между общим числом импульсов ЧР, зарегистрированных в определенном временном интервале, и продолжительностью этого интервала.

6. *Частота следования импульсов* – число импульсов ЧР за секунду.

7. *Средний ток* – сумма абсолютных значений кажущихся зарядов ЧР от минимального значения регистрируемого заряда до максимального, за интервал времени, деленная на этот интервал.

8. *Мощность* – сумма произведений значений кажущихся зарядов ЧР от минимального регистрируемого заряда до его максимального, за интервал времени, на мгновенные значения воздействующего на изоляцию напряжения в момент образования соответствующих ЧР, деленная на интервал времени измерения.

9. *Квадратичный параметр* – сумма квадратов абсолютных значений кажущихся зарядов ЧР от минимального значения заряда до максимального, за интервал времени, деленная на значение интервала времени.

10. *Распределение количества импульсов  $N$  по значениям их кажущихся зарядов* – зависимость количества ЧР от кажущегося заряда в диапазоне измерения, зарегистрированных за интервал времени.

11. *Распределение значений кажущихся зарядов  $q$  по фазе  $j$  действующего напряжения* – зависимость значений кажущихся зарядов от  $U_0$  до  $U_{\max}$ , зарегистрированных за время, от соответствующих фазовых углов их появления в периоде действующего напряжения.

12. *Распределение числа импульсов  $N$  по их кажущимся зарядам  $q$  и фазе  $\phi$  действующего напряжения* – зависимость количества импульсов ЧР от значений их кажущихся зарядов, зарегистрированных за время, и от соответствующих фазовых углов их появления  $j$  в периоде действующего напряжения.

13. *Наибольшее неоднократно встречающееся значение кажущегося заряда* – наибольшая величина, которую имеет импульс, неоднократно зарегистрированный системой измерения за один интервал времени.

14. *Напряжение возникновения частичных разрядов* – приложенное напряжение, при котором в испытуемом объекте впервые отмечаются повторяющиеся ЧР при постепенном увеличении напряжения с более низкого значения, при котором ЧР не наблюдаются.

15. *Напряжение погасания частичных разрядов* – приложенное напряжение, при котором в испытуемом объекте погасают повторяющиеся ЧР при постепенном уменьшении напряжения с более высокого значения, при котором наблюдаются значения импульса ЧР.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования / В.П. Вдовико. - Новосибирск: Наука, 2007. - 155 с. ISBN 978-5-02-023210-5
2. Свистунов Н.А. Анализ методов диагностики технического состояния электротехнических устройств основанные на обнаружении и измерении уровня частичных разрядов - Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2018.

УДК 621.3

Д. В. РЯЗАНОВ

*ryazanovdenis2002@gmail.com*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Н. Л. БАБИКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ PLC-ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*Аннотация.* Проведен анализ возможностей PLS-технологий при функционировании автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии.

*Ключевые слова:* электроэнергия, контроль и учет электроэнергии, АИИС КУЭ, Pulse PLC.

На современном этапе в России сбор и обработка данных по использованию энергоресурсов все больше связаны с внедрением систем автоматизированного приборного энергоучета, при котором участие человека минимизируется. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) позволяет использовать показания потребляемых энергоресурсов с помощью датчиков и приборов.

Внедрение АИИС КУЭ в коммунально-бытовом секторе позволяет:

- осуществлять контроль значений напряжения и мощности в точках поставки электрической энергии конечным потребителям;
- производить удаленный съем показаний приборов учета, что увеличивает точность, исключает такую составляющую коммерческих потерь электроэнергии, как неодновременность снятия показаний, снижает затраты сетевой компании на организацию визуального снятия показаний;
- свести к минимуму случаи возникновения разногласий с энергосбытовой организацией, поскольку верность предоставления данных по полезному отпуску электроэнергии посредством АИИС КУЭ не вызывает сомнений;
- исключить случаи непопадания контролера сетевой организации к потребителю вследствие нежелания или отсутствия последнего;
- контролировать величины потребления (передачи) электроэнергии и ее характеристики;

– представлять данные в графической форме, проводить анализ электропотребления и обнаруживать очаги потерь [1].

В основе построения АИИС КУЭ используется PLC-технология, при которой информация о потребленной электроэнергии передается по проводам линии электропередачи. Для технической реализации PLC-технологии на объектах энергопотребления частного сектора используются однофазные счетчики «Меркурий – 200», «Меркурий – 201» и трехфазные счетчики «Меркурий 230», со встроенным модемом передачи данных по силовой сети. Счетчики обеспечивают накопление и хранение энергопотребления с нарастающим итогом, работу в многотарифном режиме, учет реактивной энергии. PLC-концентратор, интегрированный в устройства для сбора и передачи данных (УСПД), позволяет собирать данные от счетчиков в радиусе до двух километров, при этом один счетчик может опрашиваться в течение нескольких минут.

Для контроля потребления энергоресурсов используется трехуровневая схема.

Нижний уровень – включает комплекс приборов для учета энергоресурсов, передает данные о потоках энергии. Средний уровень – маршрутизатор устройства для сбора и передачи данных опрашивает счетчики, группирует данные и пакетами пересылает их наверх. Верхний уровень (сервер) обеспечивает сбор, хранение и обработку данных, а также решение прикладных задач. Как правило, использование PLC-технологии предполагает наличие в счетчиках микропроцессорных УСПД.

Ключевую роль в АИИС КУЭ играет роль импульсный счетчик-регистратор «Pulse PLC» разработанный компанией ООО «КУРС» (г. Уфа), которая направлена на проектирование систем электроснабжения промышленных, общественных зданий и сооружений, проектирование кабельных и воздушных линий электропередач, проектирование систем АИИС КУЭ для бытовых и промышленных потребителей. «Pulse PLC» предназначен для измерений электрической энергии посредством подсчета импульсов, поступающих на входы из-

мерительных каналов от подключенных к ним измерительных приборов учета электрической энергии и других энергоресурсов (счетчик расход вещества – м<sup>3</sup>/ч, м<sup>3</sup>/с; счетчик расхода тепла – Гкал/ч, Гкал/с; счетчик расхода массы – кг/ч, кг/с) имеющих импульсный выход и пересчета количества импульсов в значение измеряемой величины путем умножения посчитанного количества импульсов на цену импульса канала, а также автоматизированного сбора, накопления, обработки, хранения и передачи накопленной информации.

«Pulse PLC» ведет подсчет и накопление импульсов, преобразует накопленную информацию в узкополосный сигнал с последующей передачей его по силовой линии 220 В, на верхний уровень автоматизированных систем. «Pulse PLC» имеет в своем составе два импульсных входа, что позволяет подключать два независимых прибора учета соответственно. Подсчет импульсов в каждом измерительном канале осуществляется следующим образом, «Pulse PLC» регистрирует каждый импульс (импульсом считается сигнал от первичного счетчика, когда телеметрический выход замкнут не менее 0,1 с, а разомкнут не менее 0,1 с) и по достижении значения 100 импульсов добавляет единицу (один бит) в регистр энергонезависимой памяти. При этом максимальное количество таких единиц, хранящейся в энергонезависимой памяти, равно 99 999 999 единиц.

«Pulse PLC» может работать в одном из двух режимов: режим «счетчика» или режим «Устройство сбора и передачи данных» (УСПД).

1. К импульсным входам «Pulse PLC», находящегося в режиме «счетчика», подключаются контролируемые приборы учета.

2. «Pulse PLC» в режиме «УСПД» выполняет последовательный опрос по силовым линиям 220В устройств «Pulse PLC», находящихся в режиме «счетчика». К устройству «Pulse PLC», находящегося в режиме «УСПД», подключается каналобразующее оборудование для передачи данных на верхний уровень системы учета.

На рисунке 1 представлена структурная схема «Pulse PLC».

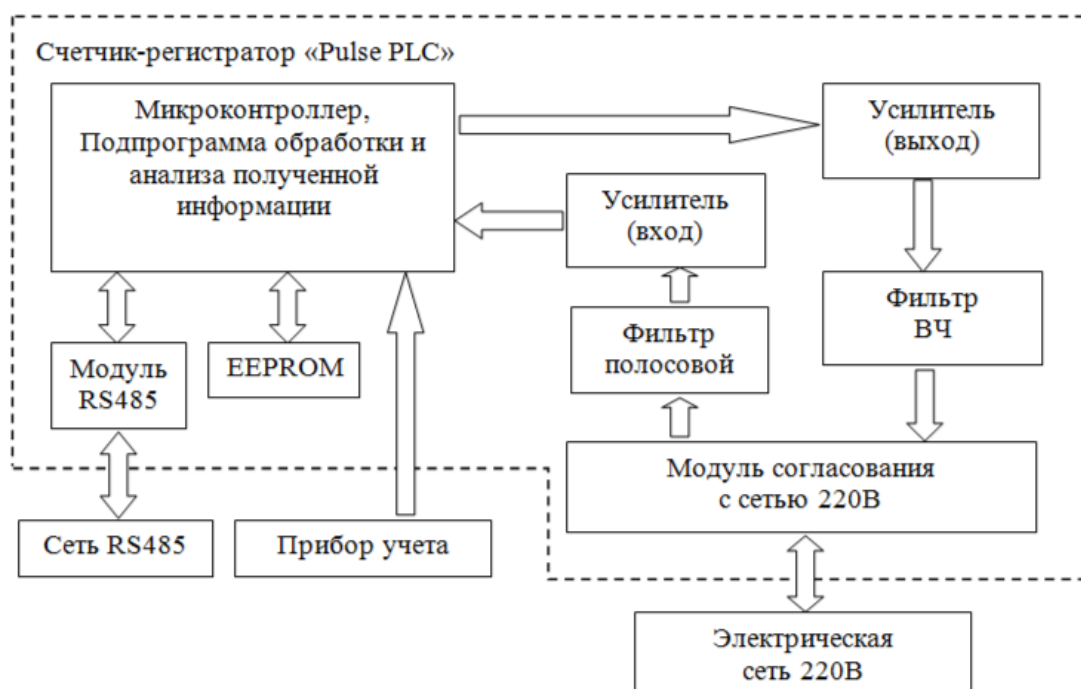


Рис. 1. Структурная схема импульсного счетчика-регистратора «Pulse PLC»

«Pulse PLC» в едином корпусе содержит:

- 1) Два импульсных входа для подключения к приборам учета энергоресурсов;
- 2) Блок питания;
- 3) Модуль согласования с сетью 220В;
- 4) Фильтр полосовой и фильтр ВЧ;
- 5) Усилитель (вход);
- 6) Усилитель (выход);
- 7) Модуль RS485;
- 8) EEPROM;
- 9) Микропроцессор с подпрограммой обработки и анализа полученной информации.

«Pulse PLC» имеет в составе два импульсных входа для подключения к импульсным выходам приборов учета. К «Pulse PLC» может быть подключен импульсный выход по схеме «открытый коллектор» или «сухой контакт».

Основными функциями «Pulse PLC» являются:

- 1) измерение потребленных ресурсов посредством приема, суммирования и пересчета количества импульсов, поступающих от счетчиков энергоресурсов, в значение измеряемой величины путем умножения посчитанного количества импульсов на цену импульса канала;
- 2) преобразование полученных данных в именованные величины энергоресурсов;
- 3) хранение обработанных данных в энергонезависимой памяти;
- 4) объединение результатов измерений, полученных от различных счетчиков, в единую таблицу в энергонезависимой памяти;
- 5) передача данных по силовым сетям 220В;
- б) передача информации по коммутируемым, выделенным и телемеханическим каналам связи с использованием внешних модемов (в том числе радиомодемов);
- 7) защита информации от несанкционированного доступа (пломбирование, пароли);
- 8) регистрация события по перерыву питания;
- 9) самодиагностика после запуска и в процессе работы.

Внедрение АИИС КУЭ позволяет повысить точность, оперативность и достоверность учета расхода электроэнергии и мощности. Кроме того, производится оперативный контроль за режимами электропотребления. Система оперативно предъявляет санкции предприятиям за превышение договорных и разрешенных величин мощности и позволяет отслеживать хищения электроэнергии с помощью проведения балансировки между узлами учета [2]. Соблюдение технических требований, предъявляемых к АИИС КУЭ, является залогом успешного ввода в промышленную эксплуатацию и надежного функционирования системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгов А.А. - Модернизация учета электроэнергии с применением автоматизированной системы в энергетической компании. Вестник науки КАТУ им. С.Сейфуллина - 2011г. №4.
2. Астахова Т.Н., Кривоногов С.В. Теоретическое обоснование применения систем автоматизированного контроля потребления электроэнергии в коммунально-бытовом секторе. Вестник Кыргызско-Российского славянского университета - 2017г. №1.



УДК 621.31

А. В. СУСЛОВА

*arinasuslova@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Е. М. ФЕДОСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **РЕКЛОУЗЕРЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП**

*Аннотация.* В данной статье анализируется назначение реклоузеров как устройств для автоматического управления и защиты воздушных ЛЭП, рассматриваются их особенности и основные функции.

*Ключевые слова:* реклоузер, ЛЭП, опора, защита линии, мониторинг электрических сетей.

Реклоузер – устройство автоматического управления и защиты воздушных ЛЭП на основе вакуумных выключателей под управлением специализированного микропроцессора. Помимо защитных и противоаварийных функций защиты воздушных линий передач дополнительно могут выполнять функции мониторинга и учета характеристик и параметров электросетей. В рамках общей классификации устройств энергетики реклоузеры относятся к КРУН (комплектным распределительным устройствам наружной установки).

При помощи реклоузеров воздушные ЛЭП делятся на отдельные участки, в каждом из которых устанавливается интеллектуальное устройство, в реальном времени анализирующее параметры работы сети и при необходимости выполняющее ее реконфигурацию (производится локализация поврежденного участка и автоматическое восстановление электроснабжения потребителей на неповрежденных участках) согласно программно-установленному алгоритму. При этом исключается необходимость дистанционного поиска повреждения и его устранения – все это выполняется по месту работы реклоузера посредством микропроцессорного контроля.

Реклоузеры устанавливаются на магистральном участке. При возникновении повреждения ближайший к нему реклоузер отключает нижестоящий участок сети. Это повышает надежность электроснабжения потребителей, находящихся вблизи центра питания.

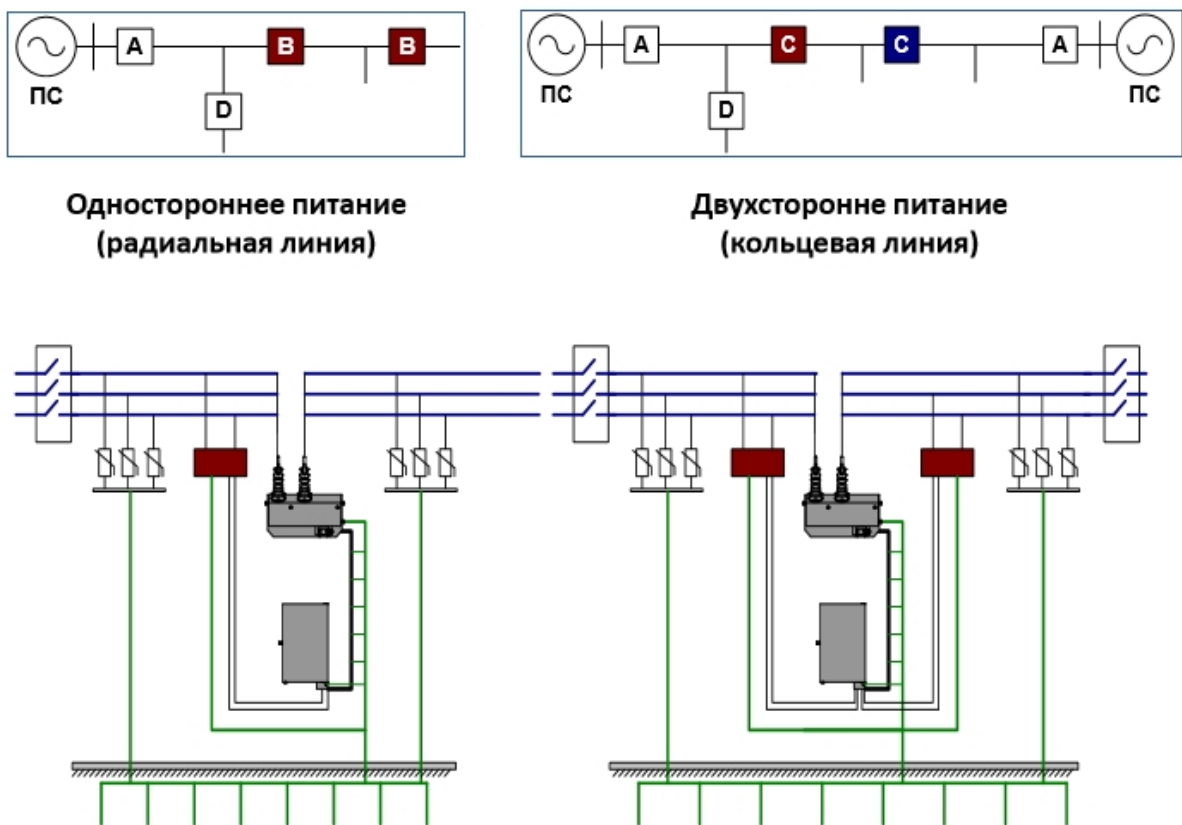


Рис. 1. Схема подключения реклоузера в линию

Для секционирования радиальной линии с двухсторонним питанием в дополнение к реклоузерам на магистрали устанавливают реклоузер в качестве пункта АВР, осуществляется контроль напряжения на этом пункте, используются направленные защиты. При возникновении повреждения на любом из участков сети оно будет ограничено двумя ближайшими аппаратами, тем самым потребители неповрежденных участков смогут сохранить свое питание.

Для автоматизации линии достаточно установить 3–5 реклоузеров. Применение автоматических реклоузеров позволит достичь снижения недоотпуска электрической энергии конечным заказчикам, повысить уровень надежности электроснабжения. Реклоузеры позволяют сократить время поиска и локализации повреждения на участке линии электропередач.

Основные особенности реклоузеров

– реклоузеры имеют достаточно компактные размеры и устанавливаются чаще всего непосредственно на опорах ЛЭП, поэтому не нуждаются в монтаже дополнительных фундаментов и ограждений;

– не требуют обслуживания, что дает возможность наладить стабильную работу сети без необходимости вмешательства людей. Это особенно актуально для труднодоступных или удаленных районов;

– помимо защитных функций микропроцессор реклоузера может выполнять несколько попыток восстановления передачи электроэнергии через аварийные участки, а при неудаче отправлять уведомлению оператору.

#### Основные функции реклоузеров

– осуществление штатных переключений в сетях распределения (местная и дистанционная конфигурация сетей);

– интеграция в системы дистанционного контроля и учета (телемеханика);

– автоматическая регистрация характеристик и параметров работы сети;

– автоматическое отключение участков с повреждениями;

– автоматическое восстановление электропередачи неповрежденных участков сети;

– повторное включение поврежденных участков в автоматическом режиме;

Благодаря наличию интеллектуального процессора использование реклоузеров дает возможность реализовать автономную защиту с повторным включением аварийных участков цепи переменного тока.

Главное достоинство – эти устройства не требуют участия человека и могут заменить в сетях до 35 кВ станции секционирования, требующие обслуживания обученным персоналом.

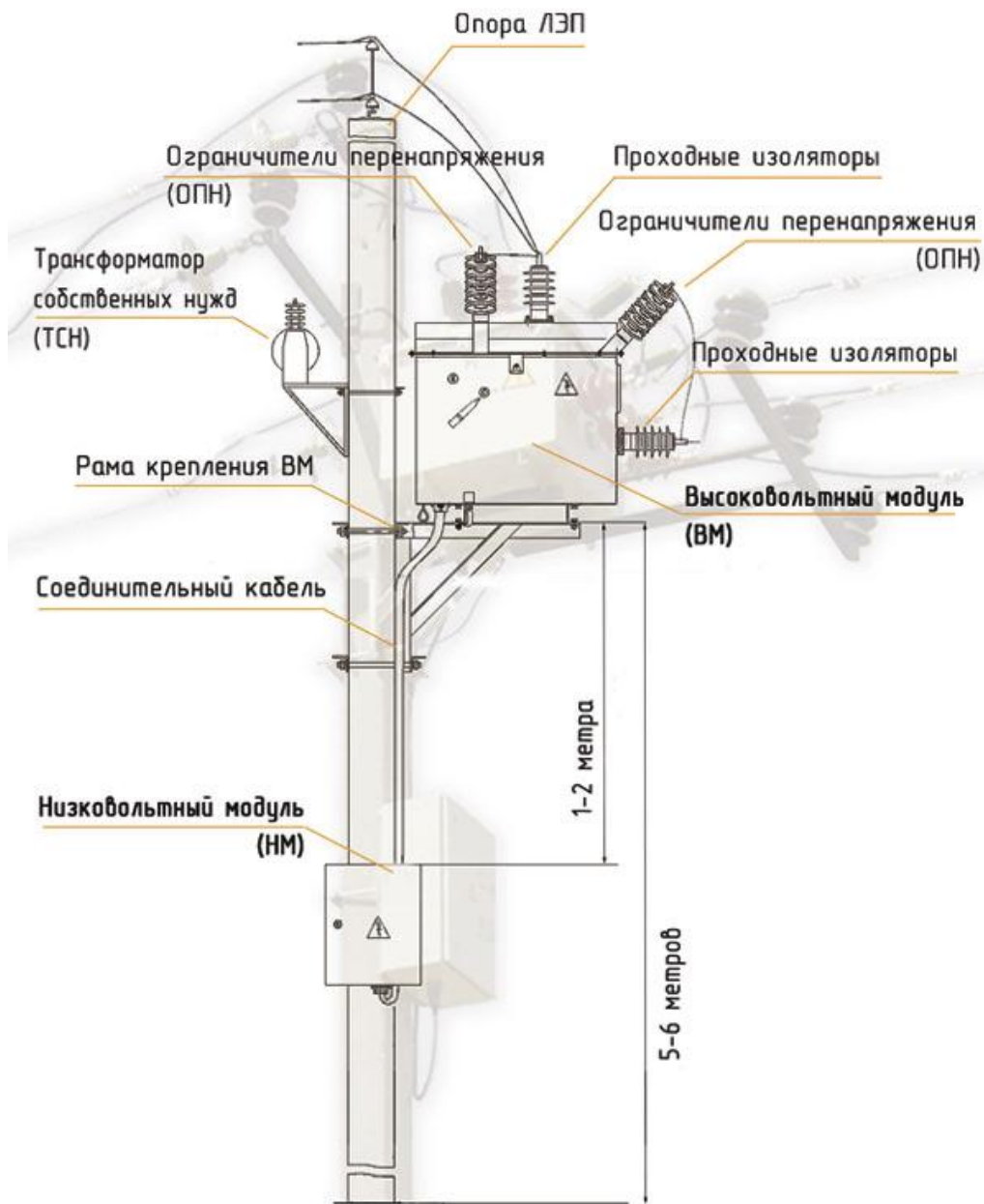


Рис. 2. Установка реклоузера на опоре ЛЭП

Например, устройство при повреждении какого-либо участка сети отключает его и распределяет нагрузку по другим линиям так, чтобы полностью сохранить энергоснабжение других потребителей.

Помимо этого, пострадавшие потребители за несколько секунд могут быть подключены к другим – альтернативным источникам электропитания, благодаря чему достигается высокая надежность энергоснабжения. Высокая

скорость реагирования – это главное достоинство децентрализованной распределенной системы защиты и мониторинга электросетей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реконструкция и техническое перевооружение распределительных электрических сетей: учебное пособие для вузов / В.Я. Хоропольский, В.А. Ефанов, В.Н. Шемякин, А.М. Исупова. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 296 с.
2. Мозохин А.Е. Алгоритмы и программы расчета электрическихсетей. Современные цифровые технологии в электроэнергетике :учебное пособие / А.Е. Мозохин, В.А. Солдатов, Б.А. Староверов. —Караваево : Костромская ГСХА, 2021. — 128 с. : ил. ; 20 см. —50 экз. — Текст непосредственный.
3. Бадалян, Н.П. Современные технические средства передачиэлектроэнергии: учебное пособие [Текст] / Н.П. Бадалян,М.К.Багдасарян, Г.П. Колесник, Е.А.Чашин. – Ковров: ФГБОУ ВО «КГТА имени В.А. Дегтярева», 2019. – 197 с.

УДК 621.3

А. А. ТАВКАЛЕНОВА

*tavkalenova@bk.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук Д. Р. ФАРРАХОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ СЕКТОРОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ЦЕЛЬЮ СОКРАЩЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ**

**Аннотация.** В данной статье обсуждаются вопросы сокращения углеродных выбросов и повышения энергоэффективности. Рассмотрены различные меры политики для достижения поставленных целей, а также положительные эффекты при реализации данных программ.

**Ключевые слова:** выбросы, электрификация, энергоэффективность, снижение выбросов, промышленность.

Наблюдаемое в настоящее время и ожидаемое в перспективе изменение климата сопряжено с повсеместными и необратимыми последствиями для антропогенных и естественных систем, а также несет риски обеспечения безопасности и устойчивого развития. Для минимизации этих рисков необходима адаптация сфер государственного управления, отраслей экономики и региональной инфраструктуры к меняющимся климатическим условиям [1].

В последние годы правительства и регуляторы реагируют на это принятием законодательства и постановкой экологических целей, которые призваны свести к минимуму нашу зависимость от ископаемого топлива. Для достижения поставленных целей по сокращению выбросов используются различные меры политики, стимулирующие в числе прочего технологический переход мировой энергетики от генерации на основе углеводородного сырья и других видов топлива к безуглеродным энергоресурсам и энергоресурсам с низким уровнем выбросов парниковых газов.

Согласно отчету [2], опубликованному компанией BloombergNEF (BNEF), электрификация транспорта, теплоснабжения зданий и промышленных секторов в Европе позволит сократить выбросы парниковых газов на 60 процентов в период между 2020 и 2050 годами.

Электрификация может происходить посредством сочетания «прямых» и «косвенных» изменений. «Прямой» путь включает максимально возможное «прямое» внедрение электричества в транспортном секторе, в теплоснабжении, например, тепловые насосы для отопления зданий, перевод на электричество промышленных процессов. «Косвенный» путь означает использование «зеленого водорода», получаемого в результате электролиза с использованием возобновляемой электроэнергии, в качестве топлива для зданий и промышленных процессов.

Помимо преимуществ электрификация промышленного сектора имеет ряд проблем [3]:

1. Многие системы, работающие на ископаемом топливе, уже установлены на производственных предприятиях и рассчитаны на срок службы более 50 лет. Замена функционального оборудования электрическими технологиями, особенно если срок его службы еще не истек, представляет собой рыночный барьер, который необходимо преодолеть. Поскольку большая часть промышленного тепла производится на месте, трудно отследить возраст оборудования и возможности замены на отдельных промышленных предприятиях.

2. Технологические ограничения. Многие промышленные процессы требуют очень высокой температуры, выше 500 градусов по Цельсию. Для достижения таких высоких температур в настоящее время доступно несколько вариантов, кроме технологий, работающих на ископаемом топливе, таких как котлы и печи. Такие инновации, как высокотемпературные электрические тепловые насосы, пока не способны обеспечить такой уровень тепла.

3. Доступ к капиталу. Промышленные организации, как правило, работают с небольшой нормой прибыли и могут получить более высокую отдачу от внутренних инвестиций в новое производство или разработку продукта, чем за модернизацию энергоснабжения существующих объектов. Даже если экономические показатели оправданы в течение всего срока службы оборудования, по-

лучение достаточного капитала для осуществления инвестиций является препятствием для электрификации промышленного сектора.

Также электрификация других областей экономики приведет к серьезным последствиям для энергосистемы. Для обработки более высоких объемов электроэнергии и большего количества возобновляемых источников энергии потребуются укрепление и расширение сети. Правительству необходимо подумать о том, как привлечь потребителей энергии и гражданское общество, поскольку они играют решающую роль в обеспечении электрификации этих новых секторов.

В отчете оценивается, что к 2050 году энергосистеме может потребоваться на 75% больше генерирующих мощностей по сравнению с тем, что было бы необходимо без дополнительной связи между секторами, причем большую часть этих мощностей составляют недорогие ветряные и солнечные электростанции. Энергетическая система также должна быть более гибкой из-за различных моделей энергопотребления отопления и транспорта. В то же время недавно электрифицированные сектора могут создать новые источники этой «гибкости» – имея возможность изменить свои модели потребления – при условии наличия правильной политики и технологий.

Масштабная электрификация позволит прямо и косвенно обеспечивать до 60 процентов конечного потребления энергии в этих секторах (помимо электроэнергетики) по сравнению с 10% в настоящее время. Однако этого будет все еще недостаточно для их полной декарбонизации. Дело в том, что многие виды деятельности декарбонизировать особенно сложно. Речь идет, например, об авиации, морских перевозках, производстве цемента и стали. Кроме того, циклы замены некоторых видов активов являются длительными.

Для дальнейшего сокращения выбросов и ускорения перехода на новые источники энергии требуются серьезные изменения в политике и структуре рынка. Решение вышеупомянутых проблем приведет к снижению общих вы-



бросов в энергетике, в транспортном и промышленных секторах с 2020 по 2050 год на 60-70%.

Для стимулирования технологического развития Российской Федерации применяются технологии, снижающие углеродный след существующей угольной генерации. Происходит активная цифровизация и электрификация отраслей экономики. В металлургии и химической промышленности внедряются водородные технологии. Развиваются парогазовая генерация, атомные электростанции, гидроэлектростанции и возобновляемые источники энергии, максимально используется потенциал снижения эмиссии парниковых газов в угольной энергетике, в том числе за счет полного перехода на наилучшие доступные технологии, поддержки инновационных и климатически эффективных технологий сжигания угля, повсеместного замещения низкоэффективных котельных объектами когенерации, широкого стимулирования развития и применения технологий улавливания, использования и захоронения парниковых газов. Растущий спрос на электроэнергию обеспечивается парогенерацией с низким уровнем выбросов парниковых газов, а также генерацией атомных электростанций, гидроэлектростанций и возобновляемых источников энергии.

Реализация политики по снижению выбросов и повышению энергоэффективности обеспечит высокие показатели социально-экономического развития Российской Федерации: рост валового внутреннего продукта на уровне выше среднемирового, соблюдение баланса между снижением выбросов и сохранением макроэкономической стабильности, выраженное в высоких значениях показателей экспорта, занятости, доходов населения.

Принятые меры по снижению выбросов и повышению энергоэффективности могут обеспечить к 2050 году снижение валовых выбросов на 910 млн. тонн эквивалента углекислого газа по сравнению с объемом выбросов в отсутствие таких мер. Увеличение поглощений к 2050 году обеспечивает дополнительный эффект в размере до 665 млн. тонн эквивалента углекислого газа. В перспективе это приведет к 2050 году сокращению нетто-выбросов парниковых

газов на 60 процентов по сравнению с уровнем 2019 года и на 80 процентов по сравнению с уровнем 1990 года.

Таким образом, реализация программы по снижению выбросов позволяет достичь следующих положительных эффектов:

1) высокий уровень технологического развития и конкурентоспособности российской экономики;

2) появление и развитие новых отраслей промышленности, формирование новых высокопроизводительных рабочих мест;

3) повышение инвестиционной привлекательности российских предприятий и экономики, высокий уровень роста инвестиций;

4) рост объемов российского экспорта и увеличение доли в мировом валовом внутреннем продукте;

5) улучшение качества окружающей среды и экологического благополучия населения;

6) снижение углеродоемкости экономики более чем в 2 раза и существенный вклад в глобальные усилия по смягчению климатических изменений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 октяб 2021 г. № 3052-р.
2. Electrification Can Cut Emissions of Transport, Buildings and Industry in Europe by 60% by 2050 [Электронный ресурс]. URL: <https://about.bnef.com/blog/electrification-can-cut-emissions-of-transport-buildings-and-industry-in-europe-by-60-by-2050/> (дата обращения: 10.09.2022).
3. How corporations can jump-start industrial electrification in the US. [Электронный ресурс]. URL: <https://about.bnef.com/blog/electrification-can-cut-emissions-of-transport-buildings-and-industry-in-europe-by-60-by-2050/> (дата обращения: 10.09.2022).

УДК 621.313.322

А. А. ТАЗЕТДИНОВ

*tazetdinov.aydar@bk.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. Ф. А. ГИЗАТУЛЛИН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ АЛ-31 СТЭ 18**

*Аннотация.* В работе рассматривается задачи газоперекачивающего агрегата и применение синхронного генератора газотурбинного двигателя.

Задача газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях — повышение давления голубого топлива до заданной величины. Для транспортировки газа по магистральным газопроводам применяют ГПА с газотурбинными авиационными и судовыми, а также электрическими двигателями. Наиболее распространенным приводом является газотурбинный.

Рабочий процесс газотурбинных агрегатов осуществляется в несколько этапов. Перекачиваемый газ по газопроводу через всасывающий трубопровод ГПА поступает в центробежный нагнетатель. Здесь происходит компримирование газа и его подача в нагнетательный коллектор компрессорной станции. Приводом механизма сжатия газа как раз является газотурбинный двигатель, использующий в качестве топлива очищенный и приведенный к рабочему давлению перекачиваемый газ. Очищенный атмосферный воздух поступает на вход газотурбинного двигателя, снабженного традиционными техническими средствами подготовки и сжигания топливовоздушной смеси. Продукты сгорания, имеющие высокую температуру и давление и, следовательно, обладающие большой энергией, формируют газовый поток, энергия которого, в конечном итоге, преобразуется в механическую работу. Именно она и используется для приведения в действие центробежного нагнетателя. При движении газового потока через проточную часть газотурбинного двигателя

уменьшается его энергия, и снижаются температура и давление. После этого отработанный газ через выхлопную систему выходит в атмосферу.

Конструкция агрегатов и уровень их автоматизации обеспечивают работоспособность ГПА без постоянного присутствия персонала. Агрегаты могут работать в климатических зонах с температурой окружающего воздуха от — 55 до + 45 градусов по Цельсию.

газоперекачивающего агрегата .

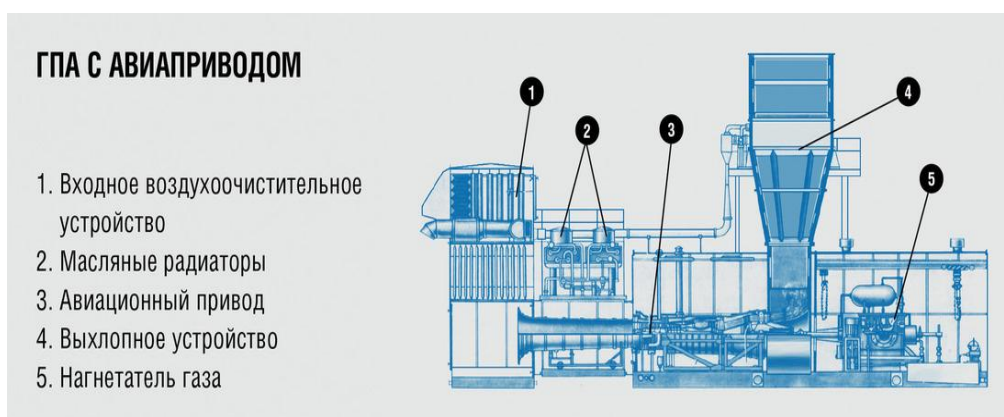


Рис. 1. Устройство газоперекачивающего агрегата с авиаприводом

При технологическом проектировании магистральных газопроводов предусмотрены следующие варианты электроснабжения собственных нужд КС [4]: внешнее электроснабжение (от сетей энергосистемы), электроснабжение от электростанции собственных нужд, размещаемой на площадке КС, а также комбинированное электроснабжение (от электростанции собственных нужд и сетей энергосистемы).

Компрессорные станции (КС) магистральных газопроводов (МГ) являются ответственными объектами электропотребления, для которых недопустимы сбои и перерывы в электроснабжении. Стабильность энергоснабжения – один из факторов, определяющих надежность и эффективность магистрального транспорта газа.

Снижение затрат на транспортировку газа определяют необходимость модернизации и создания более экономичных энергоагрегатов электроснабжения собственных нужд, применение которых позволит повысить надежность и

экономичность энергоснабжения собственных нужд с отказом или с сокращением потребления электроэнергии из высоковольтных ЛЭП. Эта задача особенно актуальна для магистральных газопроводов в северных районах страны, КС которых на сотни километров удалены от централизованных электростанций



Рис. 2. Структурная схема газоперекачивающего агрегата

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [<https://stavropol-tr.gazprom.ru/press/proekt-azbuka-proizvodstva/gazoperekachivayushchij-agregat/>]
2. [ <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-sistemy-elektrosnabzheniya-gazoperekachivayuschih-agregatov-s-generatorami-sobstvennyh-nuzhd>]
3. [<https://journals.eco-vector.com/2542-0151/article/view/51441/34903>]
4. [https://yandex.ru/patents/doc/RU195774U1\\_20200205](https://yandex.ru/patents/doc/RU195774U1_20200205)

УДК 621.313.13-133.32

Т. Д. ХУСАИНОВ

*tima\_xusainov@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Ю. ПАШАЛИ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СВЕТОФОРОВ**

**Аннотация.** В настоящее время светофоры играют важную роль в жизни человека, поскольку они являются частью необходимой инфраструктуры в каждом городе. С помощью них можно гармонично упорядочить движение людей и транспортных средств. Существуют различные виды светофоров, которые программируются разным образом. Однако какими не были бы они, всем необходима электрическая энергия для работы. Основными источниками энергии, на данный момент, являются газ, уголь и нефть. По прогнозным данным запасов нефти хватит на 40 лет, угля на 395 лет и газа на 60 лет. Мировая система энергетики подвергается гигантским проблемам. Поэтому необходимо рассмотреть все источники электроэнергии и выбрать благоприятные из них для общества.

**Ключевые слова:** электроэнергия, основные источники энергии, нетрадиционные источники электроэнергии, солнечная энергия, энергия ветра, энергия приливов.

Основные источники электрической энергии представлены различными электростанциями – тепловыми, гидроэлектростанциями и атомными электростанциями [1].

### ***Тепловые электростанции (ТЭЦ)***

Работают на органическом топливе – мазут, уголь, торф, газ, сланцы. Размещаются ТЭС, главным образом, в том регионе, где присутствуют природные ресурсы и вблизи крупных нефтеперерабатывающих предприятий [2].



Рис. 1. ТЭС

### *Гидроэлектростанция (ГЭС).*

Возводятся в местах, где большие реки перекрываются плотиной, и благодаря энергии падающей воды вращаются турбины электрогенератора [3]. Получение электроэнергии таким методом считается самым экологичным за счет того, что не происходит сжигание различных видов топлива, следовательно, отсутствуют вредные отходы.



Рис. 2. ГЭС

### *Атомные электростанции (АЭС)*

Для нагрева воды требуется энергия тепла, которая выделяется в результате ядерной реакции [4]. А в остальном она схожа с тепловой электростанцией.



Рис. 3. АЭС

Не все вышеперечисленные способы являются оптимальными и благоприятными, поскольку многие ресурсы у нас ограничены, также некоторые варианты получения энергии не экологичны. В результате стремительного истощения природных энергетических носителей, а также проблемы экологичности на первый план выводится задача по поиску новых методов получения энергии.

Одни из таких методов – это нетрадиционные источники энергии. К ним относятся ветер, солнце, тепло земных турбин и океанические приливы. В последнее время их все чаще используют как нетрадиционные дополнительные источники энергии [2]. Ученые утверждают, что к 2050 году нетрадиционные энергоисточники станут основными, а обычные потеряют свое значение.

### ***Солнечная энергия***

Существует несколько способов ее применения. Во время физического метода получения энергии солнца применяются гальванические батареи, способные поглощать и преобразовывать солнечную энергию в электрическую или тепловую [1]. Также используется система зеркал, отражающая солнечные лучи и направляющая их в трубы, заполненные маслом, где концентрируется солнечное тепло.

В некоторых регионах целесообразнее использовать солнечные коллекторы, с помощью которых есть возможность в частичном решении экологической проблемы и использования энергии для бытовых нужд.

Основные достоинства энергии солнца – общедоступность и неисчерпаемость источников, полная безопасность для окружающей среды, основные экологически чистые источники энергии [1].

Главный недостаток – потребность в больших площадях земли для строительства солнечной электростанции.

### ***Ветряная энергия***

Ветряные электростанции способны производить электрическую энергию только в том случае, когда дует сильный ветер. «Основные современные источники энергии» ветра – ветряк, представляющий собой достаточно сложную конструкцию. В нем запрограммированы два режима работы – слабый и сильный ветер, а также есть остановка двигателя, если очень сильный ветер.





Рис. 4. Солнечная батарея

Основной недостаток ветряных электростанций (ВЭС) - шум, получаемый во время вращения лопастей пропеллеров [2]. Самыми целесообразными являются небольшие ветряки, предназначенные для обеспечения экологически безопасной и недорогой электроэнергией дачных участков или отдельных ферм.



Рис. 5. Ветряная Мельница

### ***Приливные электростанции***

Для производства электрической энергии используется энергия прилива. Для того, чтобы построить простейшую приливную электростанцию потребуются бассейн, перекрытое плотиной устье реки или залив [3]. Плотина оснащена гидротурбинами и водопропускными отверстиями.

Вода во время прилива поступает в бассейн и когда происходит сравнение уровней воды в бассейне и в море, водопропускные отверстия закрываются. С приближением отлива водный уровень уменьшается, напор становится достаточной силы, турбины и электрогенераторы начинают свою работу, постепенно вода из бассейна уходит.

Новые источники энергии в виде приливных электростанций имеют некоторые минусы – нарушение нормального обмена пресной и соленой воды; вли-

яние на климат, так в результате их работы меняется энергетический потенциал вод, скорость и площадь перемещения [3].

Плюсы – экологичность, невысокая себестоимость производимой энергии, сокращение уровня добычи, сжигания и транспортировки органического топлива.



Рис. 6. Приливная электростанция

### ***Нетрадиционные геотермальные источники энергии***

Для производства энергии используется тепло земных турбин (глубинные горячие источники). Данное тепло можно применять в любом регионе, но расходы смогут окупиться лишь там, где горячие воды максимально приближены к земной коре – местности активной деятельности гейзеров и вулканов [1].

Основные источники энергии представлены двумя типами – подземный бассейн естественного теплоносителя (гидротермальный, паротермальный или пароводяной источники) и тепло горных горячих пород.

Первый тип представляет собой готовые к применению подземные котлы, из которых пар или воду добывать можно обычными буровыми скважинами [1]. Второй тип дает возможность получения пара или перегретой воды, которые в дальнейшем можно использовать в энергетических целях.

Основной недостаток обоих типов – слабая концентрация геотермических аномалий, когда горячие породы или источники подходят близко к поверхности. Также требуется обратная закачка в подземный горизонт отработанной воды, поскольку термальная вода имеет множество солей токсичных металлов и

химических соединений, которые нельзя сбрасывать в поверхностные водные системы.

Достоинства – данные запасы неисчерпаемы [3]. Геотермальная энергия пользуется большой популярностью благодаря активной деятельности вулканов и гейзеров, территория которых занимает 1/10 площади Земли.



Рис. 7. Геотермальная электростанция

Рассмотренные нетрадиционные источники энергии являются более оптимальными для общества, так как не требуют больших затрат, являются менее опасными для природы.

По большей степени многие светофоры в мире питают энергию с основных источников, однако можно прибегнуть, в определенных местностях, к использованию нетрадиционных способов добычи электрической энергии, тем самым снизить риски потери кончаемых ресурсов, а также повысить экологичность в рамках определенной территории.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологические светофоры: [электронный ресурс] // Сохранение энергии, Новые технологии. URL: <https://www.renovablesverdes.com/ru/semaforos-ecologicos/>. (дата обращения: 12.09.2022).
2. Чем помогут городу светящиеся растения: [электронный ресурс] // Ведомости. URL: <https://www.vedomosti.ru/gorod/smartcity/articles/kak-pomogut-gorodu-svetyaschiesya-rasteniya-i-dorogi-dayuschie-elektrichestvo>. (дата обращения: 12.09.2022).
3. Источники электрической энергии: [электронный ресурс] // Школа электрика. URL: <http://electricalschool.info/energy/1072-istochniki-jelektricheskoy-jenergii.html>. (дата обращения: 12.09.2022).

С. Н. ЧЕКУШИН, А. С. ГОРБУНОВ  
*freizer-anton@yandex.ru*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ ВИДОВ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ЭНЕРГОСИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ООО «АСТ» Г. СТЕРЛИТАМАК**

**Аннотация.** В статье рассмотрены разновидности технических и коммерческих потерь электроэнергии, имеющих место в электросетях. Показаны причины возникновения этих потерь и их особенности. Произведен анализ отечественных программных комплексов, используемых для расчета режимов электросетей, анализа балансов электроэнергии, расчета потерь энергии, применяемых на предприятии ООО «АСТ» в г. Стерлитамак.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии; технические потери; коммерческие потери; баланс электроэнергии.

В настоящее время снижение уровня потерь электроэнергии в электрических сетях является одной из важных задач, предусмотренных «Энергетической стратегией России до 2035 года» [1]. На текущий момент уровень потерь электрической энергии в электросетях нашей страны составляет около 10%. Согласно данной стратегии, такие потери должны быть снижены до 9,8% к 2024 г. и до 7,3% к 2035 г. Столь существенное снижение для мощной энергосистемы нашей страны невозможно без комплексной модернизации оборудования с применением современных высокоэффективных материалов и комплектующих, разработки и внедрении мероприятий по энергосбережению, а также проведения мероприятий по точному учету произведенной и потребленной электроэнергии с недопущением ее несанкционированного отбора.

В связи с этим, актуальным является проводящееся в нашей стране внедрение интеллектуальных приборов учета электроэнергии – «умных» счетчиков. Такие счетчики оснащены средствами связи, позволяющими производить отправку данных по измерениям в контролируемую организацию в автоматическом режиме, а также они могут определять ряд показателей качества электроэнергии. Кроме того, такие приборы защищены от незаконных попыток вмешательства в их работу, когда, например, при вскрытии корпуса работающего

прибора может автоматически отправиться соответствующее уведомление в контролируемую организацию.

Рассмотрим виды потерь электроэнергии, возникающих в эксплуатируемых электросетях. Такие потери условно можно разделить на две большие группы: технологические потери, коммерческие потери (рис. 1) [2].



Рис. 1. Классификация потерь электроэнергии

Как видно из рис. 1, технологические потери связаны с работой оборудования электрических сетей при передаче и преобразовании электроэнергии (технические потери), обеспечении условий работы подстанций и оборудования (расходы на собственные нужды подстанций), а также при учете энергии приборами (инструментальные потери). Такие потери могут быть снижены при использовании более современного энергоэффективного оборудования с эффективными материалами и комплектующими, но полностью избавиться от технологических потерь нельзя, так как, например, невозможно создать преобразователи электроэнергии, работающие без потерь [3]. В работающих на подстанциях трансформаторах возникают постоянные потери, не зависящие от нагрузки оборудования (потери холостого хода), а также переменные потери, растущие с повышением мощности питаемых нагрузок. К климатическим потерям можно отнести потери, зависящие от параметров окружающей среды, в которой дей-

ствуется оборудование (например, потери от токов утечки через изоляцию, растущие с повышением влажности).

Второй важной категорией потерь являются коммерческие потери. Они складываются, например, из хищений электроэнергии вследствие несанкционированных подключений или вмешательства в работу счетчиков, из недоучета энергии приборами, неоплаты счетов на электроэнергию и др. Классификация коммерческих потерь электроэнергии приведена на рис. 2 [2].

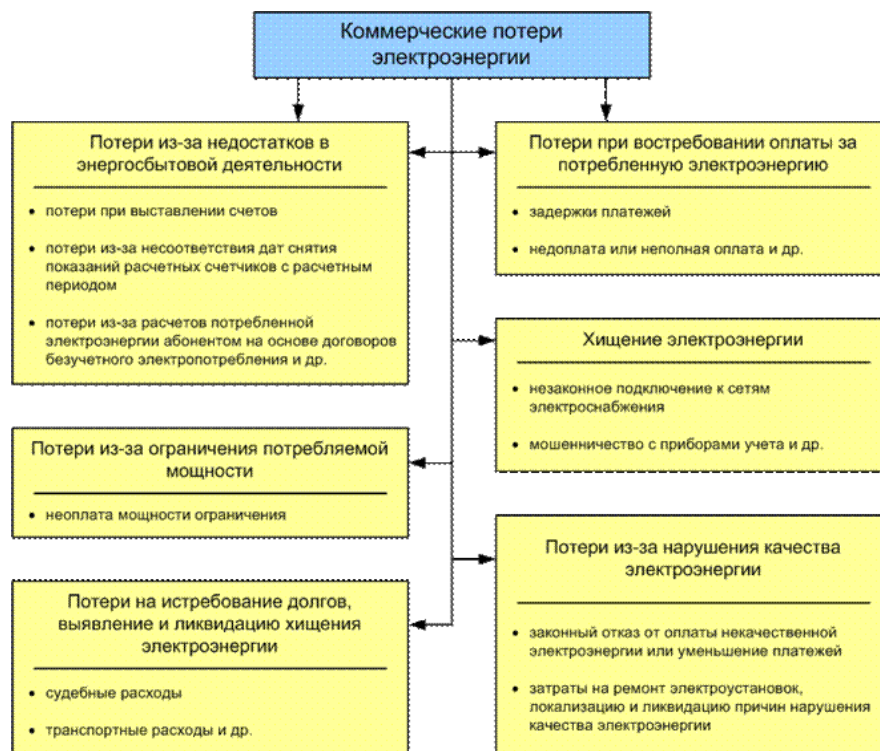


Рис. 2. Классификация коммерческих потерь электроэнергии

Данные потери определяются сетевыми организациями как разность между общими (фактическими) потерями и технологическими потерями электроэнергии. Коммерческие потери также могут возникать из-за ошибочного измерения электроэнергии приборами, ошибок при снятии показаний приборов учета потребителями, ошибок при вводе тарифов при определении стоимости электроэнергии, а также вследствие затрат на ремонт оборудования и т.д.

При решении задачи снижения коммерческих потерь, а также определения областей в структуре электросети, в которых вероятно наличие мест, связанных с несанкционированным использованием электроэнергии, электросетевые организации составляют баланс электроэнергии в контролируемых участ-



ках электросети. Это позволяет при известных общих потерях после вычисления технологических потерь определить величину коммерческих потерь, а также локализовать зоны, где возможно наличие источников таких потерь. Для этой работы в настоящее время электросетевыми организациями применяются автоматизированные программные комплексы. Например, на ООО «АСТ» в г. Стерлитамак используется программный комплекс (ПК) РТП 3 (рис. 3).



Рис. 3. Интерфейс ПК РТП 3 на примере анализа реальной подстанции

ПК РТП 3 позволяет решать вышеотмеченные задачи: определять потери электроэнергии в заданном участке сети, формировать баланс электроэнергии, рассчитывать режимы сети [3] и т.д.

Другим используемым комплексом на ООО «АСТ» является ПК Пирамида 2.0 (рис. 4), который также позволяет составлять баланс электроэнергии в сети, автоматизировано учитывать различные виды энергоресурсов и данные приборов учета [4].

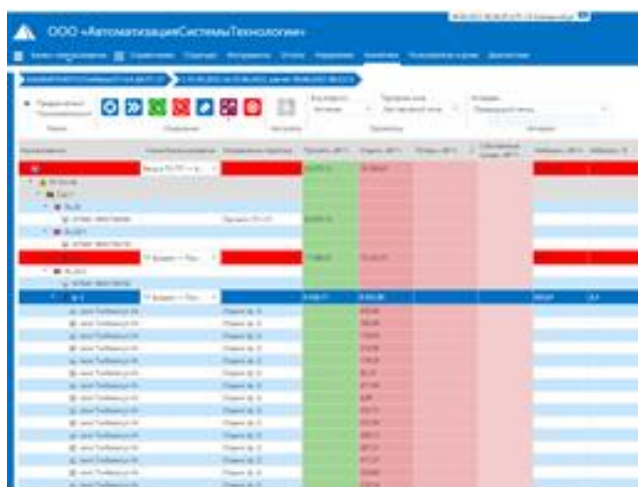


Рис. 4. Интерфейс ПК Пирамида 2.0 на примере анализа реальной подстанции

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года»: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р. // Собрание законодательства Российской Федерации. 2020. № 24, ст. 3847.
2. Основные мероприятия по снижению потерь в электрических сетях. URL: <https://electro-scooterz.ru/osnovnye-meropriatia-po-snizeniu-poter-v-elektriceskih-setah/> (дата обращения 15.09.2022).
3. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины: в 2-х т. 3-е изд., стер. М.: МЭИ, 2006-Т. 1. 2006. 653 с.
3. Компания ООО «Энергоэкспертсервис». URL: <http://www.rtp3.ru/> (дата обращения 15.09.2022).
4. Программное обеспечение (ПО) «Пирамида 2.0». URL: <http://www.sicon.ru/prod/po/pyramid20/> (дата обращения 15.09.2022).



УДК 621.315.56

Р. Р. ШАГИВАЛЕЕВ, У. Ф. ГАФАРОВ  
*raif\_shagivaleev@mail.ru*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИДА, ДОПИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ

**Аннотация.** В статье представлено возможности применение углеродных наноматериалов в качестве допанта позволяющие существенно изменить свойства органических полупроводников и диэлектриков. Данные изменения относятся к прочностным, а также к электрофизическим свойствам.

**Ключевые слова:** полидифениленфталид, вольт-амперные характеристики, графен, электропроводность

В настоящее время, основным направлением применения углеродных наноматериалов в органической электронике является фотовольтаические элементы и светоизлучающие устройства. Изучение влияния углеродных наноматериалов на электрофизические свойства тонких пленок полимерного диэлектрика важная и актуальная задача, позволяющая расширить возможности данного класса материалов в электронике.

В данной статье рассмотрены основные методы измерения, которые были использованы в настоящей работе, а также последовательность и описание приготовления экспериментальной установки. В качестве объекта исследования был использован полидифениленфталид (ПДФ).

Одним из важных этапов исследования свойств тонких полимерных слоев связан с переходом фундаментальных и прикладных исследований в области органической электроники к коммерческому применению. Глобальная проблема органических полимеров заключается в плохой устойчивости к внешним факторам, а также низкая подвижность носителей заряда и их малая концентрация.

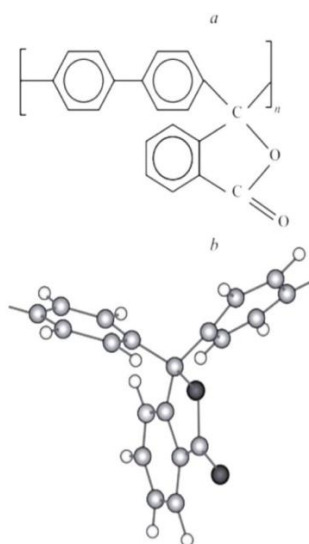


Рис. 1. Структурная формула (a) и модельное трехмерное изображение (b) полидифенилфталаида

Для проведения экспериментальных образцов были изготовлены растворы полидифениленфталаида с добавками графена RG-S1 с 100 и 200 мкл. В качестве растворителя полимера был использован органический растворитель – циклогексанон. Циклогексанон – органическое соединение, алициклический кетон с химической формулой  $C_6H_{10}O$ , бесцветная маслянистая жидкость с запахом мяты и ацетона. Таблица характеристики графенового порошка RG-S1.

Изготовление образцов происходило в несколько этапов: предварительная подготовка подложки, нанесение полимера, напыление электродов. Последовательность была следующей:

Чистка подложек была выполнена в следующей последовательности:

- очистка подложки в ацетоне, изопропиловым спиртом для удаления от грязи и пыли;
- После промывки ацетоне и спирте, стекла промываются в дистиллированной воде и также в ультразвуковой ванне на 3 мин по 3 раза;
- После подложку отправляют в сушильный шкаф до полного высыхания;
- До изготовления масок, подложки помещаются в вакуумный шкаф.

После очистки и сушки стекла, были нанесены полимеры: чистый ПДФ с 5% концентрацией, ПДФ с графеном 100 мкл и ПДФ с графеном 200 мкл в цик-

логексаноне методом центрифугирования. В работе была использована центрифуга «CentrifugeCM – 50»

Образцы охлаждались в криостате от 100-300К.

После были получены следующие результаты в ходе экспериментальных исследований.

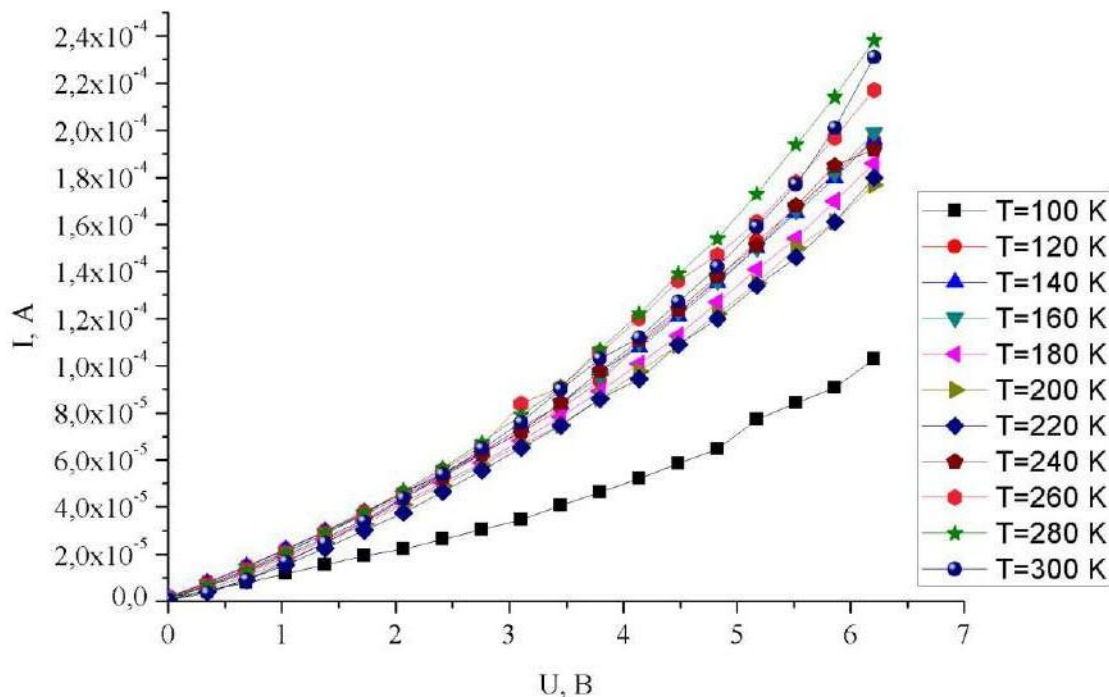


Рис. 2. ВАХ экспериментальной структуры (обратное включение)

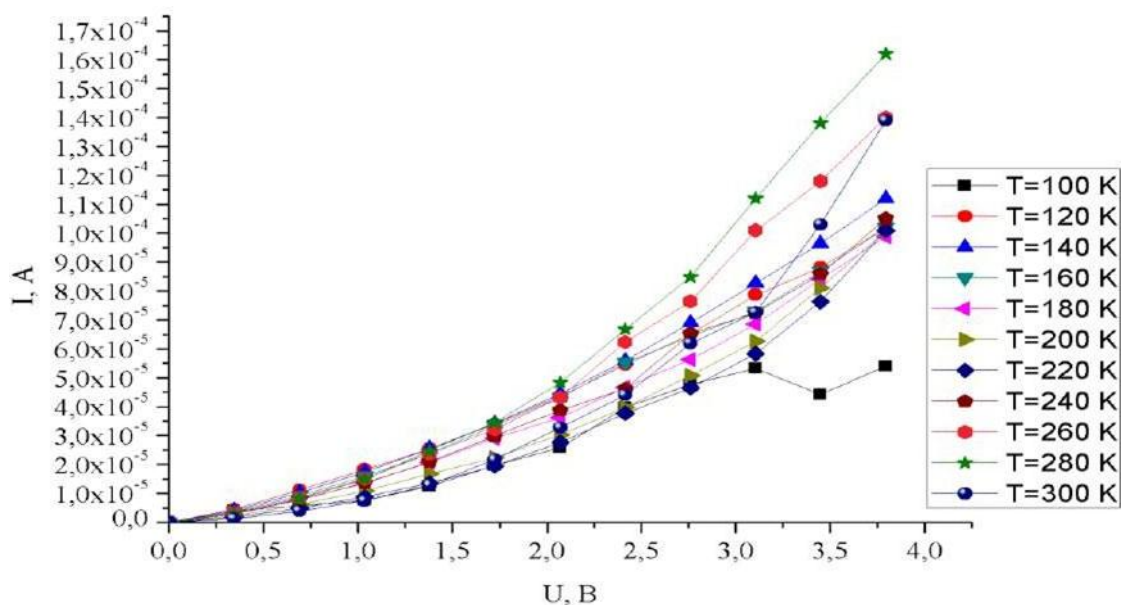


Рис. 3. ВАХ экспериментальной структуры (прямое включение).

На рисунках 2 и 3 представлены ВАХ исследуемой структуры ИТО- ПДФ-

Сu измеренные при разных полярностях. Как можно видеть, ВАХи имеют нелинейный характер, причем значения прямых токов и обратных отличаются. На основе измеренных ВАХ были построены зависимости тока от напряжения в полулогарифмических координатах (Рис. 4), по которым в рамках модели Ричардсона-Шоттки (формула 1) были получены значения величин потенциальных барьеров на границе ИТО/ПДФ и Сu/ПДФ.

$$\phi B_n = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{A^{**} T^2}{J_s} \right), \quad (1)$$

$J_s$  — плотность тока насыщения, которая находится путем линейной экстраполяции ВАХ к  $V = 0$ .

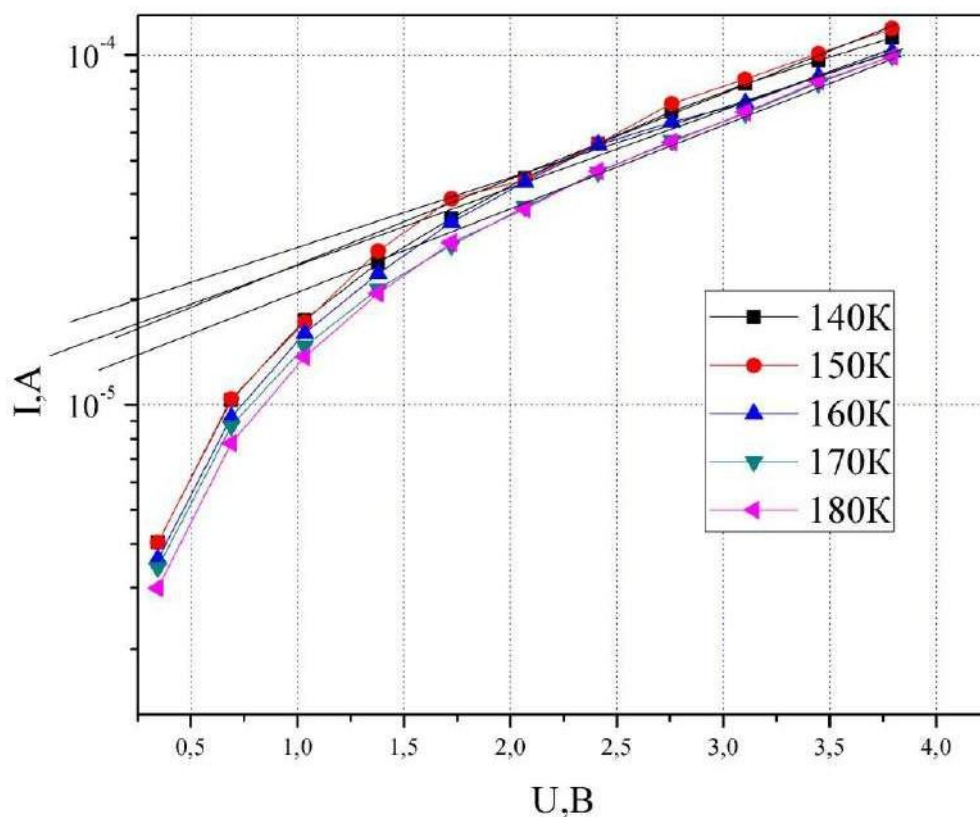


Рис. 4. ВАХ экспериментальной структуры (прямое включение) в полулогарифмических координатах

На рисунке 5 представлены зависимости величины потенциального барьера от температуры. Как можно видеть из полученной зависимости, с ростом температуры величина потенциального барьера возрастает  $\sim 3,4 - 4$  раза для барьеров Сu/ПДФ и ИТО/ПДФ.

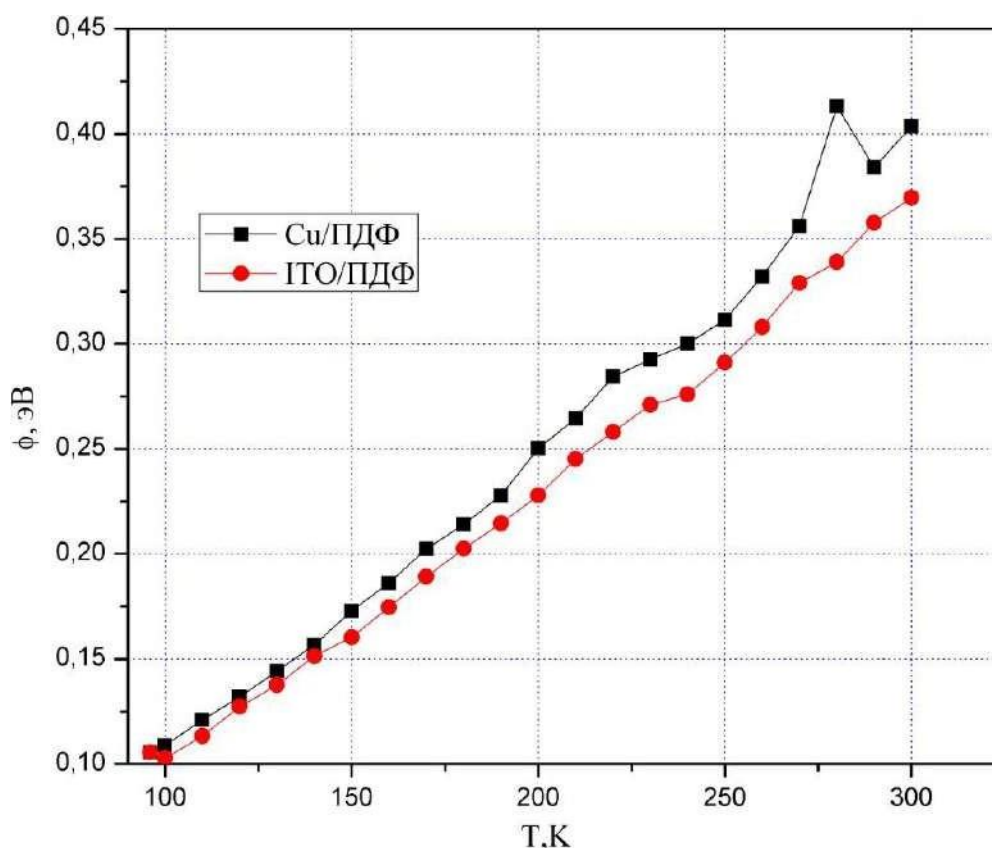


Рис. 5. Зависимость барьера на границе Cu/ПДФ и ITO/ПДФ от температуры

Для определения механизма переноса носителей заряда в тонких пленках ПДФ с добавками графена, были проведены теоретические расчеты и перестроение полученных ВАХ в координата Шоттки, Фаулера-Нордгейма и Пула-Френкеля.

Высокая проводимость углеродных наноматериалов усложняет процесс допирования тонких пленок полимерного диэлектрика. В частности, подборка концентраций и толщины определили основную часть работы над выпускной квалификационной работой. Выбор экспериментальной структуры на основе оксида индия и олова был обусловлен большим количеством образцов. Применение металлических электродов существенно ограничивало скорость изготовления и тестирования экспериментальных структур.

В результате работы были получены 2 экспериментальные структуры обладающие необходимым уровнем электропроводности, позволяющий провести измерения вольтамперных характеристик.

Измерения ВАХ были проведены в широком диапазоне температур (от 100

- 300 К). Согласно полученным результатам, ВАХ имеют нелинейную зависимость. Для определения механизмов проводимости в структуре ИТО- ПДФ- Cu были рассмотрены зависимости в координатах Шоттки, Фаулера- Нордгейма и Пула-Френкеля.

Изучение температурных зависимостей ВАХ позволило оценить величину изменения потенциального барьера на границе ИТО/ПДФ и Cu/ПДФ. Согласно полученным результатам, величина барьера для прямого включения возрастает в 3,5 раза, для обратного включения в 4 раза.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бразовский С. А., Гордюнин С. Л., Кирова Н. Н., Письма в ЖЭТФ. – 1981. – Т. 33. – С.
2. Скалдин О. А., и др. Зарядовая неустойчивость в тонких пленках органических полупроводников //Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1990. – Т. 51. – №. 3. – С. 141-141.
3. Лачинов А. Н., Биполярная проводимость полимеров, стимулированная аномальной термической полязуемостью боковых фрагментов молекул //Письма в ЖЭТФ. – 1986. – Т. 44. – №. 6. – С. 272.
4. Лачинов А. Н., Жеребов А. Ю., Корнилов В. М., Аномальная электронная неустойчивость полимеров при одноосном давлении //Письма в ЖЭТФ. – 1990. – Т. 52. – №. 2. – С. 742-745.
5. Лачинов А. Н., Селезнева О. А., Валеева И. Л., Золотухин М. Г. Нетрадиционный механизм допирования в полиареленфталидах ЖПС, 1989, 51, 814.
6. Neto A. H. C., et al. The electronic properties of graphene *Reviews of modern physics*. – 2009. – V. 81. – №. 1. – P. 109.
7. Polya G. About a task of the probability calculation concerning the random walk in the road network *Math. Ann.* – 1921. – V. 84. – P. 149-160.
8. Girardeau M J., *Math. Phys.* 1 516 (1960)
9. Mizushima S., Fujibayashi Y., Shiiki K., Electric Resistivity and Hall Coefficient of Very Thin Graphite Crystals *Journal of the Physical Society of Japan*. – 1971. – V. 30. – №. 1. – P. 299-299.
10. Fujibayashi Y., Electronic properties of very thin graphite crystals *Journal of the Physical Society of Japan*. – 1973. – V. 34. – №. 4. – P. 989-993.
11. Fujibayashi Y., Mizushima S., The Residual Resistivity of Thin Graphite Crystals *Journal of the Physical Society of Japan*. – 1973. – V. 34. – №. 1. – P. 281-281.
12. Ebbesen T. W., Hiura H., Graphene in 3- dimensions: Towards graphite origami. – 1995.

УДК 621.318.1

М. Ю. ЯНТУРАЕВ, А. И. МАНЗУРОВ, Д. А. ГЛУМОВ  
*yanturaev\_makar@mail.ru, manzurov.artur@icloud.com, glumov00@gmail.com*  
Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. Ф. Р. ИСМАГИЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАГНИТОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

**Аннотация.** В данной статье проведен краткий обзор магнитных материалов для сердечников электродвигателей. В качестве примеров приведены прецизионно магнитно-мягкий сплав 49К2ФА, магнитно-мягкий композиционный материал на основе железа и двухфазный магнитный материал на основе кремнистой электротехнической стали.

**Ключевые слова:** двухфазный магнитный материал; магнитно-мягкий композиционный материал; магнитная проницаемость; магнитная индукция; диэлектрик; кремнистая электротехническая сталь.

В настоящее время электрические машины (ЭМ) широко внедряются как в авиационную, так и в автотранспортную промышленность и применение новых магнитных материалов в элементах магнитопровода в последнее время является актуальной темой, т.к. это приводит к улучшению эксплуатационных характеристик, уменьшению массы и габаритов конструкции при сохранении необходимых параметров, что так же приводит к снижению их стоимости и экономии энергоресурсов.

### ***Прецизионно магнитно-мягкий сплав 49К2ФА***

В большинстве электрических машин для магнитопровода статора применяется кремнистая листовая электротехническая сталь. В авиационной промышленности, наиболее распространенной кремнистой электротехнической сталью, является 2421 с толщиной листа 0,18 мм. В последние годы ее альтернативой стал прецизионный магнитно-мягкий сплав железа и кобальта 49К2ФА с толщиной листа 0,2 мм. Химический состав материала 49К2ФА представлен в табл.1 [4]. Это сплав позволил поднять средний уровень индукции в магнитопроводах до 2,1 ... 2,2 Тл при приемлемом уровне удельных потерь [5].

## Химический состав материала 49К2ФА

Fe, %	C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	S, %	P, %	V, %	Co, %
47,2-50	до 0,03	до 0,15	до 0,3	до 0,3	до 0,01	до 0,01	1,7-2	48-50

На рисунке 1 показано сравнение кривых намагничивания для двух сталей, на рисунке 2 удельные потери при частоте перемагничивания 1 кГц.

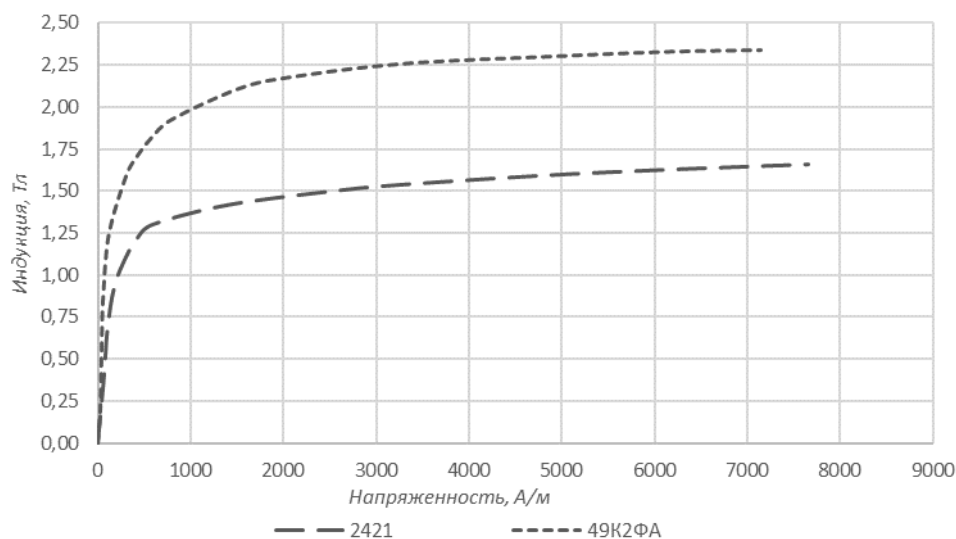


Рис. 1. Кривые намагничивания

Как видно из рисунка 1 при той же напряженности магнитного поля индукция для 49К2ФА на 0,6 Тл выше, что позволяет снизить массу магнитопровода.

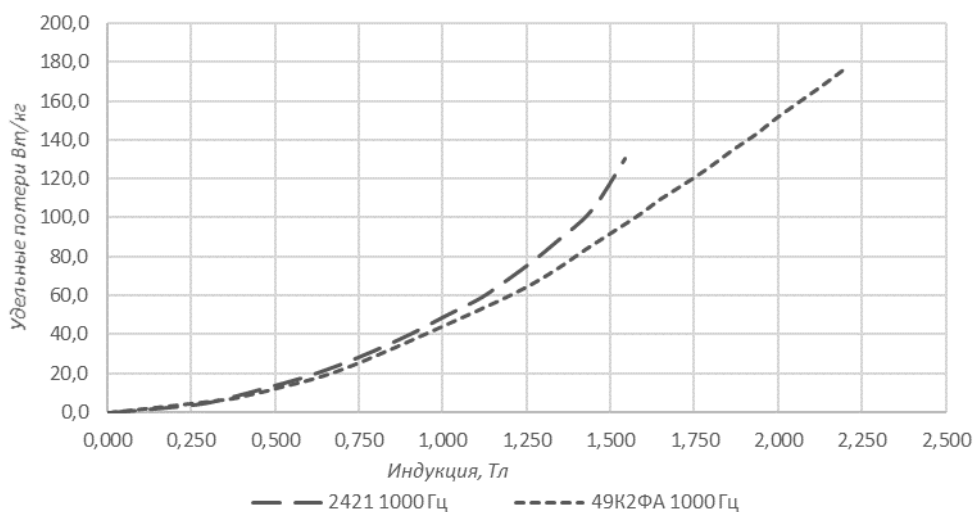


Рис. 2. Удельные потери при частоте перемагничивания 1 кГц



Как видно из рисунка 2 удельные потери при той же индукции для сплава 49К2ФА несколько меньше, чем у стали 2421.

Однако, внедрение сплава сопряжено целым рядом трудностей, основной из которых является высокая магнитострикционность кобальтовых сплавов, появляющаяся в повышенной чувствительности к механическим воздействиям (на сжатие). Допустимая величина удельного давления на материал, которая еще не приводит к значительному снижению магнитных свойств, составляет примерно  $(2 \dots 4) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ . Это ограничение заставило пересмотреть как конструкцию, так и технологию изготовления магнитопроводов из кобальтовых сплавов. Так, пришлось почти полностью отказаться от сварки пакетов магнитопроводов, от запрессовки пакетов в корпус, от всякого рода стяжек. Наиболее целесообразным способом соединения листов магнитопроводов из кобальтовых сталей является склейка. По возможности следует избегать механической обработки собранных пакетов после термообработки.

### *Магнитно-мягкий композиционный материал*

В настоящее время довольно широко используется изготовление различных устройств методом порошковой металлургии, работающих в переменных магнитных полях. Данный метод имеет значительные преимущества при создании прецизионных сплавов, к которым относится большинство магнитных материалов:

- позволяет контролировать состав материала в очень узких пределах,
- позволяет вводить в материал различные наполнители.

Кроме технологических преимуществ, есть и экономическая выгода, потому что стоимость порошковых магнитно-мягких деталей на 30 — 60 % ниже себестоимости тех же деталей, изготовленных обработкой компактного материала. Известно, что изготовление магнитно-мягких изделий трудоемко и связано со значительными потерями (до 60 %) материала, требует большого станочного парка и производственных площадей, привлечения рабочих высокой квалифи-

кации для операции сборки и механической обработки. Использование методов порошковой металлургии для изготовления магнитно-мягких деталей позволяет резко (до 50 %) снизить потери материала и исключить многие трудоемкие и ручные операции, повысить культуру производства, что даст возможность изготавливать узлы электродвигателей с большой экономической эффективностью [6].

В последние несколько лет появился интерес к магнитно-мягким композиционным материалам (ММК), которые представляют собой магнитно-мягкие частицы, обычно на основе железа, с электроизолирующим покрытием. Использование методов порошковой металлургии позволяет производить материалы, дающие более высокую степень свободы в проектировании ММК-деталей по сравнению с использованием наборов стальных пластин, поскольку ММК-материал может переносить трехмерный магнитный поток [7].

Для изучения влияния температуры и концентрации диэлектрика на величину магнитных потерь, магнитную индукцию и проницаемость рассмотрим железный порошок марки АВС100.30 (фирма Хёганес, Швеция). В качестве диэлектрика применяется высокомодульный водный раствор силиката Na. Химический состав и основные свойства порошка марки АВС100.30 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав и основные свойства

Марка порошка	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Текучесть, с	Fe, %	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %	O, %
АВС 100.30	2,99	25	Осн.	0,002	-	-	-	-	0,04

В железный порошок марки АВС100.30 был добавлен высокомодульный раствор силиката Na с модулем 2,8 в количестве 0,3; 0,5 и 1 % по массе (составы 1, 2 и 3 соответственно), образующий пленку за счет поверхностной адгезии. На основе испытаний [3] были получены данные, которые приведены в табл.3.

## Результаты испытания магнитно-мягких образцов

Состав	Термообработка $T = 350^{\circ}$			Термообработка $T = 500^{\circ}$			Термообработка $T = 700^{\circ}$		
	$B$ , Тл при $H = 9000$ А/м	$\mu$	$W$ , Вт/кг при $H = 9000$ А/м, $f = 50$ Гц	$B$ , Тл при $H = 9000$ А/м	$\mu$	$W$ , Вт/кг при $H = 9000$ А/м, $f = 50$ Гц	$B$ , Тл при $H = 9000$ А/м	$\mu$	$W$ , Вт/кг при $H = 9000$ А/м, $f = 50$ Гц
1	1,35	460	12,0	1,38	450	11,6	1,35	400	12,0
2	1,40	430	11,5	1,40	480	11,1	1,36	450	12,0
3	1,35	300	10,0	1,35	320	11,0	1,30	350	11,8

Лучшее сочетание магнитных характеристик показал состав 2 с содержанием диэлектрика 0,5 % по массе. Низкое содержание диэлектрика (менее 0,3 % по массе) не снижает магнитные потери, так как диэлектрическая пленка имеет слишком малую толщину, а также не происходит полного обволакивания частиц порошка диэлектриком, но положительно влияет на магнитную проницаемость. Высокое содержание диэлектрика отрицательно влияет на магнитную проницаемость, но положительно на магнитные потери, что объясняется большой толщиной диэлектрической прослойки. Так же оптимальной являлась термообработка при  $T = 500^{\circ}$ , так как низкие температуры термообработки не позволяют снять внутренние напряжения в частицах порошка и повысить магнитные характеристики, а высокие температуры (выше  $T = 700^{\circ}$ ) превышают термостойкость диэлектрического покрытия.

### *Двухфазный магнитный материал*

Одним из новых перспективных материалов является двухфазный магнитный материал, который содержит как магнитную, так и немагнитную фазы, и позволяет управлять направлением магнитного потока, что открывает возможность для проектирования нескольких различных топологий машин [2].

Впервые двухфазный магнитный материал в своих электрических машинах использовала компания General Electric, а именно в своей вентильно-индукторной машине [8].

Получение такой структуры материала достигается за счет специальной обработки, которая выполняется по принципу нанесения одного слоя на другой, а области, которые должны сохранить свои магнитные свойства, изолируются. Области, которые должны стать немагнитными, подвергаются процессу азотирования [1].

Наибольшее преимущество применения данного материала заключается в том, что переемы и центральные опоры в пластинах ротора могут быть немагнитными, что позволяет сделать их толстыми, чтобы они выдерживали большие механические нагрузки, сводя к минимуму шунтирующий магнитный поток в этих областях. Данная конструктивная модификация может оказать значительное влияние на повышение плотности мощности и/или эффективности. Также она может привести к повышению коэффициента мощности, что приведет к снижению номинальной мощности преобразователя мощности в кВА и уменьшению размеров кабеля. Еще эта технология позволит выборочно вводить области с переменной проницаемостью, что может использоваться для уменьшения пульсации крутящего момента, а также для введения важных функций, которые могут использоваться для бес сенсорного управления.

Использование двухфазного магнитного материала может иметь значительное влияние на индуктивные потери электрической машины. В случае вентильно-индукторных машин (SRM) ротор может быть изготовлен с использованием целых дисков, а немагнитные области вводятся в межполярные области. Таким образом создается машина с гладким ротором и явным полюсом (рис. 3)

с магнитной точки зрения. Это может оказать существенное влияние на снижение потерь на воздух, а также пульсации крутящего момента [1].

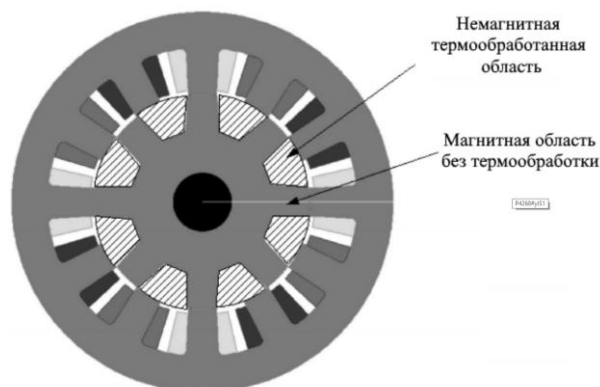


Рис. 3. Вентильно-индукторная машина, использующая двухфазный материал

Исследования показывают, что двухфазные магнитные материалы оказывают существенное потенциальное влияние на различные топологии машин, но по самым оптимистичным оценкам этот материал будет стоить минимум в 2 раза дороже обычной кремнистой стали.

В данной статье рассмотрены перспективные магнитные материалы, которые используются в электрических машинах. Определены основные преимущества и недостатки каждого из материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. El-Refaiе A. Role of advanced materials in electrical machines // CES Transactions on Electrical Machines and Systems. – 2019. – Т. 3. – №. 2. – С. 124-132.
2. Reddy P. V. et al. Design of synchronous reluctance motor utilizing dual-phase material for traction applications // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2017. – Т. 53. - №. 3. – С. 1948-1957.
3. Влияние способа изолирования частиц на характеристики магнитомягких композиционных материалов / А.Э. Ритсо [и др.] // Труды Таллинского политехнического ин-та, 1984. № 506.
4. ГОСТ 10160-75 Сплавы прецизионные магнитно-мягкие. Технические условия. – М., 1976.
5. Науменко В. И. Конструирование электрических машин летательных аппаратов: Учебное пособие. – М.: МАИ, 1987. – 52 с., ил.
6. Панасюк. О.А. Порошковые магнитомягкие материалы // Порошковые магнитные материалы. Киев. 1984. С. 90-110.
7. Пат. 2389099 РФ, МПК H01F1/24. Магнитно-мягкие композиционные материалы / Б. Скорман, Е. Чжоу, П. Янссон. Оpubл. 10.05.2010, Бюл. № 13.
8. Патент США №20080238236 A1, 02.10.2008.
9. Справочник по электротехническим материалам: в трех томах. Т3 / Под редакцией Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

## СЕКЦИЯ 3.6 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 62.03

А. Я. АХКАМОВ

*1411azatik200015@gmail.com*

Науч. руковод. – вед. инж.-констр. М. Ф. ГИЛЬМАНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

### МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

*Аннотация.* В настоящее время улучшение показателей машин общего назначения достигается, в основном, за счет повышения качества материалов, применяемых при их изготовлении. В данной работе рассматриваются виды материалов, применяемых исходя из свойств материала и их преимущества.

*Ключевые слова:* материалы, машины, магниты, металлы.

Материалы, применяемые в электрических машинах, разделяют на конструкционные, активные и электроизоляционные. Конструкционные материалы применяют для изготовления деталей машины, преимущественным назначением которых является восприятие и передача механических нагрузок, а также обеспечение требуемой степени защиты, охлаждения, смены смазки и т.д. (станины, подшипниковые щиты, валы, жалюзи, уплотнители, вентиляторы и др.). В качестве конструкционных материалов используют сталь, чугун, цветные металлы и их сплавы, пластмассы.

Активные материалы служат для протекания в машине электромагнитных процессов. Эти материалы подразделяют на магнитные и проводниковые. Одним из важнейших свойств электроизоляционных материалов является нагревостойкость - способность материала сохранять свои электроизоляционные и механические свойства при воздействии рабочих температур в течение времени, определяемого сроком службы электрической машины. Как отмечалось, все электроизоляционные материалы разделены на 12 классов нагревостойкости. Однако в современных электрических машинах применяют изоляционные ма-

териалы лишь трех классов В, F и H, обладающие наиболее высокой нагревостойкостью.

*Конструктивные и активные материалы.* Из конструктивных материалов изготавливаются части машины, несущие механическую нагрузку. В электромашиностроении применяются в основном те же конструктивные материалы, что и в общем машиностроении. К ним относятся сталь, чугун, цветные металлы и пластмассы. Активные материалы служат для проведения магнитного потока машины и электрического тока и делятся на токопроводящие и магнитопроводящие. В качестве основного токопроводящего материала до последнего времени использовалась медь. В последние годы в качестве проводникового материала начали применять более дешевый и широко распространенный алюминий. Его достоинствами являются низкий удельный вес, более высокая проводимость на единицу веса, легкость механической обработки и хорошие антикоррозийные свойства. Недостатком алюминия является повышенное удельное электрическое сопротивление и плохая свариваемость. Вследствие повышенного удельного электрического сопротивления машины с алюминиевыми обмотками имеют большие габариты. В электромашиностроении широко применяют различные медные сплавы, например латунь, фосфористую бронзу и т. д. К токопроводящим элементам следует отнести также щетки, при помощи которых осуществляется съем тока с вращающихся обмоток через контактные кольца или коллектор. Щетки обычно изготавливаются на основе графита, угля и меди. Основным магнитопроводящим материалом является листовая легированная электротехническая сталь, содержащая от 2 до 5 % кремния. Присадка кремния уменьшает потери на гистерезис. Вследствие увеличения удельного электрического сопротивления стали уменьшаются потери на вихревые токи. Сталь становится устойчивой к окислению и старению, но делается более хрупкой. В последние годы широко используется холоднокатаная текстурованная сталь с более высокими магнитными свойствами в направлении проката. Сердечник магнитопровода выполняется в виде пакета, собранного из листов штампован-

ной стали. Толщина стального листа от 0,5 до 0,15 мм. Для проведения постоянного магнитного потока широко используется стальное литье и чугун.

*Электроизоляционные материалы.* Электроизоляционные материалы применяются для электрической изоляции токоведущих частей машины. Изоляция обмоточных проводников машины в значительной мере определяет ее технико-экономические показатели и эксплуатационные качества. От толщины изоляции существенно зависят габариты и вес машины. Применяемые изоляционные материалы должны иметь высокую электрическую прочность, быть нагрево-, влаго- и химически стойкими. Изоляция должна также обладать высокими удельными сопротивлениями и малыми диэлектрическими потерями. От твердых материалов требуется достаточная механическая прочность. По условию нагревостойкости твердые электроизоляционные материалы делятся на семь классов. Наибольшее распространение до последнего времени имели материалы класса А, к которому относятся пропитанные бумага, картон, дерево, хлопчатобумажные и шелковые ткани и ленты. Материалы пропитываются с целью улучшения электрической прочности и теплопроводности, а также для уменьшения гигроскопичности. Пропитывающими веществами могут служить трансформаторное масло, масляные лаки и битумные составы. Допустимая температура нагрева для материалов этого класса составляет 105 °С. При отсутствии пропитки эти изоляционные материалы принадлежат к классу У, их допустимая температура нагрева 90 °С. В последнее время начинают широко применять синтетические изоляционные материалы, которые имеют малую толщину и высокие электрические и механические показатели.

Синтетические органические пленки типа лавсан, пластмассы с органическим наполнителем и слоистые пластики принадлежат к электроизоляционным материалам класса Е, допустимая температура нагрева которых 120 °С. К материалам класса В принадлежат изделия из слюды, асбеста и стеклянного волокна, содержащие для их связывания и пропитки органические лаки и смолы повышенной нагревостойкости, а также изделия из пластмассы с неорганиче-



ским наполнителем. К этому классу относятся такие высококачественные материалы, как микалента и микафолей, изготавливаемые из пластинок слюды, склеенных между собой и наклеенных на бумагу. Они хорошо удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к изоляционным материалам, но относительно дороги. Предельно допустимая температура нагрева для материалов класса В 130 °С.

В последнее время получает широкое распространение синтетическая изоляция типа термопластик, изготовленная на слюдяной основе с применением термоактивного полиэфирстирольного компаунда. Электроизоляционные и механические свойства термопластика выше, чем микаленты, но он имеет более сложную технологию изготовления. Изделия из слюды, асбеста и стеклянного волокна, на основе синтетических пропитывающих составов, принадлежат к электроизоляционным материалам класса F, их допустимая температура нагрева 155 °С. Те же материалы, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связывающими и пропитывающими веществами, принадлежат к классу H, допустимая температура нагрева которого 180 °С. Кремнийорганическая изоляция является особенно перспективной, хотя она в настоящее время относительно дорога. К материалам класса С относятся изделия из слюды, стекла, стекловолокна, фарфора и других неорганических материалов без примеси органических связывающих веществ. Допустимая температура для материалов этого класса не ограничивается.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://helpiks.org/9-11109.html>
2. <https://leg.co.ua/info/elektricheskie-mashiny/materialy-primenyaemye-v-elektricheskikh-mashinah.html>
3. <https://cyberleninka.ru/article/n/materialy-primenyaemye-v-elektromashinostroenii/viewer>

УДК 621.313

И. И. АХМАТГАЛИЕВ, И. Ф. САЯХОВ

*iranovox@mail.ru*

Науч. руковод. – проф. Ф. Р. ИСМАГИЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **КОНСТРУКЦИЯ И МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ**

**Аннотация.** Рассматриваются конструкционные особенности электродвигателя и электрогенератора в летательных аппаратах входящие в состав гибридно-силовых установок.

**Ключевые слова:** электрическая машина; гибридная силовая установка; электродвигатель; электрогенератор; магнитная сборка Хальбаха.

Гибридные силовые установки являются ключевыми компонентами электрических самолетов. Гибридные силовые установки позволяют повысить экономические и экологические показатели современных самолетов, такие как увеличение дальности полета и снижение вредных выбросов в окружающую среду. Данные преимущества определяются применением электрических машин в составе гибридной силовой установки. К электрическим машинам гибридных силовых установок уже на этапе проектирования предъявляются строгие требования по минимизации массы и габаритов, а также повышения их надежности, снижения стоимости производства и эксплуатации. Кроме того, к электрическим машинам в составе гибридных силовых установок предъявляются требования по расширению их функциональных возможностей. К примеру, электрические машины помимо высокой эффективности должны обладать высокой перегрузочной способностью, иметь возможность работы в режимах стартера, генератора и двигателя.

Электрические генераторы, применяемые в гибридных силовых установках, проектируются на высокие частоты вращения от 15000 до 5000 об/мин. В первую очередь это связано с тем, что электрический генератор устанавливается на вал высокоскоростной турбины. Таким образом достигаются высокие удельные характеристики электрического генератора. Электрические двигатели в составе гибридной силовой установке являются приводами пропеллеров, ко-

которые приводят в движение самолет. Данные электрические двигатели работают на частотах вращения от 1000 до 4000 об/мин, что определяется частотой вращения пропеллера. Возможность достижения высоких удельных характеристик для электродвигателя с учетом относительно низкой частоты вращения лежит в увеличении числа полюсов, что позволит повысить частоту и снизить массу и габариты. При этом как электродвигатель, так и электрогенератор должны обеспечивать стабильную работу при повышенных механических, тепловых и электромагнитных нагрузках.

В настоящее время наиболее перспективными типами электродвигателями и электрогенераторами, которые обладают всеми необходимыми требованиями для гибридных силовых установок электрических самолетов, являются электрогенератор и электродвигатель с постоянными магнитами. К основным преимуществам данных электрических машин можно отнести отсутствие щеточно-коллекторного узла, а также наличие высококоэрцитивных постоянных магнитов на полюсах ротора, что дает возможность повысить удельную мощность и эффективность.

Удельные параметры современных электрических машин в большей степени ограничены характеристиками активных материалов. На данный момент уже имеются новые композитные материалы существенно превосходящие традиционные материалы по характеристикам. Однако их широкое распространение и применение во всех элементах электрических машинах сдерживается экономическими и технологическими факторами. Поэтому в данной работе были использованы традиционные материалы для активных частей электрических машин, которые являются на данный момент самыми передовыми во всем мире. Так в качестве материала сердечника статора применяется кобальтовая сталь Vasoflux с толщиной листа 0,18 мм, которая характеризуется высоким магнитным насыщением до 2,3 Тл. Проводники обмотки статора выполнены из медно-никелевого сплава с полиимидной изоляцией с диаметром жилы 0,5 мм, максимальная рабочая температура данных проводников 220°C. Постоянные

магниты выполнены из NdFeB марки N45UH с остаточной индукцией 1,35 Тл и коэрцитивной силой 1023 кА/м при 20°C с максимальной рабочей температурой 180°C.

Конструкция электродвигателя для гибридной силовой установки представляет собой трехфазный бесщеточный двигатель постоянного тока с внешним ротором и магнитной сборкой Хальбаха. Наличие внешнего ротора позволяет минимизировать величину воздушного зазора благодаря отказу от бандажной оболочки, удерживающей постоянные магниты. Также данная конструкция позволяет улучшить характеристики благодаря внутренней конструкции статора. Это обеспечивает достаточно места для системы охлаждения без увеличения габаритных размеров. К тому же внешний ротор при вращении интенсивно обдувается воздушным потоком, что положительно сказывается на охлаждении. Применение магнитной сборки Хальбаха позволяет отказаться от массивного ярма ротора, что снижает полную массу активной части. Каждый полюс в сборке Хальбаха состоит из четырех магнитов, такая схема также называется синусоидальной сборкой Хальбаха.

Количество пазов и полюсов, а также размеры пазов для электродвигателя и электрогенератора выбираются исходя из критерия минимизации индуктивностей и получения наиболее высокого обмоточного коэффициента. При выборе количества полюсов также учитывается частота перемагничивания, которая влияет на потери в стали. Характеристики постоянных магнитов ухудшаются с ростом температуры. Для минимизации потерь на вихревые токи в постоянных магнитах, полюс ротора разбивается на сегменты в аксиальном направлении.

Конструкция электрогенератора для гибридной силовой установки представляет собой трехфазный синхронный генератор на постоянных магнитах с выпрямителем. В данном случае тип ротора выбирается внутренним. Это обусловлено тем, что максимальный внешний диаметр ротора определяется механической прочностью постоянных магнитов. И на высоких частотах вращения

приходится выполнять ротора с малым диаметром и большой длиной. В конструкции с внутренним ротором необходимо наличие бандажной оболочки для удержания постоянных магнитов, что увеличивает величину немагнитного зазора. Критерием выбора формы полюсов ротора в электрогенераторе было максимальное приближение к синусоидальному распределению магнитного потока в немагнитном зазоре.

Система охлаждения как электродвигателя, так и электрогенератора, представляет собой жидкостную систему охлаждения. Хладагент поступает в полость, в которой расположен статор. В качестве хладагента применяется авиационное топливо с начальной температурой 100°C. Такой тип охлаждения обеспечивает максимальный теплоотвод. При этом зона статора герметична и отделена от зоны ротора герметичным рукавом. Данный рукав из стеклопластика, который располагается в воздушном зазоре и плотно прилегает к расточке статора.

Таким образом выбранные материалы, конструкция и система охлаждения позволяют получить максимальные удельные характеристики для электродвигателя и электрогенератора в гибридных силовых установках.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.В. Бахмутов, А.Л. Карунин, А.В. Круташов, В.В. Ломакин, В.В. Селифонов, К.Е.Карпухин, Е.Е. Баулина, Ю.В. Урюков Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: Учебное пособие. — М.: МГТУ «МАМИ», 2007 — 71 с.
2. Балагуров В.А., Галтеев Ф.Ф., Ларионов А.Н. Электрические машины с постоянными магнитами М.-Л. Издательство "Энергия", 1964, - 480 с.

УДК 62.7

З. Ф. АХМАТШИН

*ahmatshin2000@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, проф. О. А. ЮШКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ГРУНТОВЫХ НАСОСОВ**

**Аннотация.** В работе рассмотрены конструкции грунтовых насосов различных производителей, выявлены их достоинства и недостатки, определены технические характеристики.

**Ключевые слова:** грунтовый насос; электродвигатель.

Грунтовые насосы представляют собой устройства для перекачивания разбавленных водой механических смесей (гидросмесей) с твердыми включениями по напорным трубопроводам. Как правило размещаются грунтовые насосы (ГН) на землесосных снарядах (плавучая машина для выемки грунта и горных пород, находящаяся подслоем воды) или землесосных установках. ГН могут быть с горизонтально и вертикально расположенным валом, погружные (рис. 1). Однако второй вариант используется крайне редко и при особых условиях. Также грунтовые насосы могут быть однокорпусной и двухкорпусной конструкции. Двухкорпусные грунтовые насосы служат для перекачивания сложных материалов (абразивных, крупнообломочных), для чего их корпуса оснащаются защитной рубашкой. Главным рабочим элементом грунтового насоса служит рабочее колесо, которое отвечает за передачу энергии потоку гидросмеси, обеспечивая при этом минимальные потери, а внутренняя оболочка (в случае двухкорпусных насосов) служит для защиты основного внешнего корпуса от абразивных частиц перекачиваемой среды [1].



Рис. 1. Грунтовой насос погружной с режущими винтами

Структурно ГН – это агрегат, состоящий из самого насоса и электрического двигателя, соединительной муфты и фундаментной плиты.

Основными параметрами в выборе насосов являются показатели расхода, напора, мощности и КПД. Также для грунтовых насосов важен режим подачи, оптимальная величина которого является важным критерием, влияющим на долговечность и энергоэффективность. При проектировании также необходим анализ перекачиваемой гидросмеси (пульпы), ее свойств и фракционного состава твердых частиц. В свою очередь долговечность проточной системы грунтового насоса определяется концентрацией твердых веществ и размерами частиц. Поток гидросмесей при разном наборе характеристик ведут себя по-разному, и, соответственно, характер абразивного изнашивания в проточных системах грунтовых насосов будет отличаться.

В результате проведенного обзора выявлены производители и конструкции ГН, например, АО «Цимлянский судомеханический завод» [2], АО «Баймакский литейно-механический завод» [3], АО «ГИДРОМАШСЕРВИС» [4], ООО «Свердловский завод погружных насосов» [5], ОАО «Бобруйский машиностроительный завод» [6], из зарубежных *Grandfar*, *Speroni*, *ENCE GmbH* и другие, которые разрабатывают различные вариации ГН.

На рис. 2 представлен ГН центробежного типа



Рис. 2. Грунтовой насос центробежный

Для режима работы ГН характерно постоянство направления вращения; длительность работы при относительно неизменной нагрузке; относительно небольшие значения момента сопротивления при пуске и пропорциональность его квадрату частоты вращения. Перечисленные особенности обуславливают ограниченные требования к электроприводу насосов, который выполняется с нереверсируемыми асинхронными (короткозамкнутым или фазным ротором) или синхронными двигателями [7].

Электрические двигатели могут быть на напряжение 380 В – для насосов небольшой и средней мощности или 6000 В – на высокие мощности.

Для определения мощности двигателя ГН используется следующее выражение [8]:

$$P = \frac{k\gamma QH}{1000\eta_n\eta_p}$$

где де  $k$  – коэффициент запаса (1,1–1,4);  $\gamma$  – удельный вес перекачиваемой жидкости, Н/м<sup>3</sup>, например для холодной воды равен 9810;  $Q$  – производительность насоса, м<sup>3</sup>/с;  $H$  – напор насоса, м;  $\eta_p$  – КПД передачи (при непосредственном соединении насоса с двигателем  $\eta_p=1$ );  $\eta_n$  – КПД насоса принимают равным: для центробежных насосов с давлением свыше 39 000 Па – 0,6-0,75; с давлением ниже 39 000 Па – 0,3-0,6 (лучше всего КПД определять по данным каталогов).



Также при выборе двигателя нужно учитывать, что у центробежного насоса мощность, напор, производительность и частота вращения связаны следующими соотношениями:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}; \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{M_1}{M_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}.$$

Таким образом, при проектировании ГН необходимо определиться с типом электродвигателя, рассчитать его необходимую мощность, исходя из требуемого напора и производительности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Описание грунтовых насосов [Электронный ресурс] URL: [https://ence-pumps.ru/gruntovye\\_nasosy/](https://ence-pumps.ru/gruntovye_nasosy/), (дата обращения 10.09.2022).
2. Официальный сайт компании АО «Цимлянский судомеханический завод», Электронный ресурс: URL <https://csmz.ru/catalog/gruntovie-nasosi/>, (дата обращения 10.09.2022).
3. Официальный сайт компании АО «Баймакский литейно-механический завод», Электронный ресурс: URL <https://www.blmzbnk.ru/---cmv5>, (дата обращения 10.09.2022).
4. Официальный сайт компании АО «ГИДРОМАШСЕРВИС», Электронный ресурс: URL <https://www.hms.ru/about/>, (дата обращения 10.09.2022).
5. Официальный сайт компании ООО «Свердловский завод погружных насосов», Электронный ресурс: URL <https://ufa.ecv-nasos.ru/katalog/gryntovie/2grt-k-400-40>, (дата обращения 10.09.2022).
6. Официальный сайт компании ООО «Свердловский завод погружных насосов», URL <http://hms-bmbpump.ru/about/Каталог%20серийных%20грунтовых%20насосов.pdf>, (дата обращения 10.09.2022).
7. Управление приводом водяных и грунтовых насосов., Электронный ресурс: URL <http://niidg.ru/elektrika/upravlenie-privodom-vodyanyx-i-gruntovyx-nasosov/>, (дата обращения 10.09.2022).
8. Электронный ресурс: URL <https://electrichelp.ru/raschet-moshhnosti-dvigatelya-nasosa/>, (дата обращения 10.09.2022).

УДК 621.324.21

О. Ю. ВЕРШИНИН, А. В. СТЫСКИН

072240@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. В. СТЫСКИН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТРАНСФОРМАТОРА

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы оптимизации магнитной системы параметрических трансформаторов. Известно, что в параметрических трансформаторах согласно их принципу действия при насыщении участков пересечения магнитопроводов, имеет место повышенный расход энергии, что снижает энергоэффективность и КПД всего устройства. Проведено моделирование с использованием программы Ansys Maxwell. По результатам проведенной работы сделаны выводы, и определена оптимальная конфигурация магнитной системы.

**Ключевые слова:** параметрический трансформатор, глубина модуляции индуктивности, колебательный контур.

Применение метрологического, приемопередающего и силового оборудования на одном объекте иногда накладывает дополнительные требования на источники питания в области фильтрации и защиты от помех. Наилучшую развязку по цепи питания можно получить, используя параметрические трансформаторы, так как они не имеют индукционной связи между первичной и вторичной обмотками, а емкостная связь в таких трансформаторах меньше чем в обычных. Несмотря на вышеуказанное преимущество параметрических трансформаторов, они имеют существенный недостаток – это низкий КПД, обусловленный необходимостью насыщения магнитной системы.

Принцип действия параметрического трансформатора основан на возникновении периодических колебаний в колебательном контуре при изменении индуктивности обмотки колебательного контура и преобразовании магнитной энергии в электрическую. Процесс возбуждения колебаний описан достаточно детально в [1,2], а классическая конструкция ПТ приведена в патенте Парамонова [4]. Понимание процесса передачи энергии при таком возбуждении дает уравнение ЭДС выраженное через потокосцепление.

$$E = d\Psi/dt = L di/dt + I dL/dt.$$

составляющая « $L di/dt$ » это обычная индукционная ЭДС, а составляющую « $I dL/dt$ » называют параметрической ЭДС.

Степень изменения индуктивности зависит от изменения магнитной проницаемости при насыщении и конфигурации магнитной цепи, а также от объема насыщаемой части сердечника.

Оптимизация параметров ПТ должна быть направлена на увеличение глубины модуляции индуктивности при уменьшении объема насыщаемой части. Наибольшую степень изменения магнитной проницаемости обеспечивает магнитная система со встречными магнитными потоками рис.1. [3].

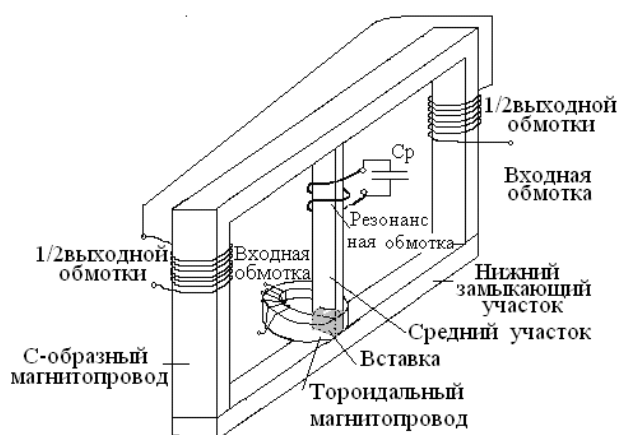


Рис. 1. Параметрический трансформатор со встречными потоками и разделением рабочей и резонансной обмоток

Была проведена работа по моделированию насыщаемой части сердечника при различных размерах (конфигурациях, вариантах) управляющего сердечника.

Для осуществление данной работы мной была использована программа *ANSYS Electronics 2019R3*.

1. Стандартная модель первичной обмотки параметрического трансформатора на тороидальном магнитопроводе

Была спроектирована модель первичной катушки трансформатора на тороидальном магнитопроводе из простейших элементов предлагаемых программой, были заданы входные параметры параметрического

трансформатора и подкорректированы свойства используемых материалов в соответствии с выбранными характеристиками.

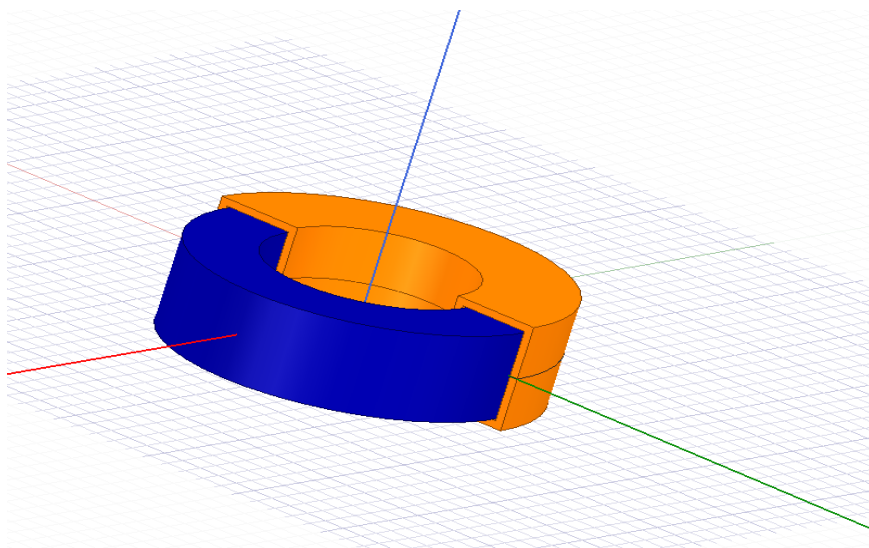


Рис. 2. Модель первичной обмотки параметрического трансформатора на тороидальном магнитопроводе

Для получения наиболее объективных результатов исследования была создана воздушная область вокруг спроектированной модели, были учтены влияния вихревых токов на магнитопровод и сопротивление медного проводника. Обозначены контрольные точки и протекание электрического тока

Технические данные

- 1) Входная частота  $f=50$  Гц;
- 2) Действующее значение входного напряжения = 220 В;
- 3) Номинальное значение тока нагрузки 0,58 А;

Для исследования насыщаемости на отдельных участках магнитопровода был смоделирован процесс изменения магнитной индукции на коротком участке времени.

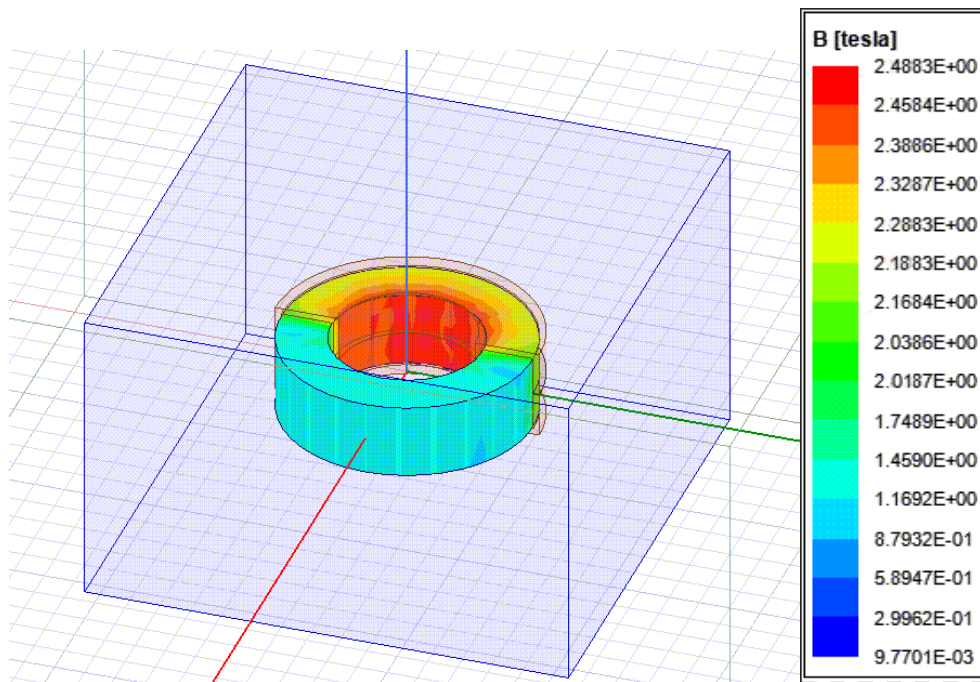


Рис. 3. Снятие значений магнитной индукции на тороидальном магнитопроводе

Как можно наблюдать по рис.3 значение магнитной индукции магнитопровода на противоположной стороне от катушки имеет крайне низкие значения, что негативно влияет на выходные характеристики изготавливаемого трансформатора.

2. Модель первичной обмотки параметрического трансформатора на тороидальном магнитопроводе с уменьшением объема магнитопровода в рабочей зоне

Для получения насыщения противоположной от катушки стороны сердечника уменьшим толщину магнитопровода непосредственно в зоне будущего стыка с Ш-образным магнитопроводом.

Толщина магнитопровода в рабочей зоне была уменьшена в 1,5 раза, с целью добиться наибольшего изменения магнитной проницаемости и более правильного распределения магнитного потока. Таким образом достигается уменьшения объема сердечника, что вызовет большее насыщение магнитопровода в этой области, при неизменных входных параметрах параметрического трансформатора.

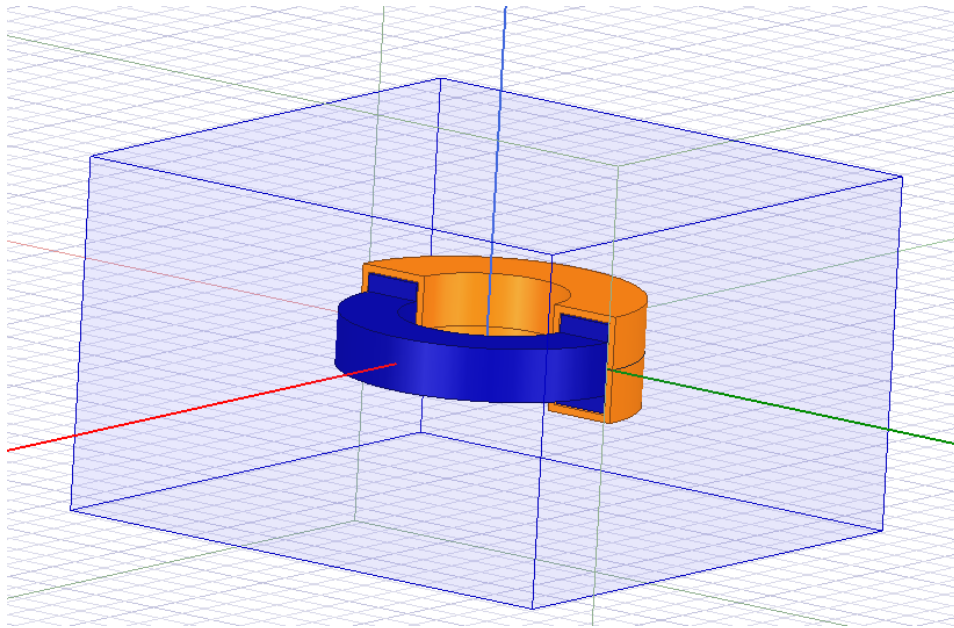


Рис. 4. Модель первичной обмотки параметрического трансформатора на тороидальном магнитопроводе с уменьшением объема магнитопровода в рабочей зоне

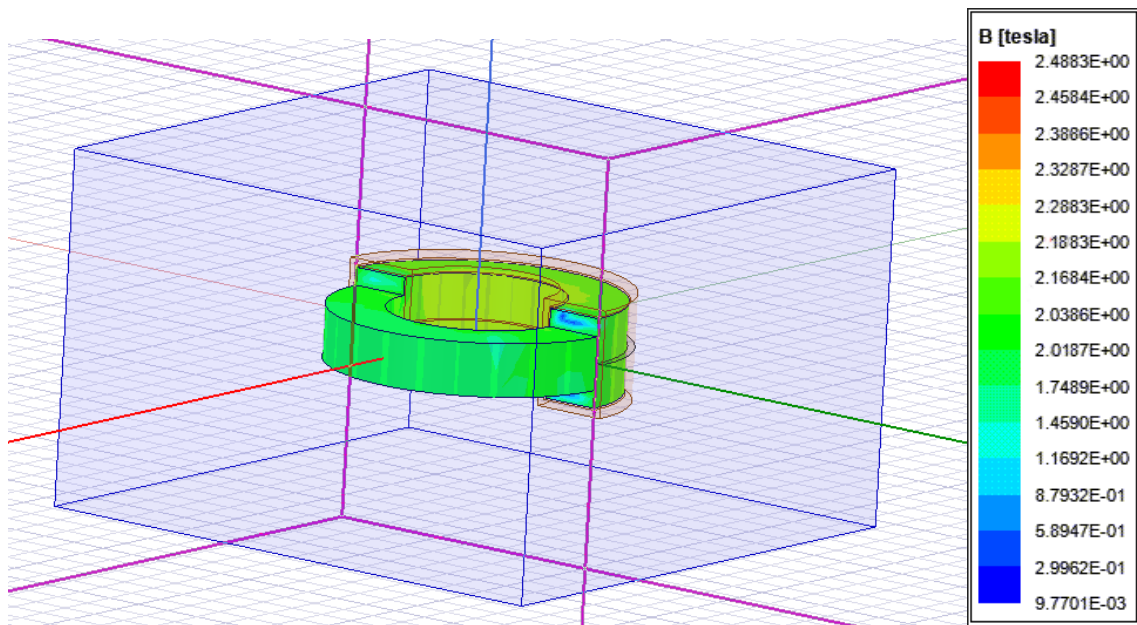


Рис. 5. Снятие значений магнитной индукции на тороидальном магнитопроводе с уменьшенным объемом сердечника

По рис.5 можем наблюдать, что в частях противоположной стороны от катушки сердечника достигнуто насыщение, которое увеличит разность значений магнитной проницаемости в временных промежутках.

Следовательно, можно предположить, что уменьшение объема магнитопровода в зоне стыка с Ш-образным сердечником может положительно

сказаться на выходных характеристиках параметрического трансформатора, так как увеличивается индукция и степень изменения магнитной проницаемости в зоне пересечения с Ш-образным сердечником.

В результате проведенной работы было выяснено, что выбор традиционного тороидального сердечника в ПТ не всегда является оправданным, ввиду повышенного расхода энергии на насыщение большего объема магнитопровода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.А. Розенблат. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники.– М.: Наука, 1966г. 720 с.
2. Задерей Г.П., Заика П.Р. Многофункциональные трансформаторы в средствах вторичного электропитания. – М.: Радио и связь, 1989. – 176 с.
3. Стыскин А.В., Уразбахтина Н.Г., Терликова Н.С. Параметрический трансформатор. RU 116268 U1, МПК H01F 19/04, H01F 27, опубл. 2012.05.20.
4. Парамонов М.И. Патент на изобретение №2674009 RU, МПК H01F 29/14, опублик. 2018.12.04. Патент RU 116268 U1.

УДК 621.313

В. А. ГАГИН

*gagin\_2000@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Р. ФАРРАХОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ГЕНЕРАТОР ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

**Аннотация.** Рассматриваются генераторы гибридных силовых установок для электроснабжения автономных беспилотных транспортных средств

**Ключевые слова:** генератор; гибридная силовая установка; схема; электродвигатель.

Генератор – механизм, который превращает механическую энергию в электрическую. Генератор имеет вал, на который насажен шкив, через который и получает вращения от коленчатого вала двигателя.

Автомобильный генератор используют для питания электропотребителей, таких как: система зажигания, бортовой компьютер, автомобильная светотехника, система диагностики, а также есть возможность заряжать автомобильный аккумулятор. Мощность генератора легкового автомобиля составляет приблизительно 1 кВт.

Автомобили с гибридной силовой установкой (ГСУ) отличаются от традиционных, наличием двух двигателей (ДВС и электрического). В настоящее время существуют следующие компоновки ГСУ, которые можно разделить на три принципиально отличающиеся схемы:

- последовательную (Plug-in Hybrid);
- параллельную (Mild Hybrid);
- последовательно-параллельную (Full Hybrid).

Последовательная схема ГСУ

Отличительной особенностью последовательной схемы является отсутствие механической связи ДВС и ведущих колес автомобиля (рис. 1). В этом случае ДВС, работая на постоянном режиме минимального удельного расхода, вращает только ротор электрического генератора, как правило, переменного то-



ка. В приводе ведущих колес установлен электромотор, который соединен с накопителями электрической энергии. Так как накапливать можно только электроэнергию постоянного тока, между ними устанавливается преобразователь (инвертор).

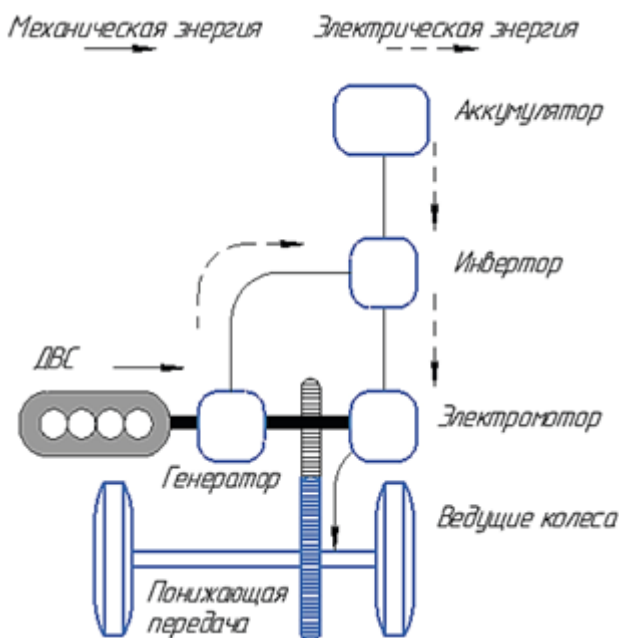


Рис. 1. Последовательная схема КЭУ

В зависимости от режима работы ДВС и условий дорожного движения, электрический ток, вырабатываемый генератором, может подаваться только на электромотор, работающий в этом случае в режиме электродвигателя, или только в накопитель энергии, а может одновременно в оба эти устройства. При замедлении транспортного средства электромотор работает в режиме генератора, обеспечивая рекуперацию кинетической-энергии автомобиля.

Представителем такой гибридной силовой установки является Chevrolet Volt 1Gen, трансмиссия 4ET50 которого оснащена мотором-генератором/электродвигателем, мощностью 55 и 111кВт соответственно. Мотор-генератор в первую очередь используется для запуска двигателя внутреннего сгорания, заряда систем батареи и, при необходимости, помощи электродвигателю в обеспечении движения автомобиля.

Достоинствами последовательной схемы являются возможность работы ДВС на режиме минимальных удельных расходов топлива или даже при посто-

янной частоте вращения коленчатого вала, бесступенчатого изменение передаточного числа трансмиссии и ее значительное упрощение. Недостатками являются: малый КПД системы передачи энергии от ДВС до ведущих колес; зарядка от аккумуляторных батарей и движение автомобиля происходит только в режиме постоянной работы ДВС.

### Параллельная схема ГСУ

При параллельной схеме ГСУ (рис. 2) ДВС имеет механическую связь с ведущими колесами. На автомобиле, в отличие от последовательной схемы, установлен только один электромотор. ДВС и электромотор могут работать на трансмиссию автомобиля как отдельно, так и совместно. ДВС через трансмиссию отдает энергию ведущим колесам автомобиля и при избытке его энергии может через электромотор, работающий в этом случае в режиме генератора, питать накопитель. При недостатке энергии ДВС для движения автомобиля дополнительная энергия к ведущим колесам подводится от электромотора, работающего в режиме электродвигателя.

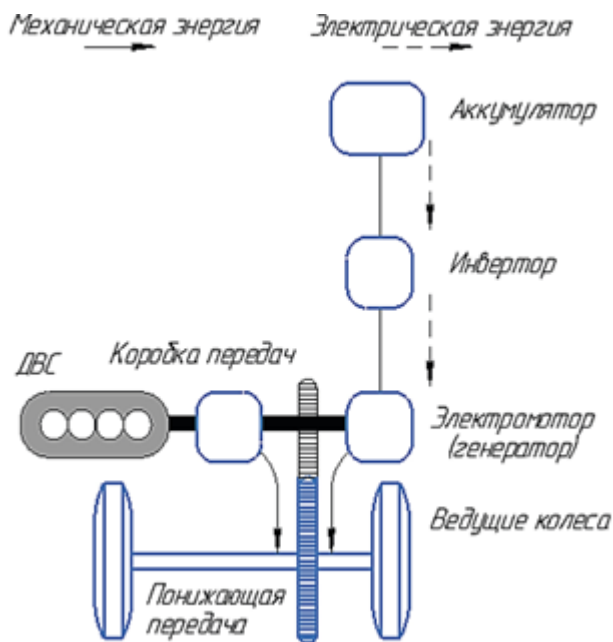


Рис. 2. Параллельная схема ГСУ

Достоинством параллельной схемы является более высокий КПД передачи энергии от первичного двигателя (ДВС) к ведущим колесам в сравнении с последовательной и возможность применения одной электромашины вместо

двух. Недостатками являются обязательное усложнение трансмиссии (так как нужно обеспечить подвод крутящего момента как отдельно от электромотора, так и отдельно от ДВС) и усложнение системы управления трансмиссией и ДВС.

#### Последовательно-параллельная схема ГСУ

Последовательно-параллельная схема представляет собой совмещение первых двух. В параллельную схему добавлен дополнительный генератор и делитель мощности (рис. 3). Благодаря этому автомобиль при трогании и на малых скоростях движется только на электрической тяге, ДВС только обеспечивает работу генератора (как при последовательной схеме).

На высоких скоростях крутящий момент на ведущие колеса передается и от двигателя внутреннего сгорания. При повышенных нагрузках (например, при подъеме в гору), когда генератор не в силах обеспечить требуемый ток, электромотор получает дополнительное питание от аккумулятора (параллельная схема).

Поскольку в системе имеется отдельный генератор, заряжающий аккумуляторную батарею, электромотор используется только для привода ведущих колес и во время рекуперативного торможения. Через планетарный механизм (он же делитель мощности), часть крутящего момента от ДВС частично передается на колеса и частично отбирается для работы генератора, который питает либо электромотор, либо аккумуляторную батарею. Электронный блок управления все время регулирует подачу мощности из обоих источников.

Ярким представителем данной ГСУ является Toyota Prius. В ней установлены два мотор/генератора.

Мотор/генератор 1 (MG1) связан с солнечной шестерней устройства распределения мощности (PSD). Он — меньший из двух и имеет максимальную мощность около 18 кВт. Обычно он осуществляет запуск ДВС и регулирует обороты ДВС изменением производимого количества электроэнергии.

Мотор/генератор 2 (MG2) связан с коронной шестерней планетарного механизма (устройства распределения мощности) и далее через редуктор на колеса. Поэтому он непосредственно приводит в движение автомобиль. Он — больший из двух моторов-генераторов и имеет максимальную мощность 33 кВт (50 кВт для Prius NHW-20).

Плюсы последовательно-параллельного гибридного двигателя данной схемы, в максимальной топливной экономичности и высокой экологичности. Минусы системы – сложность конструкции и высокая стоимость, поскольку требуется дополнительный генератор, достаточно емкая аккумуляторная батарея и сложный электронный блок управления.

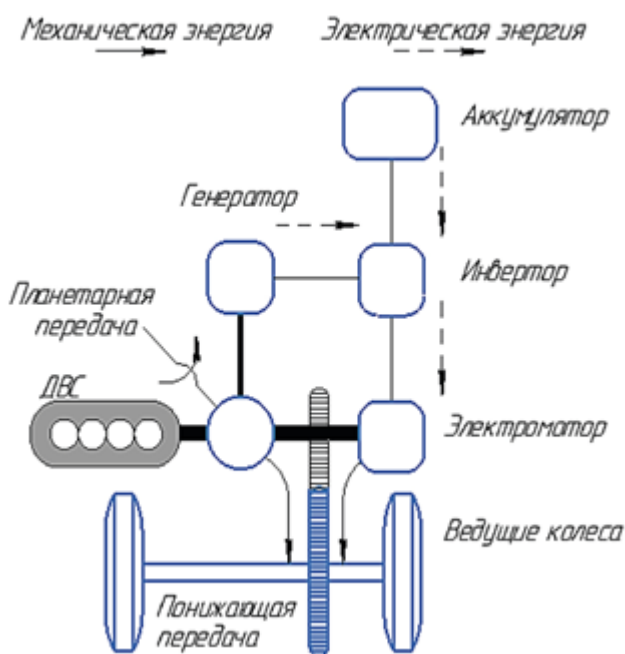


Рис. 3. Последовательно-параллельная схема ГСУ

Автомобили с гибридной силовой установкой имеют следующие основные преимущества:

Экономичность: расход топлива уменьшается от 20–25% при интенсивной эксплуатации автомобиля. Двигатель внутреннего сгорания тратит большую энергию при старте автомобиля, так как при движении с места на автомобиль действует большое сопротивление, в это время в работу включается электромотор, питающийся от аккумуляторов, который при увеличении оборотов

собственного вала выдает максимальный крутящий момент, благодаря этому бензиновый или дизельный двигатель будут экономить топливо;

Экологичность: электродвигатели гибридной силовой установки могут работать как стартер или генератор;

может обеспечить большой пробег без дозаправки;

получение энергии посредством рекуперации, при торможении, а также зарядка аккумуляторных батарей при равномерном движении от электромотора, который работает как генератор.

Недостатки автомобиля с гибридной силовой установкой:

- значительные сложности при утилизации аккумуляторной батареи;
- завышенная стоимость аккумулятора при его ограниченном ресурсе;
- недостаточность соответствующих ремонта, технического обслуживания и диагностирования, их высокая стоимость; – сложность конструкции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: учеб. пособие / С.В. Бахмутов, А.Л. Карунин, А.В. Круташов [и др.]. М.: МГТУ «МАМИ», 2007. 71 с.
2. Устройство гибридного автомобиля [Электронный ресурс] URL : <http://autoleek.ru/dvigatel/gibridnaja-silovaja-ustanovka/ustrojstvo-gibridnogo-avtomobilya.html>
3. Развитие гибридных автомобилей [Электронный ресурс] URL : [https://revolution.allbest.ru/transport/00492286\\_0.html](https://revolution.allbest.ru/transport/00492286_0.html)
4. Принцип работы Приус: планетарная коробка, электромотор, гибрид [Электронный ресурс] URL : <https://toyota-camry-corolla.ru/prius/prius-kak-rabotaet-gibrid/>
5. Знакомство с принципом работы Chevrolet Volt 1 Gen [Электронный ресурс] URL : <https://volt-club.ru/ams/Знакомство-с-принципом-работы-chevrolet-volt-1gen.10/>

УДК 621.311.22

Д. А. ГЕРАСИМОВ

*daneel3000@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Т. А. ВОЛКОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ТЕПЛОВОГО ТИПА**

*Аннотация.* В работе рассматривается актуальность применения тепловых солнечных электростанций и синхронного генератора к ним, а также его оптимальные параметры.

*Ключевые слова:* синхронный генератор, электроэнергия, электростанции, возобновляемый источник энергии, экология, отдаленные районы.

Солнечные электростанции (СЭС) башенного типа. Один из немногих проектов современности, призванный улучшить экологию и заменить традиционные источники энергии.

Мощный импульс развитие солнечной генерации получило после подписания Парижского соглашения по климату, в рамках которого 175 стран, включая Россию, взяли на себя обязательства ограничить эмиссию парниковых газов во имя общей цели – не допустить роста средней температуры на Земле более чем на 2 °С к 2100 г.

В настоящее время в России в области солнечной генерации чаще всего реализуются локальные небольшие по мощности проекты в отдаленных районах, в которых отсутствуют региональные электрические сети и существуют проблемы с доставкой топлива для традиционных электростанций. Есть также несколько относительно крупных электростанций в районах с максимальной солнечной активностью: Оренбургская область, Алтайский край, Башкортостан.

Основных факторов, влияющих на количество солнечного света, падающего на поверхность земли, всего три: широта местности; климатические особенности региона; время года.

Из-за изменения угла падения лучей в южных широтах инсоляция выше. Существенную поправку может внести климат – работа солнечных электростанций продуктивнее там, где минимальное количество пасмурных дней. Это хорошо заметно на карте, где некоторые регионы восточной Якутии получают за год на 30-40% больше света, чем расположенные на той же широте Санкт-Петербург или Норильск. (Рисунок 1)

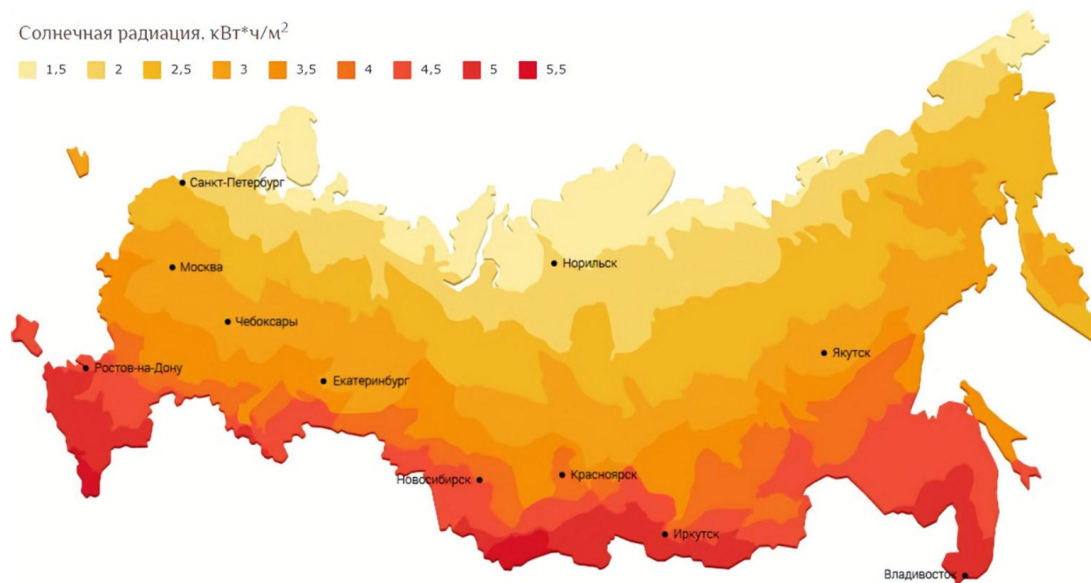


Рис. 1.

Рассмотрим СЭС башенного типа. Принцип работы достаточно прост. Солнечные лучи, отражаясь от множества гелиостатов, направляются на поверхность центрального приемника — солнечного парогенератора, помещенного на башне. (Рисунок 2)

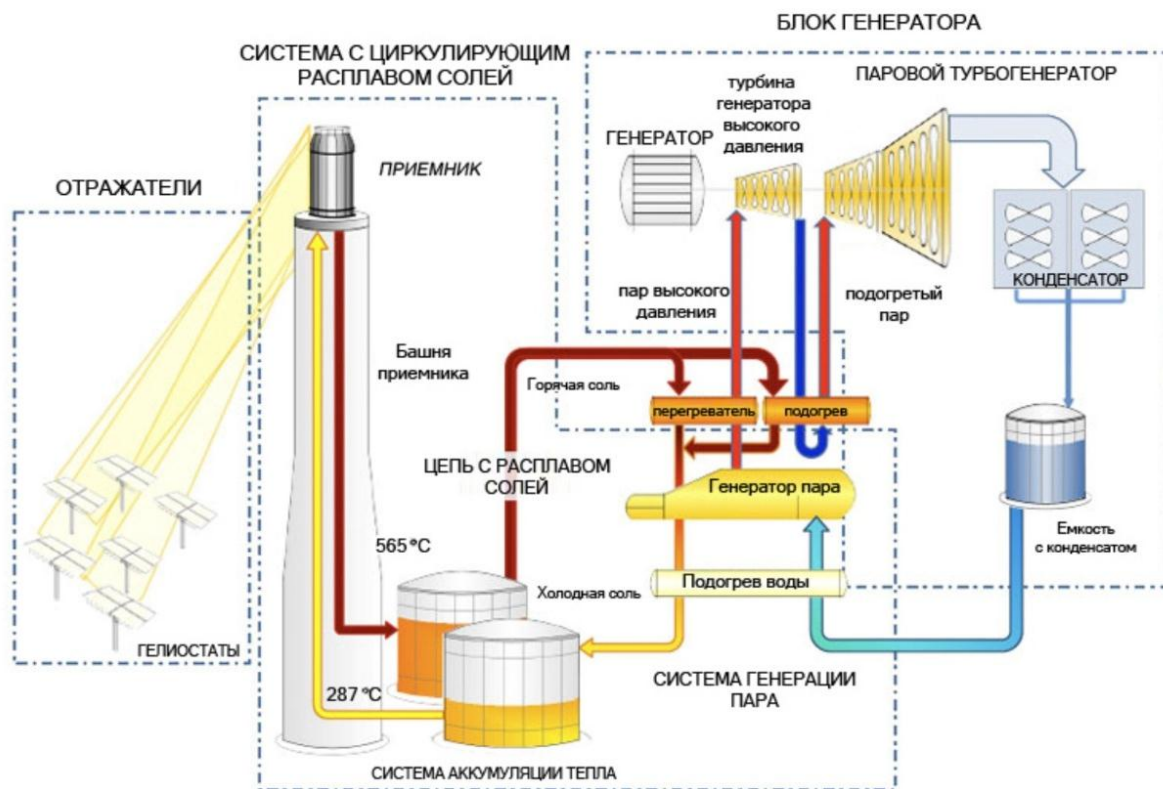


Рис. 2.

В соответствии с положением Солнца на небосводе автоматически меняется и ориентация гелиостатов. В результате, в течение всего светового дня концентрированный поток отраженных от сотен зеркал солнечных лучей обогревает парогенератор.

В 1985-м году в Крыму около города Щёлкино была построена экспериментальная солнечная электростанция башенного типа мощностью 5 МВт (СЭС-5) (Рисунок 4).

На СЭС-5 был применен открытый круговой солнечный парогенератор, поверхности которого, что называется, открыты всем ветрам. Поэтому при пониженных температурах окружающего воздуха и больших скоростях ветра резко растут конвективные потери, существенно падает КПД. Сейчас считается, что гораздо более эффективны приемники полостного типа. Здесь все поверхности парогенератора закрыты, за счет чего резко снижены конвективные и радиационные потери. Из-за низких параметров пара (250°C и 4МПа) термический КПД СЭС-5 составлял всего 0,32. Через 10 лет эксплуатации в 1995 году СЭС-5 в Крыму закрыли, а в 2005-м башню сдали на металлолом.



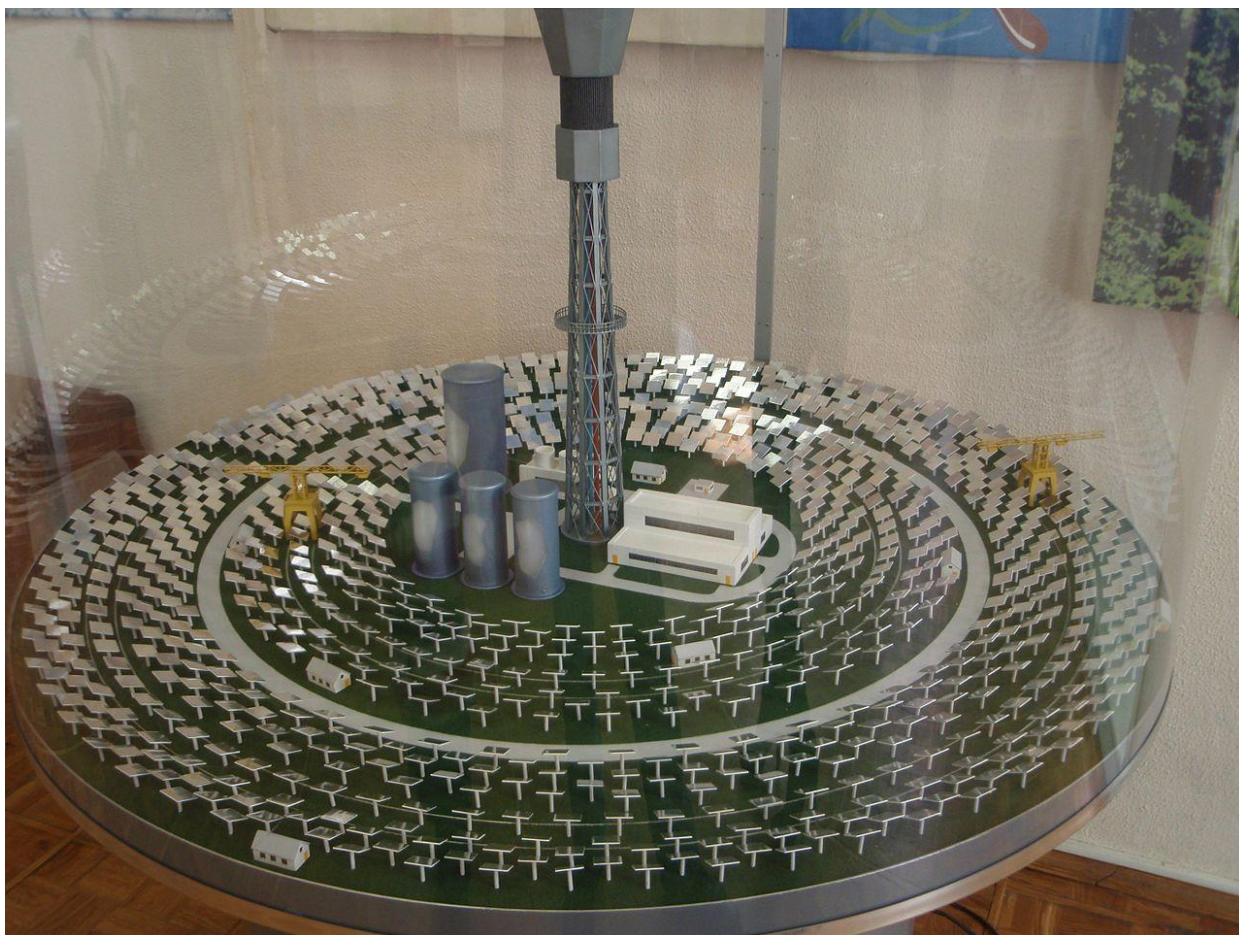


Рис. 3.

В солнечных электростанциях башенного типа, которые сейчас находятся в эксплуатации, используются новые конструкции и системы, использующие расплавленные соли (40% нитрата калия, 60% нитрата натрия) в качестве рабочих жидкостей. Эти рабочие жидкости обладают более высокой теплоемкостью, чем морская вода, используемая в ранних экспериментах.

Еще один резерв повышения эффективности башенных СЭС – создание гибридных станций, в которых солнечные установки будут работать совместно с обычными тепловыми на традиционном топливе. На комбинированной станции в часы интенсивного солнечного излучения топливная установка снижает свою мощность, а «разгоняется» в пасмурную погоду и в период пиковых нагрузок.

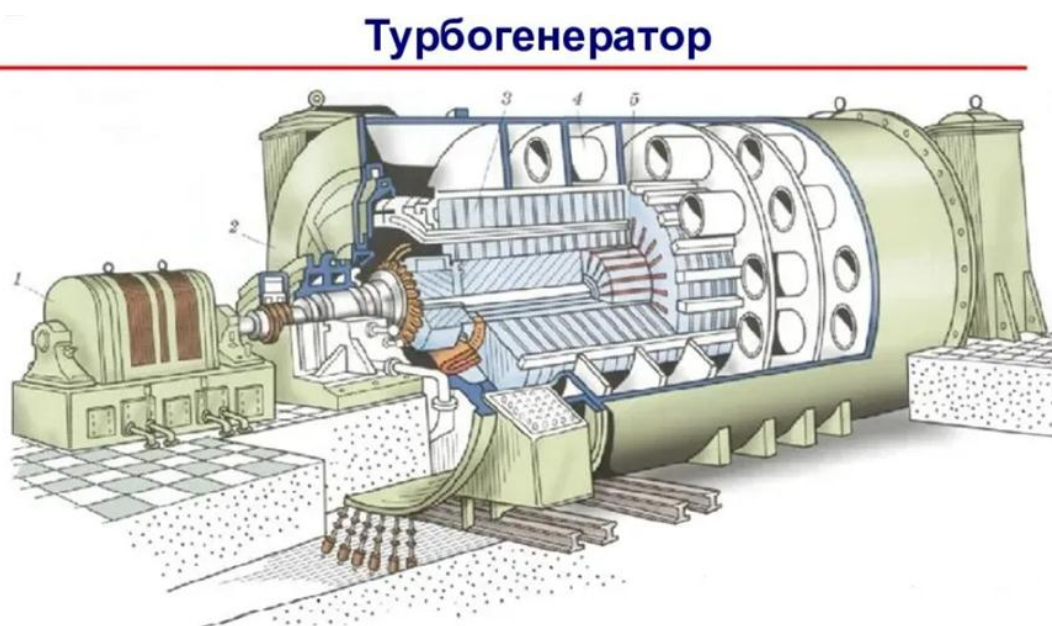
Самая известная на данный момент из башенных СЭС — электростанция *Gemasolar* мощностью 19,9 МВт, расположенная к западу от города Эсиха в Андалусии (Испания).

Для преобразования вырабатываемой энергии от СЭС в промышленную сеть используются синхронные генераторы. Вал турбины соединен с валом генератора. Принцип действия паровой турбины заключается в преобразовании тепловой энергии пара, поступающего из парогенератора, в кинетическую энергию потока пара, который, воздействуя на рабочее колесо турбины, приводит его во вращение, отдавая при этом часть своей энергии.

В зависимости от конструкции первичного двигателя существует два основных типа синхронных генераторов: быстроходные и тихоходные.

Быстроходные генераторы на 3000 и 1500 об/мин предназначены для непосредственного соединения с паровыми турбинами и называются турбогенераторами (Рисунок 4).

С увеличением числа оборотов размеры и вес паровой турбины и генератора уменьшаются, что дает ряд экономических преимуществ. В связи с этим в настоящее время широко применяют двухполюсные турбогенераторы на 1500 - 3000 об/мин.



1 - возбудитель 2 - корпуса, 3 - сердечника статора, 4 - секций водородного охлаждения, 5 - ротора.

Рис. 4.

Механическая энергия самой турбины превращается в электрическую. Это возможно благодаря вращающемуся магнитному полю, создаваемого с по-

мощью непрерывного тока, протекающему в обмотке самого ротора. Это способствует и формированию трехфазного переменного тока, а также напряжению в статоре (его обмотках). Крутящий момент от двигателя передается на ротор генератора.

Данная характеристика турбогенератора позволяет при обращении ротора образовывать магнитный момент, который и создает электрический ток в его обмотках. Благодаря системе возбуждения в агрегате обеспечивается поддержка постоянного напряжения на всех режимах функционирования данного устройства.

Циркуляция воды в теплообменниках и газоохладителях происходит при помощи насосов, которые располагаются вне самого турбогенератора.

Паровой турбогенератор обладает повышенной надежностью своей работы, при этом развивая проектную мощность постоянно на протяжении многих часов работы. Такие современные устройства могут обладать мощностью до 1300 МВт. Зачастую, паровые турбогенераторы могут работать параллельно. Передача мощности при этом может осуществляться в одну электрическую цепь.

Основными величинами, характеризующими синхронный генератор, являются: напряжение на зажимах  $U$ , нагрузка  $I$ , полная мощность  $P$  (кВа), число оборотов ротора в минуту  $n$ , коэффициент мощности  $\cos \varphi$ .

Важнейшие рабочие характеристики синхронного генератора следующие:

- характеристика холостого хода,
- внешняя характеристика,
- регулировочная характеристика.

Возьмем в качестве примера башенную СЭС *Gemasolar*, с выходной мощностью в 20Мвт. Для преобразования энергии потребуется двухполюсный турбогенератор с частотой вращения 3000 об/мин на частоту сети 50 Гц с непосредственным воздушным охлаждением обмотки ротора и косвенным воздушным охлаждением других активных частей. Данным требованиям соответствует

генератор Т-20-2. Основные технические данные: напряжение статора 6300 В, ток статора 2295 А, КПД 97,6 %, напряжение возбуждения 190 В, ток возбуждения 545 А, масса 60000 кг.

Таким образом, использование СЭС башенного типа может способствовать улучшению экологии, снижению выбросов углекислого газа в атмосферу, а так же обеспечивать электричеством отдаленные засушливые районы, где количество солнечных часов максимально. На территории России такие проекты уже реализовывались, но, к сожалению, не получили распространения из-за недостатка технологий. Но, с использованием современных знаний, эти проекты могут получить новую жизнь.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА СЕГОДНЯ – МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ? [электронный источник] <https://ntc.gazprom-neft.ru/research-and-development/proneft/2852/45683/> (дата обращения:05.04.22);
2. Тепловые солнечные электростанции башенного типа, системы концентрации солнечной энергии [электронный источник] <http://electricalschool.info/energy/2432-solnechnye-elektrostantsii-bashennogo-tipa.html> (дата обращения:05.04.22);
3. Gemasolar solar thermal power plant [электронный источник] [group.sener/project/gemasolar](http://group.sener/project/gemasolar) (дата обращения:05.04.22);
4. Почему в разных странах различается напряжение и частота в электрической сети [электронный источник] <https://page.maple4.ru/inoe/stati/interesnoe/1801-pochemu-v-raznyix-stranax-razlichaetsya-napryazhenie-i-chastota-v-elektricheskoy-seti.html> (дата обращения:05.04.22);
5. Турбины и генераторы [электронный источник] [https://studopedia.su/19\\_60242\\_turbini-i-generatori.html](https://studopedia.su/19_60242_turbini-i-generatori.html) (дата обращения:05.04.22);
6. Режимы работы синхронных генераторов, рабочие характеристики генераторов [электронный источник] <http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/1835-rezhimy-raboty-sinkhronnykh-generatorov.html> (дата обращения:05.04.22);
7. Турбогенераторы [электронный источник] <https://servomotors.ru/documentation/electromotor/book1/book1p43.html> (дата обращения:05.04.22).

Д. А. ГЛУМОВ, М. Ю. ЯНТУРАЕВ, А. И. МАНЗУРОВ

*glumov00@gmail.com, yanturaev\_makar@mail.ru, manzurov.artur@icloud.com*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. Ф. Р. ИСМАГИЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ГИБРИДНЫЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ

**Аннотация.** В данной статье проведен краткий обзор основных гибридных силовых установок автомобилей. Рассмотрено устройство гибридных двигателей, их принцип работы и схемы. Проанализированы преимущества и недостатки различных схем гибридных силовых установок.

**Ключевые слова:** гибридная силовая установка (ГСУ), двигатель внутреннего сгорания (ДВС), электрическая энергия, автомобильный аккумулятор (АКБ).

В поисках современных решений актуальных проблем производители совершенствуют существующие технологии. Не исключением является и автомобиль с гибридной силовой установкой, появившийся в конце 19 века, но получивший достойное внимание относительно недавно. Гибридный двигатель позволяет повысить экономию топлива по сравнению с традиционным ДВС и сократить выброс вредных веществ в окружающую среду.

### *Устройство гибридного двигателя*

Автомобиль с ГСУ – это автомобиль, приводимый в движение системой «ДВС- накопитель энергии - привод». В наши дни он представляет собой транспортное средство, способное при небольшой скорости не использовать топливо, а осуществлять движение за счет электрической энергии. Термин «гибридный» говорит о том, что силовая установка автомобиля имеет больше одного источника энергии. Главным отличием гибридных автомобилей является то, что транспортные средства данного типа приводятся в движение посредством использования нескольких источников энергии: тепловой и электрической. Такие агрегаты могут работать и совместно и отдельно.

Рассмотрим устройство гибридного двигателя, представленное на рисунке 1. ГСУ условно можно разделить на семь элементов.



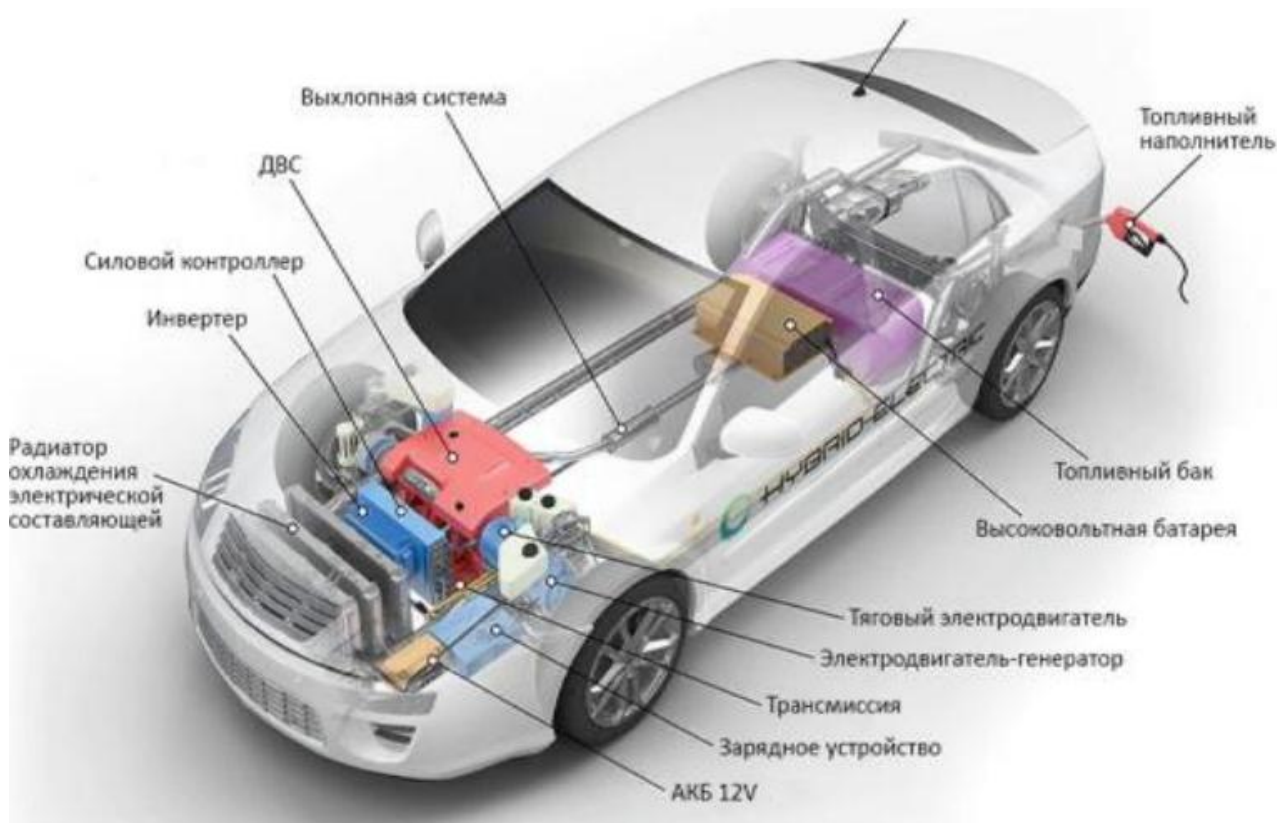


Рис. 1. Устройство гибридного двигателя

1. ДВС. Его устройство и размеры сконструированы таким образом, что позволяет снизить вес, вредные выбросы и расход топлива.

2. Электродвигатель. Его параметры должны быть сбалансированы с ДВС, но также должно быть уделено особое внимание показателям мощности. Параллельно электродвигатель может вырабатывать энергию для подзарядки АКБ автомобиля. Может быть выполнен встроенным в силовую установку или размещаться отдельно от нее, в некоторых моделях используются сразу оба варианта.

3. Трансмиссия. Работа трансмиссии ГСУ фактически совпадает с ее устройством на обычных автомобилях. Но, в зависимости от вида гибридного двигателя, они могут отличаться. Коробки передач в них бывают, как гибридные с интегрированным электродвигателем, так и обычные механического и автоматического исполнения.

4. Топливный бак. Необходим для питания топливом ДВС. Для наглядности того, что топливная система имеет ряд преимуществ, хотелось бы привести

один факт в пользу этого: энергия, получаемая при сгорании 1 литра бензина сопоставима с энергией, вырабатываемой свинцовым аккумулятором весом около 450 кг.

5. Аккумулятор. Его главная функция выработка достаточного уровня энергии для работы электродвигателя. В авто используется две батареи, высоковольтная и обычная на 12 В для питания бортовой сети. Изначально до запуска всех систем питание идет только от стандартного аккумулятора, так как для работы высоковольтной батареи и инвертора необходимо постоянное охлаждение.

6. Инвертер преобразует постоянный ток высоковольтной батареи в переменный трехфазный для электродвигателя и наоборот. Также регулирует распределение энергии и управляет электродвигателем.

7. Генератор. Его принцип работы такой же, как у электродвигателя, но направлен на выработку электрической энергии. Чаще всего генератор не выполняют отдельным агрегатом, а его функции выполняет электродвигатель.

Два двигателя могут работать как в связке, так и по отдельности, все зависит от того, какой режим работы использован в данный момент. Процессом перераспределения работы управляет мощный компьютер, который в тот или иной момент, решает какой из двигателей должен в данный момент работать. Для передвижения в загородном режиме всю работу берет на себя топливный двигатель, ибо аккумулятора на трассе хватает ненадолго. Для передвижения по городу включается электродвигатель. Если же автомобиль подвергается большим нагрузкам или ему приходится часто и довольно интенсивно разгоняться, то оба двигателя работают уже вместе. Интересен тот факт, что пока автомобиль движется на топливном двигателе, электрический заряжает АКБ. Автомобиль с ГСУ выбрасывает в атмосферу на 90% меньше веществ, чем привычные нам топливные моторы, и это несмотря на то, что в его состав входит и бензиновый агрегат. Так же потребление бензина в городе можно свести к нулю.

Рассмотрим как автомобиль с гибридным двигателем начинает движение. В самом начале движения и на малых скоростях работают лишь аккумулятор и электрический двигатель. Энергия по проводам подается на инвертор, который далее распределяет ее по электромоторам, которые уже и вращают колеса автомобиля и двигают его бесшумно и очень плавно. После того, как набрана максимальная для электродвигателя скорость, подключается и бензиновый агрегат. Крутящий момент на ведущие колеса уже поступает от двух двигателей одновременно. В процессе такой работы двигатель внутреннего сгорания отдает часть выработанной энергии на генератор, который далее и питает электродвигатели, разгружая АКБ, излишки же энергии передаются на аккумулятор, восполняя его, утраченный на начало движения, запас. В режиме ускорения крутящий момент на колеса поступает в основном от двигателя внутреннего сгорания, а если необходимо нарастить динамику, то в ход идут уже и электромоторы, дополняющие ДВС. Но вот более интересным моментом все же является торможение. Электронный блок управления автомобиля держит под контролем включение и выключение тормозных систем. Когда стоит подключить гидравлику или рекуперативное торможение, но предпочтение все же отдается второму. То есть, когда водитель гибридного автомобиля нажимает на педаль тормоза, электродвигатели переходят в генераторный рабочий режим, создавая тем самым тормозной момент на колесах, при котором также вырабатывается электроэнергия, которая и подпитывает аккумулятор через распределительный энергоцентр. В этом и заключается основное преимущество ГСУ.

### ***Схемы взаимодействия работы электродвигателя и ДВС***

Автомобили-гибриды сконструированы по трем схемам взаимодействия двигателей.

*Последовательная схема взаимодействия. Chevrolet Volt* самый яркий представитель с этой схемой взаимодействия. Данный принцип устройства представляет собой самый простой вариант автомобильного двигателя-гибрида.



Его схема работы такая: крутящий момент от двигателя внутреннего сгорания идет к генератору. Затем генератор вырабатывает необходимое для работы электричество и передает его в аккумулятор. Дополнительно подзаряд аккумулятора осуществляется и путем процесса рекуперации кинетической энергии. В этой схеме движение автомобиля осуществляется лишь за счет электрической тяги. Данная схема характеризуется последовательным преобразованием энергии, т.е. энергия, поступающая от сгораемого топлива в двигателе внутреннего сгорания, превращается в механическую, далее трансформируется в электрическую за счет генератора, и затем вновь преобразуется в механическую энергию. Если говорить о самом подходящем варианте движения автомобиля с последовательной схемой взаимодействия, то это городской трафик с частыми остановками, когда постоянно в работу включается система рекуперации энергии.

*Параллельная схема взаимодействия.* Ярким представителем является *BMW 530E iPerformance*. Такое название эта схема получила потому что, двигатели авто работают постоянно вместе. Принцип работы данного типа взаимодействия двух модулей происходит за счет электроники авто, электродвигателя и ДВС. Оба двигателя соединены с коробкой передач по средствам планетарной передачи. Чисто на электрической энергии такие гибриды способны ехать не продолжительное время, при этом ДВС отключается от трансмиссии сцеплением. Блок управления распределяет крутящий момент от обоих двигателей в зависимости от режима движения автомобиля. Двигателю внутреннего сгорания отведена более важная роль, а электродвигатель запускается при необходимости дополнительной тяги, например, когда авто резко ускоряется. При торможении или плавном движении электромотор работает как генератор электроэнергии. Существуют модификации с электродвигателем отдельно от ДВС, они представляют собой сложную систему, но в тоже время эффективную. Этот модуль состоит из двух электромоторов, тягового соединенного через планетарную передачу со вторым, который служит генератором и стартером. В такой

схеме ДВС не связан напрямую с колесами, что позволяет постоянно передавать часть момента генератору и подзаряжать батарею.

*Последовательно-параллельная схема взаимодействия.* Полноприводный гибрид от компании *Mitsubishi* представляет собой последовательно-параллельную схему взаимодействия. Уже само название этой схемы указывает на то, что данный тип это вариант совмещения двух ранее рассмотренных схем: последовательной и параллельной. Движение автомобиля на низкой скорости и его старт с места осуществляется только за счет силы электрической части. ДВС поддерживает работу генератора авто, как при последовательной схеме взаимодействия. Передача крутящего момента от ДВС на колеса происходит при движении на большой скорости. При высоких нагрузках, требующих повышенной мощности, генератор автомобиля может не выдать нужное количество энергии, и в таком случае электродвигатель питается дополнительно от аккумулятора, как при параллельной схеме взаимодействия. В данной схеме предусмотрен дополнительный генератор, он подзаряжает АКБ. Электродвигатель необходим только для привода ведущих колес и для обеспечения рекуперативного торможения. Часть крутящего момента, переходящая от двигателя внутреннего сгорания, уходит на ведущие колеса, а некоторая его часть — для работы генератора, который в свою очередь питает электродвигатель и заряжает АКБ. За направление крутящего момента на колеса, генератор или электродвигатель и его соотношение отвечает планетарный механизм распределитель мощности. Регулировкой подачи мощности от генератора и батареи занимается электронный блок управления автомобиля. Также эта технология применяется и на гибридных полноприводных авто. На передней оси установлен ДВС с электродвигателем по параллельной схеме, а на задней только электродвигатель имеющий связь с ДВС по последовательной схеме.

### ***Положительные и отрицательные стороны автомобилей с ГСУ***

Плюсы гибридных силовых установок:

1. Экологичность. В крупных городах огромное количество загрязнителей в атмосферу поступает от автотранспортных средств. По разным оценкам, на их долю приходится от 80 до 95%. К основным токсичным выбросам автомобиля относятся: отработавшие газы (ОГ), картерные газы и топливные испарения. Отработавшие газы, выбрасываемые двигателем, содержат окись углерода ( $CO$ ), углеводороды ( $CXHY$ ), окислы азота ( $NOX$ ), бензпирен, альдегиды и сажу. Расчет выбросов в атмосферу показывает, что основными составляющими выхлопов в этом случае являются окись углерода и углеводороды. При этом следует отметить, что, в отличие от стационарных источников выбросов, работа автотранспорта приводит к загрязнению воздуха на городских улицах на высоте человеческого роста. В результате вредному воздействию загрязнителей подвергаются пешеходы, жители расположенных у дорог домов, а также произрастающая на прилегающих территориях растительность. Гибриды наносят меньше урона нашей экосистеме, чем традиционные автомобили. Причина в том, что гибрид расходует меньше топлива. На малых скоростях или при остановках, ДВС перестает работать и подключается электромотор, по этой причине выбросов вредных веществ в окружающую среду становится меньше.

2. Экономия топлива. Как правило, расход топлива у них на 25% меньше, чем у автомобилей традиционной схемы.

3. Преимущества при городской езде. Основной плюс таких машин в плане движения - городская езда. Здесь имеют место пробки, заторы, маленькая скорость езды, техника долгое время работает на холостом ходу. Автомобиль переключается с двигателя внутреннего сгорания на электрический мотор. В это время его работа становится почти бесшумной, а расход горючего - минимальным.

Минусы гибридных силовых установок.

1. Цена. Первым и самым весомым недостатком является стоимость автомобилей с ГСУ. Их стоимость выше на 30–100 % по сравнению с автомоби-

лями с ДВС. Причиной этому является сложность конструкции ГСУ и наличие дополнительных узлов.

2. Стоимость обслуживания и ремонта. Обслуживание и ремонт таких автомобилей значительно дороже, если сравнивать с традиционной компоновкой, где только один ДВС. Кроме этого, сложность конструкции требует отдельных навыков у людей, ремонтирующих такую технику. Отсюда следует, что круг специалистов не так велик.

3. Аккумуляторы и температура. Обычно батареи ГСУ не способны выдерживать сильные температурные перепады. При очень низких или высоких температурах возможен саморазряд батарей, что снижает их срок службы. Также представляет сложность утилизация отработанных батарей, которые, как известно, представляют опасность для окружающей среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория двигателей внутреннего сгорания. Учебник / И.Г. Дьяченко — Харьков: ХНАДУ 2009. 500 с.
2. Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок. Диссертация и автореферат по ВАК РФ 05.22.107 Кандидат технических наук. Раков В.А/ 2012 — Вологда.
3. [3] Гулиа Н. В. Инерционные аккумуляторы энергии. — Воронеж: Изд-во ВГУ, 1973. 240 с. — ISBN ; УДК 621.8.032.2-562.
4. Бахмутов С.В., Карунин А.Л., Круташов А.В., Ломакин В.В., Селифонов В.В., Карпухин К.Е., Баулина Е.Е., Урюков Ю.В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: Учебное пособие. — М.: МГТУ «МАМИ», 2007 — 71 с.
5. Александров, И.К.. Перспективы развития транспортных средств с электроприводом / И.К. Александров, В. А. Раков, А.А. Щербакова // Транспорт на альтернативном топливе. — 2011. — № 4. — С. 65–68.

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИЛОВЫЕ  
МАСЛЯНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ,  
ПРИМЕНЯЮЩИЕСЯ НА ПОДСТАНЦИЯХ 10/0,4 КВ**

**Аннотация.** В статье рассмотрены конструкции и разновидности силовых масляных трансформаторов, применяющихся на подстанциях 10/0,4 кВ для питания городских потребителей, включая жилые дома. Показаны разновидности конструкций магнитных систем энергоэффективных трансформаторов, конструкции баков таких трансформаторов, а также рассмотрены провода, которые могут быть использованы в таких трансформаторах.

**Ключевые слова:** трансформатор; подстанция; магнитопровод; магнитная система; обмотка.

В настоящее время для электроснабжения промышленных и бытовых потребителей широко используются подстанции 10/0,4 кВ (или 6/0,4 кВ), которые зачастую расположены поблизости от данной питаемой группы потребителей. Такие подстанции включают различное оборудование для подвода первичного напряжения от линии электропередачи или кабельной линии, преобразования напряжения и распределения вторичного напряжения по кабельным или воздушным линиям для питания нагрузок, однако основным из таких устройств является силовой трансформатор, число которых может быть равно одному (при питании потребителей 3-й группы электроснабжения) или двум и более (при питании потребителей 1 или 2 группы).

Как известно, трансформатором называется статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока (рис. 1) [1]. По способу охлаждения большинство эксплуатируемых в настоящее время трансформаторов выполнены с масляным

(трансформаторы марок ТМ, ТМГ, ТРДН, ТДЦ и др.) и воздушным (сухие трансформаторы марок ТС, ТСЗ, ТСЛ, ТСЗЛ) охлаждением. Уровень мощности выпускаемых сухих трансформаторов по мере совершенствования их конструкций и материалов постепенно растет и достигает, например, 16000 кВА и выше. Трансформаторы сравнительно больших мощностей, например, 63000 кВА и выше, имеют только масляное охлаждение. Данная статья посвящена рассмотрению основных типов и конструкций силовых масляных трансформаторов с современными магнитными материалами и конструкциями, обеспечивающими их повышенную энергоэффективность, надежность, низкие затраты на обслуживание.

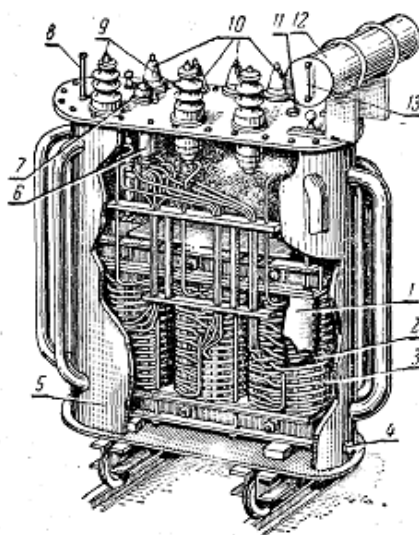


Рис. 1. Трехфазный масляный трансформатор

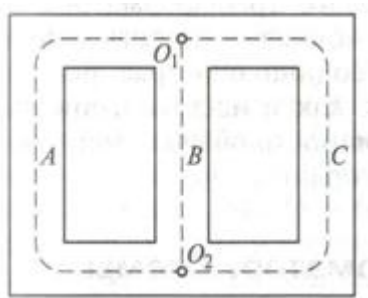
Одним из примеров энергоэффективных устройств являются трансформаторы ТМГ. Такие трансформаторы выполнены в герметично закрытом баке, что обуславливает его высокий срок службы и надежность работы ввиду отсутствия контакта масла с воздухом окружающей среды, отсутствия испарения масла. Это обуславливает также более простую конструкцию трансформатора за счет исключения расширителя и газового реле. При этом для компенсации температурного расширения масла стенки бака имеют специальную гофрированную конструкцию с возможностью деформаций стенок для увеличения

внутреннего объема бака. На рис. 2 показан внешний вид энергоэффективного трансформатора ТМГ, выпускаемого ООО «Трансформер» (г. Подольск) [2].

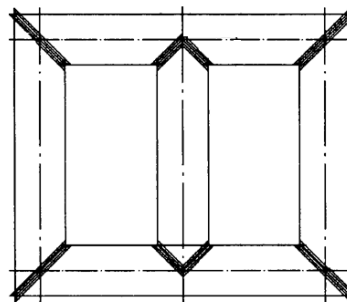
В выпускаемых трансформаторах широко используется конструкция магнитопровода на основе плоской трехстержневой системы (рис. 3, а). Повышение эффективности магнитных систем достигается применением способа шихтовки по системе «*Step-Lap*» с образованием косых стыков в углах магнитной системы (рис. 3, б) [3].



Рис. 2. Трансформатор ТМГ



а



б

Рис. 3. Плоская магнитная система:

а – общая схема; б – шихтовка по системе «*Step-Lap*»

Другим способом повышения эффективности конструкций магнитных систем трехстержневых магнитопроводов может быть использование пространственных конструкций магнитопроводов – пространственных стыковых [4] (рис. 4, а) или пространственных навитых (рис. 4, б) [5]. В стыковых конструкциях можно достичь снижения потерь холостого хода до 6–10% по сравнению с

плоской трехстержневой магнитной системой. Однако стыковая конструкция магнитной системы обладает недостатком, связанным с наличием немагнитных зазоров между стержнями и ярами, что обуславливает повышение тока холостого хода примерно в 2 и более раз по сравнению с плоской магнитной системой. Однако в мощных трансформаторах величина тока холостого хода относительно номинального тока первичной обмотки невысока и данный недостаток мало сказывается на работе трансформатора (например, при мощности 1600 кВА в стыковой системе он может составлять 1% и менее).



Рис. 4. Пространственные магнитные системы:  
*а – стыковая; б – навитая*

Существенное снижение потерь и тока холостого хода может быть достигнуто путем использования трансформаторов с магнитопроводами из аморфных сплавов. Такие трансформаторы, например, разработаны и выпускаются на АО «Электрозавод», г. Уфа.

К способам повышения эффективности обмоточных материалов можно отнести изготовление обмоток из многожильных медных проводов, а также рациональное конструирование обмоток, обеспечивающее снижение добавочных потерь от полей рассеяния в трансформаторе. В мощных трансформаторах (например, при мощности 125000 кВА и выше) рационально выполнять обмотки из транспонированного медного провода.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: Учебник для вузов. СПб: Питер, 2008. 320 с.
2. ТМГ Энергосберегающие. URL: <http://transformator.ru/production/transformatory-tmg/tmg-saving/> (дата обращения 15.09.2022)
3. Рогинская Л.Э., Горбунов А.С. К вопросу влияния типа магнитной системы на параметры холостого хода силовых трансформаторов мощностью 100-1600 кВА, класса напряжения 10 кВ // Электротехнические комплексы и системы. Международная научно-практическая конференция. Уфа, 2021. С. 103–109.
4. Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов: учеб. пособие для студентов электротехнических и электромеханических специальностей вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2013. 528 с.
5. Энергоэффективные трансформаторы. Особенности конструкции. URL: <https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-elektroenergi/5480/> (дата обращения 15.09.2022)

УДК 629.7.064.52

Д. С. ДМИТРИЕВ

Науч. руковод. – преп., майор Е. О. СТУПИН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОСНОВНЫЕ ВИДЫ АВИАЦИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Аннотация.* В данной статье рассказывается об авиационных аккумуляторах, их назначении, разновидностях и особенности эксплуатации.

*Ключевые слова:* аккумуляторы, характеристики аккумуляторов, эксплуатация, преимущества и недостатки.

Аккумуляторы – это своего рода химические источники тока, главной отличительной чертой которых, от тех же самых гальванических элементов, является возможность многократного использования. То есть осуществление не только расхода энергии, но и ее пополнение с дальнейшим сохранением до появления потребности в ней в электрической цепи.

Химические реакции в химических источниках тока являются окислительно-восстановительными. Они заключаются в том, что атомы или ионы другого реагирующего вещества их принимают.

Электроды - активные вещества, на которых возникает отрицательный и положительный потенциалы.

В авиации аккумуляторы получили свое место благодаря ряду особенностей, одна из которых это возможность не только отдавать энергию, но и принимать ее из различных источников. В самолете, например, таковыми являются различные генераторы.

Функции у аккумуляторных батарей различные. В случае какого-либо отказа или вообще полном обесточивании сети борта, они могут расходовать свою энергию на подпитку таких необходимых систем, как, например, подача кислорода летчику, что очень важно на огромных высотах. Но основной все же является сглаживание пиковых нагрузок во время работы летательного аппарата.

Рассмотрим бортовые аккумуляторные батареи. Их функции соответствуют всем выше перечисленным, единственное, что можно добавить, так это запуск двигателя, в момент, когда самолет не подключен к аэродромному источнику питания. И это не только на земле, но и во время полета. Так, на высоте, в случае какой-либо аварийной ситуации могут перестать работать двигатели. Для их запуска как раз-таки и понадобится энергия из аккумуляторов.

К основным параметрам аккумуляторов можно отнести:

- напряжение разряда  $U_p = \text{ЭДС акк.} - I_p \cdot R_{\text{вн.р}}$ , где  $I_p$  – ток разряда (А);  $R_{\text{вн.р}}$  – внутреннее сопротивление аккумулятора (ОМ) при разряде;
- электродвижущая сила;
- напряжение заряда  $U_z = \text{ЭДС акк.} + I_z \cdot R_{\text{вн.з}}$ , где  $I_z$  – ток заряда;  $R_{\text{вн.з}}$  – внутреннее сопротивление при заряде;
- внутреннее сопротивление аккумулятора ( $R_{\text{вн}}$ );
- емкость аккумулятора  $C_p = I_p \cdot t_p$  (А · ч), где  $I_p$  – ток разряда;  $t_p$  – время разряда (ч);
- коэффициент полезного действия КПД акк. =  $\left(\frac{C_p}{C_z}\right) \cdot 100\%$ .

Что касается срока эксплуатации аккумуляторных батарей, то в реальных условиях определить его не составляет возможным. Точнее невозможно определить стандартными методами, какими пользуются на заводах изготовителях. Там это время измеряется в количестве циклов (цикл – полная зарядка и разрядка). На летательном аппарате же аккумулятор постоянно то расходует энергию в сеть, то заряжается от нее.

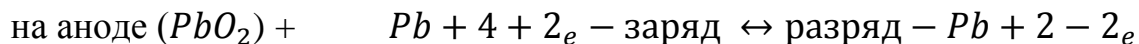
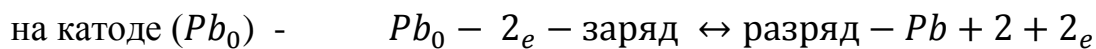
Стоит отметить, что аккумуляторы, в свою очередь, различаются по роду применяемого электролита и делятся на кислотные и щелочные. И как раз-таки последние обладают более лучшими характеристиками, чем первые. Поэтому сейчас щелочные аккумуляторы постепенно вытесняют кислотные.

Рассмотрим свинцовый аккумулятор. Он является представителем кислотных аккумуляторных батарей. Различают свинцово-кислотные аккумуляторные батареи типа: 12-А-30, 12-САМ-28, 12-САМ-55, 12-АСАМ-23.

В нем протекают следующие процессы окисления-восстановления:



В том числе:



Полный процесс разряда должен проходить до тех пор, пока в электролите есть серная кислота, а на электролите – активные вещества. Но этого не происходит по причине остатка на самих электродах продуктов реакции, в данном случае сульфата свинца.

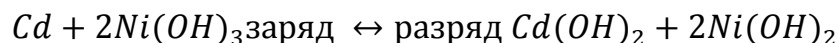
Также нельзя добиться полного удаления из электролита серной кислоты из-за появления в ходе реакции воды. А, как известно, вода не проводит электрический ток.

Основные неисправности кислотных аккумуляторных батарей:

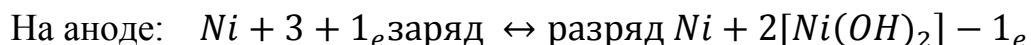
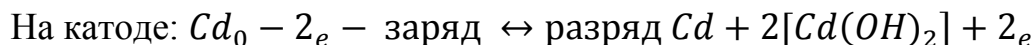
1. Вредная сульфатация пластин.
2. Изменение полярности.
3. Короткое замыкание.
4. Повышенный саморазряд.
5. Обрыв электрической цепи батареи.
6. Нарушение контакта в местах спайки токоведущих частей.
7. Слипание положительных и отрицательных пластин с сепараторами во время хранения батарей без электролита при перерывах в эксплуатации.
8. Повышенный износ пластин.
9. Трещины в мастике.
10. Механические повреждения (бой) моноблоков.

Как упоминалось ранее, щелочные аккумуляторы имеют превосходство над кислотными. В авиации используются такие представители данных типов батарей как: никель-кадмиевые батареи 20НКБН-25, 20НКБН-40; никель-кадмиевая батарея 20КСХ 22 Р; Серебряно-цинковые батареи 15СЦС-45Б.

Далее рассмотрим какие процессы протекают во время работы кадмий-никелевых батарей:

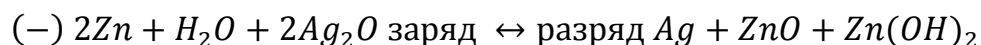


При разряде-заряде:

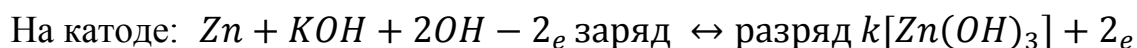


Следует обратить внимание, что здесь не выделяется вода, а это значит, электролит не разбавляется, и его плотность не падает, что является существенным плюсом.

Во время работы серебряно-цинковых батарей 15СЦС-45Б происходят следующие реакции:



При разряде-заряде:



К примеру, данные батареи устанавливаются на многоцелевой самолет МиГ-29 в количестве двух штук. Их общая емкость составляет около 90 А · ч.

Основные неисправности щелочных аккумуляторных батарей:

1. Внутреннее короткое замыкание.
2. Внешнее короткое замыкание.
3. Пониженная емкость.
4. Течь электролита.
5. Неправильное соединение аккумуляторов в батарее (переплюсовка).
6. Расплавление пайки борнов.
7. Плохой контакт штырей фальшбанки с разъемом.
8. Короткое замыкание в системе поэлементного контроля.
9. Нарушение защиты жгута поэлементного контроля.

Эксплуатация аккумуляторных батарей на летательных аппаратах.

Начнем с того, что каждая батарея закреплена за определенным летательным аппаратом. Для этого на нее делают соответствующие метки. В случае не-

исправности, разрешается использовать запасные, а также, по решению инженера части по авиационному оборудованию разрешается ставить батареи, приписанные к другим самолетам.

Во время установки отсеки для аккумуляторов пломбируются и данный факт записывается в журнале. На борту батареи могут храниться при температуре выше  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Подзарядку и хранение аккумуляторы проходят в ЗАС (зарядная аккумуляторная станция). Хранить в одном месте совместно кислотные и щелочные батареи категорически запрещено.

На самолет батареи устанавливаются в заряженном состоянии. Для проверки заряда используют счетчик ампер-часов. Делается это при предполетной подготовке самолета (до запуска двигателей).

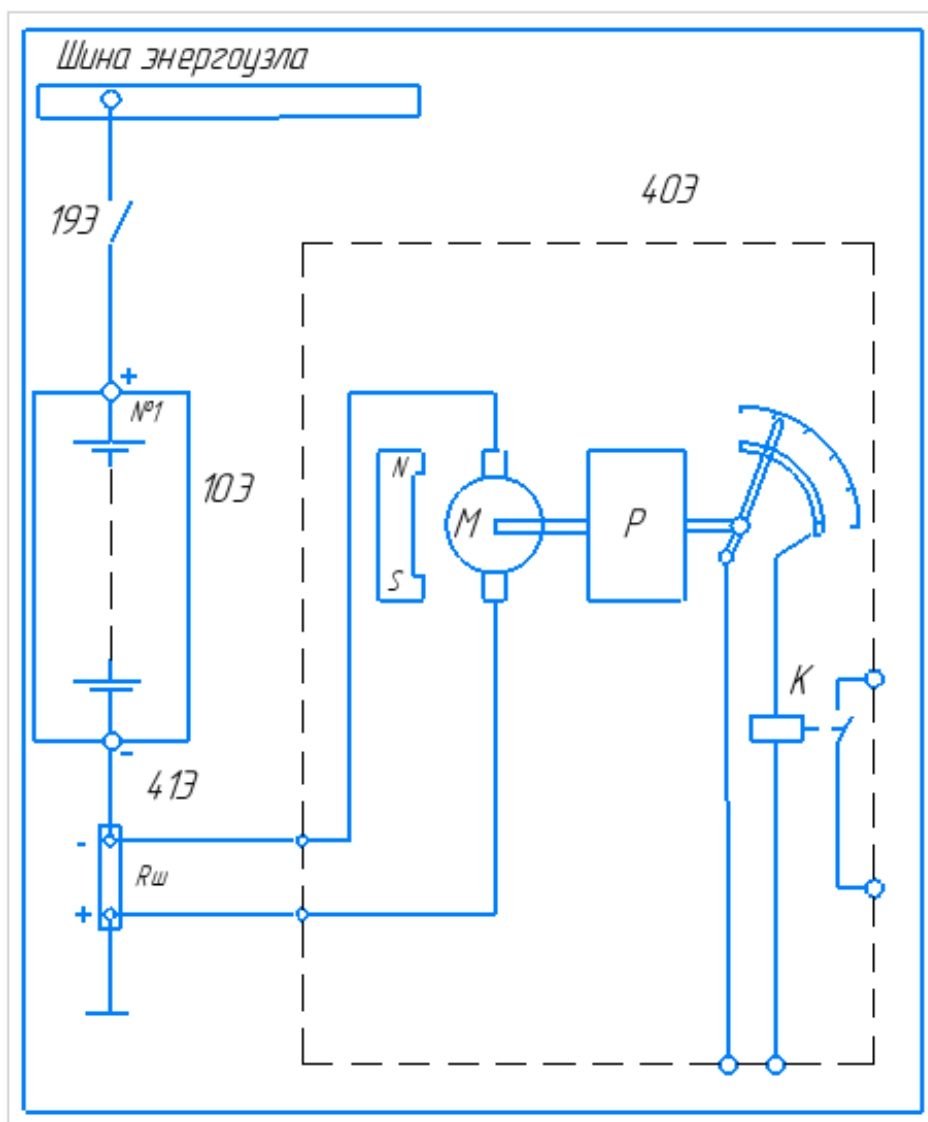


Рис. 1. Интегрирующий счетчик ампер-часов ИСА-К

Серебряно-цинковые аккумуляторные батареи в отличие от свинцово-кислотных не имеют параметров, позволяющих определить их степень заряженности. Поэтому примерную величину остаточной емкости можно определить лишь расчетным путем или по счетчику ампер-часов.

Для определения работоспособности батареи необходимо знание фактической емкости, в особенности для определения возможности обеспечения аварийного режима разряда.

Таким образом, в данной статье были рассмотрены основные виды аккумуляторных батарей, используемых на воздушных судах, а также их эксплуатационные особенности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационные аккумуляторные батареи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL [https://studopedia.ru/15\\_115470\\_aviatsionnie-akkumulyatornie-batarei.html](https://studopedia.ru/15_115470_aviatsionnie-akkumulyatornie-batarei.html) (07.01.22);
2. Галкин Е.Ф., Шабалов П.Г Авиационные аккумуляторные батареи: учебное пособие: Самара СГАУ – 2004;
3. Авиационные аккумуляторные батареи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL [https://studopedia.net/1\\_48479\\_aviatsionnie-akkumulyatornie-batarei.html](https://studopedia.net/1_48479_aviatsionnie-akkumulyatornie-batarei.html) (07.01.22);
4. А. Г. Герасимов, А. Д. Киселев, В. П. Кухаркин, В. Д. Борисов, Я. В. Савин, Н. Н. Шмыгин АВИАЦИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ, ИЗДАТЕЛЬСТВО «МАШИНОСТРОЕНИЕ» Москва 1965.

УДК 621.3

А. С. ЗЕЛЕНЦОВ  
artem08at@yandex.ru

Науч. руковод. – спец. отд. проектирования электрических машин АО «УАПО»,  
Р. Р. АХМЕРОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАСПИЛОВКИ ДРЕВЕСИНЫ: ЛЕНТОЧНЫЕ И ДИСКОВЫЕ ПИЛОРАМЫ**

**Аннотация.** В статье рассматриваются преимущества и недостатки ленточных и дисковых пилорам.

**Ключевые слова:** пилорама, распиловка леса, древесина, ленточные, дисковые, станок.

Для любой деятельности, связанной с деревообработкой, актуальна проблема выбора подходящего оборудования. Современным рынком специализированного оборудования предлагается несколько видов лесопильных станков. Выбирая подходящее оборудование для распиловки (первичной обработки древесины), важно подобрать оптимальный вариант, который обеспечит наиболее удобную и выгодную эксплуатацию оборудования, а именно специального станка – пилорамы. При помощи пилорамы получают следующие пиломатериалы: бруски прямоугольной и квадратной формы; брусья; доски (обрезные либо необрезные); горбыль; шпалы; заготовки с кромками и обзолом и т.д.

Основной целью распиловки древесины является получение качественных пиломатериалов с минимальным количеством отходов. Современные производители изготавливают пилорамы следующих типов: ленточные, дисковые, рамные, шинные (цепные). Наиболее популярными из них являются дисковые и ленточные модели.

Принцип работы ленточной пилорамы (ЛП) основан на циркуляционном вращении ленточной пилы на двух шкивах, один из которых приводится в движение электромотором или двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Внешний вид ЛП «Тайга ТЗ» [2], отечественного производства производственного предприятия «Группа Компаний Тайга» приведен на рис. 1.





Рис. 1. Ленточная пилорама «Тайга Т3»

Достоинства конструкции ЛП «Тайга» [1, 2]: простота конструкции, малые массогабаритные размеры; многосменная работа в различных климатических условиях, высокая надежность, относительно низкая цена, легкость транспортировки; минимум отходов; обработка бревен большого диаметра (например, на пилораме Тайга Т3 – 800 мм с кантованием); малый пропил – до 3 мм и соответственно на тонкой доске выход пиломатериала на 5÷7% выше чем у дисковой пилорамы; для их установки не нужен фундамент; удобство и быстрота в настройке рабочих параметров; высокая производительность; энергоэффективность и т.д. Также следует отметить, что при применении данного типа установок бревна вращаются. Вращение позволят оператору выбрать для распила ту сторону, где имеется менее всего дефектов (например, если основной древесиной, используемой для обработки, является береза или осина, то ленточная пилорама подойдет лучше дисковой, так как можно легко выпилить качественный материал, оставив сердцевину).

Недостатки: необходимость ремонта и замены ленточных пил; трудности при переработке грязного, сухого или горелого леса. Выходом из данной ситуации является дополнительная установка дебаркера (подчищающая фреза), которая используется для удаления коры и грязевых отложений с поверхности бревна, перед заходом ленточной пилы и увеличивает ее ресурс.

На рис. 2 приведен внешний вид дисковой пилорамы (ДП) «Кедр ДП-2» [3]. Преимущества ДП: надежность и простота монтажа, работа при низких температурах, нет необходимости в регулярном техническом обслуживании

(например, заточке); обеспечение различных схем распила; легкая транспортировка; возможность использования в лесу; несложность распиливания и ремонта; большая скорость и точность пиления; возможность получения радиальной доски и переработки некондиционного леса; высокая производительность.



Рис. 2. Горизонтальная двухдисковая пилорама «Кедр ДП-2»

Недостатки: дороговизна режущего инструмента (по сравнению с ЛП); нет возможности перерабатывать крупные диаметры заготовок; необходимость установки дополнительно многопильного станка, в связи с малым выходом готовой продукции (до 60%); не энергоэффективны.

Таким образом, перед выбором оборудования ЛП или ДП необходимо проанализировать условия, при которых оборудование будет работать. Здесь можно выделить основные факторы: качество обрабатываемой древесины; место эксплуатации оборудования; габаритные параметры леса; предполагаемый объем древесины, подвергающийся распиловке; качество выходного материала; затраты на обслуживание.

Только полный анализ условий работы, с учетом указанных факторов, поможет подобрать оптимальный вариант пилорамы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Профессиональный блог Андрея Ноака [Электронный ресурс] URL: <https://andreynoak.ru/pervichnaya-derevoobrabotka/vybiraem-luchshuyu-lentochnuyu-piloramu-i-ne-tolko/>
2. Официальный сайт производственного предприятия «Группа Компаний Тайга» [Электронный ресурс] URL: <https://www.pilorama1.ru/pilorama-lentochnaya/electro/tayga-t-3/>
3. Официальный сайт компании «Кедр» [Электронный ресурс] URL: [https://pilorama-kedr.ru/catalog/i\\_210](https://pilorama-kedr.ru/catalog/i_210)

УДК 621.313

Д. Ю. ИЖБУЛАТОВ, Д. Ю. ПАШАЛИ

*igbulatovd@gmail.com*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Ю. ПАШАЛИ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ДВИГАТЕЛЬ АСИНХРОННЫЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**Аннотация.** Автором рассмотрена система водоснабжения для пожаротушения атомных электростанций. Проведено сравнение асинхронных двигателей с фазным и короткозамкнутым ротором. Выбран прототип двигателя асинхронного для системы водоснабжения.

**Ключевые слова:** двигатель асинхронный; автономная электростанция, система водоснабжения, противопожарный водопровод

Для атомных электростанций (АЭС) предусматривается отдельный противопожарный водопровод (ПВ) высокого давления. Система ПВ обеспечивает наружное и внутреннее пожаротушение зданий и сооружений АЭС и работу стационарных установок пожаротушения помещений и оборудования, не относящихся к системе безопасности [1]. В качестве источника противопожарного водоснабжения водопровода используется система охлаждения и технического водоснабжения (нормальной эксплуатации) АЭС. При размещении пожарных насосов предусмотрены мероприятия против одновременного выхода из строя рабочего и резервного насосов в результате аварии (например, при затоплении насосной станции и т.п.). В насосной станции установлены: два насоса, обеспечивающие максимальные расчетные расходы и напоры воды для пожаротушения в соответствии с требованиями [2], из них один насос рабочий, второй – резервный; два насоса, обеспечивающие необходимый постоянный напор и расход воды для работы внутренних пожарных кранов с наибольшим расходом. При отказе или остановке рабочего насоса резервные насосы включаются автоматическим включением резерва.

Сети ПВ на площадке АЭС выполняются, кольцевыми и разделяются задвижками на ремонтные участки с отключением не более пяти пожарных гид-

рантов. Наружные и внутренние сети ПВ и установок пожаротушения помещений и оборудования выполняются из стальных неоцинкованных труб с установкой стальных задвижек и обратных клапанов (кроме пожарных кранов с вентилями). Внутренний ПВ следует предусматривать: в машинном отделении главного корпуса с установкой пожарных кранов на нулевой отметке и отметке обслуживания турбин; в здании обстройки реакторного отделения; в специальном корпусе; в резервной дизельной электростанции; в компрессорной станции пневмоприводов.

В качестве приводов насосов, применяемых в системах водоснабжения, для пожаротушения применяются асинхронные двигатели (АД), их преимущества: простота и компактность конструкции, удобное соединение с насосом, автоматизация управления, относительно низкие эксплуатационные затраты.

К приводным двигателям насосов предъявляется ряд специфических требований: большая мощность; пуск под нагрузкой; необходимо предусматривать продолжительное вращение ротора в обратную сторону (с угонной скоростью, определяемой характеристикой насоса), вызываемое сливом воды из напорных трубопроводов после отключения двигателя от сети при плановой или аварийной остановке.

АД с короткозамкнутым ротором (КР) имеют следующие преимущества: простота конструкции и относительно низкая цена; прямой асинхронный пуск без дополнительных устройств, что упрощает схему автоматического управления. Недостатком является то, что при прямом включении АД с КР высокая кратность пускового тока. Например, для АД мощностью  $0,6 \div 100$  кВт при частоте вращения 3 тыс. об/мин пусковой ток в  $5 \div 7$  раз выше номинального. Такой кратковременный всплеск пускового тока относительно безопасен для АД, но вызывает резкое снижение напряжения в сети, что отрицательно сказывается на других потребителях энергии, присоединенных к той же распределительной сети. Поэтому допустимая номинальная мощность АД с КР, пускаемым пря-

мым включением, зависит от мощности сети и в большинстве случаев ограничивается 100 кВт.

АД с фазным ротором имеют более сложную и дорогую конструкцию [4], так как обмотки ротора у них соединяются с наружным пусковым реостатом через три контактных кольца со скользящими по ним щетками. Перед пуском АД с ФР в цепь ротора с помощью реостата вводят дополнительное сопротивление, благодаря чему при включении АД уменьшается сила пускового тока по мере увеличения частоты вращения сопротивление постепенно уменьшается, а после того как АД достигнет частоты вращения, близкой к нормальной, сопротивление пускового реостата целиком выводят, обмотки закорачивают и двигатель продолжает работать как короткозамкнутый.

Актуальна разработка АД с КР приводов насосов, применяемых в системах водоснабжения, для пожаротушения на АЭС, за прототип разработки выбран, по методике [5], АД с КР 4АН280М, производства производственного предприятия «ПНК», мощностью 160 кВт, частотой вращения 1500 об/мин с питанием от сети переменного трехфазного тока частотой 50 Гц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Противопожарные нормы проектирования атомных станций ВСН-01-87. Москва 2000. [Электронный ресурс] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/8/8243/index.htm>
2. СНиП 2.04.02-84. Строительные нормы и правила. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001008>
3. Обзор конструкций асинхронных двигателей отечественных и зарубежных производителей для систем водоснабжения и пожаротушения [Электронный ресурс] URL: <https://rdgroup.ru/partners/>
4. Электродвигатели асинхронные, применяемые на атомных электростанциях [Электронный ресурс] URL: <https://uralgidromash.ru/katalog-produktsii/item/Vertikalasinhronndvigatelidlyaprivovaaec/>
5. Методика выбора двигателя для системы пожаротушения [Электронный ресурс] URL: [https://pnk-nasos.ru/stati-i-obzory-nasosnogo-rynka/article\\_post/2657801](https://pnk-nasos.ru/stati-i-obzory-nasosnogo-rynka/article_post/2657801)

А. Р. КАДЫРБАЕВ, М. Б. ГАРЕЕВА, Д. Ю. ЧУЙКИН  
*helpzooo341@gmail.com, gumerova\_m@mail.ru, dima\_2004\_ch@mail.ru*  
Науч. руковод. – М. Б. ГАРЕЕВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АСИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР В СОСТАВЕ ВЕТРОУСТАНОВКИ**

**Аннотация.** В статье рассматриваются общие проблемы развития ветроэнергетики, в частности вопросы использования ветроэнергетических установок на базе асинхронных электрических машин. Обоснована целесообразность применения асинхронных генераторов в составе ветроэнергетической установки автономных систем электроснабжения.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, ветроэнергетические установки, асинхронные генераторы.

В современном мире вопросы защиты окружающей среды становятся одной из главных забот человечества, использование различных источников энергии рассматривается не только с точки зрения их мощности и экономичности, но и влияния на экологию.

Энергия ветра чиста и экологически не наносит ущерба природе и людям. Однако, крупные ветроэлектрические установки с сотнями и тысячами ветровых турбин приносят немало проблем: они производят вибрацию и шум, служат помехой для теле и радиотрансляций, препятствуют миграции птиц.

На сегодняшний день, когда доля ветроустановок невелика в общем объеме генерации электроэнергии, вред от ветрогенераторов почти незаметен. Но, с учетом тенденции перехода к возобновляемым источникам энергии, доля которых неуклонно растет год от года, проблемы влияния ветроустановок на окружающую среду надо решать уже сейчас. Одним из таких решений является разработка ветроэлектрических установок с асинхронными генераторами, характеризующимися более низким уровнем шума.

Оптимальным вариантом применения ветроэнергетической установки (ВЭУ) является выработка электроэнергии для автономного электроснабжения. Частота выходного напряжения ВЭУ, как правило, не стабильна вследствие нестабильности ветрового потока. Для снижения издержек и увеличения эконо-

мической эффективности ВЭУ целесообразно использовать его для обеспечения электроэнергией потребителей III категории надежности электроснабжения, а так же для потребителей II категории в качестве резервного источника питания.

Выбор асинхронного генератора обусловлен рядом преимуществ этих машин [4, 5]:

- простота конструкции;
- низкая стоимость;
- хорошие массо-габаритные показатели при достаточно большой мощности;
- стабильность генерируемой мощности, электромагнитного момента в условиях переменной скорости ветра;
- нет необходимости в напряжении возбуждения;
- используется конденсаторное возбуждение;
- надежность;
- высокий КПД;
- высокая стабильность напряжения на выходе, при этом на выходе генераторов напряжение 220/380В переменного тока, который можно использовать напрямую к бытовым приборам, для зарядки аккумуляторов, для подключения к пилораме, а также для параллельной работы с традиционной сетью;
- выходная частота практически не зависит от скорости вращения ротора генератора.

Асинхронный генератор переменного тока следует предпочесть, если:

- 1) к величине напряжения и частоте не ставятся высоких требований;
- 2) работа генератора предполагается в запыленных условиях;
- 3) отсутствует возможность квалифицированного технического обслуживания;
- 4) нет возможности приобрести более дорогостоящий синхронный генератор;

5) вероятны перегрузки в переходном режиме (генератор снабжен дополнительными пусковыми конденсаторами).

Таким образом, применение асинхронных генераторов в составе ВЭУ является целесообразным, а их проектирование актуальной технической задачей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ергешов А.А., Ергеш Н.А. Математическая модель ВЭУ на базе асинхронных машин для оценки возможности подключения и совместной работы таких ВЭУ в составе ЭЭС // ВЕСТНИК НАУКИ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА, 2018. № 2(2). С. 56-63.
2. Быков Н.Д., Максимов Ю.П. Применение асинхронного генератора в ветроэнергетических установках // Материалы научно-практической конференции ДНИ науки студентов ИАСЭ-2020, 2020. С. 149-154.
3. Никитенко Г.В., Коноплев Е.В. Ветроэнергетические установки в системах автономного электроснабжения. Монография. Издательство «Агрус», г. Ставрополь, 2008. 152 с.
4. Бубенчикова Т.В., Молодых В.О., Руденок А.И., Данилов Д.И., Шевченко Д.Ю. Выбор электрогенераторов для ВЭУ // Международный научно-исследовательский журнал, 2016. № 12-3 (54). С. 43-50.
5. Преимущества и недостатки асинхронного генератора для ветрогенератора. [Электронный ресурс]. URL: <https://vetrogenerator.com.ua/komplekt/generator/56-preimuschestva-i-nedostatki-asinhronnogo-generatora-dlya-vetrogeneratora.html> (дата обращения 30.08.2022)



## НА ПУТИ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО САМОЛЕТА

**Аннотация.** В статье предложено решение более эффективного самолета. Рассмотрены преимущества и недостатки электрического самолета и произведено сравнение электрического самолета с традиционным газотурбинным.

**Ключевые слова:** электрический самолет, полностью электрифицированный самолет, летательный аппарат на электричестве, электрические машины.

Авиация шаг за шагом достигла предела развития, в связи с чем предлагаются новые технологические решения с целью повысить эффективность имеющегося летательного аппарата (ЛА). Создаются концепции более электрического самолета (БЭС) и полностью электрического самолета (ПЭС). БЭС представляет собой ЛА оснащенный двигателем внутреннего сгорания или газотурбинным двигателем, но большинство установленного оборудования в нем – электрифицировано. ПЭС же представляет собой ЛА без двигателя внутреннего сгорания, все оборудование производит свою работу на электроэнергии, что не только сводит выбросы вредных веществ в окружающую среду на ноль, но и значительно снижает стоимость полетов. Использование аккумуляторных батарей ограничивало возможности летательных аппаратов – дальность, время полета, грузоподъемность. По этой причине специалисты в области авиации стали рассматривать альтернативные варианты получения энергии. Среди них:

– солнечные батареи – преобразуют энергию излучения солнечного света в электрическую энергию;

– топливные элементы – преобразуют химическую энергию топлива в электрическую без процессов горения; в качестве топлива используется водород.

Одна из причин перевода авиации на электричество – это экология. Переход на электричество поможет решить проблемы загрязнения воздуха. Полностью электрический самолет не имеет выхлопных газов, но питается он от аккумуляторов, производство и утилизация которых загрязняет окружающую среду [1]. Переход на электричество позволит снизить затраты на топливо. Электрические самолеты в отличие от традиционных значительно тише, что позволит аэропортам располагаться ближе к городам. Электрические двигатели обслуживать легче чем ДВС, так как они устроены проще, имеют меньше соприкасающихся частей [2]. Это позволит уменьшить расходы на обслуживание и эксплуатацию. Основная сложность перехода на электрические самолеты – это малая емкость аккумуляторных батарей. Для сравнения реактивное топливо имеет примерно в 30 раз больше энергии, чем современные батареи. И еще самолет с ДВС в течении полета сжигает топливо и тем самым уменьшает вес самолета, соответственно, расход становится меньше, а вес батареи в течении всего полета не меняется.

Рассмотрим известные перспективные электрические самолеты.



Рис. 1. Электрический самолет Airbus E-Fan

Airbus E-Fan – двухместный электро-самолет, разработанный компанией Airbus и был представлен в июле 2013 года [3]. Размах крыльев составляет 9,7 м, длина – 6,7 м, а масса – 500 кг. На земле самолет может разгоняться до 55 км/ч за счет мотор-колеса на шасси. Это решение экономически более выгодно

так как позволяет уменьшить расход батареи. Самолет использует литий-ионные полимерные аккумуляторы и имеет два мотора мощностью по 60 кВт.



Рис. 2. Самолет Extra 330LE

Extra 330LE – двухместный пилотажный и бесшумный самолет, оснащенный электрическим двигателем Siemens [4]. Этот самолет изготовлен из легких материалов и предусмотрен для двадцатиминутных полетов или пяти минут полета на максимальной тяге. В длину самолет составляет 7,5 м в высоту 2,6 м, размах крыла 8 метров. Самолет установил рекорд набора высоты в 3000 м среди аналогов, достигнув ее за 4 минуты и 22 секунды. Также самолет достигнул максимальной скорости 337,5 км/ч на расстоянии 3 км.



Рис. 3. Самолет Alice Eviation

Alice Eviation – электрический самолет, разработанный израильским стартапом Eviation Aircraft [5]. Это небольшой пассажирский самолет способный преодолевать расстояние до 1000 километров на одном заряде батареи, а его максимальная скорость составит 440 км/ч. Разогнаться он будет тремя винтами, расположенными по одному на крыльях и в хвосте самолета. Винты приводятся в движение тремя электромоторами мощностью 350 л.с. каждый. Вмещать на борт он сможет до 9 человек и 2 пилота. Максимальная грузоподъемность самолета 6,350 кг, высота полета от 3 до 9 км.



Рис. 4. Yuneec E430

Yuneec E430 – электрический двухместный самолет, представленный китайской компанией Yuneec International в 2009 году [6]. На самолете установлены 3-5 батареи, что позволяет летать до двух с половиной часов. Электродвигатель мощностью 40 кВт позволяет набирать крейсерскую скорость 90 км/ч. В кабине воздушного судна модели Yuneec International E430 может разместиться до двух человек – пилот и пассажир.



Рис. 5. Самолет Taurus G4

Taurus G4 – электрический самолет от словенской компании Pipistrel. В одном самолете инженеры соединили два легких планера Taurus G2 [7]. Самолет имеет электродвигатель мощностью 150 кВт, который питается от 466 килограммового литий полимерного аккумулятора. Вес самолета вместе с батареей составляет 1056 кг. По заявлениям разработчиков самолет может поднять в воздух груз весом 430 килограммов, что позволяет разместить на борту 4 человека.

Таблица 1

Сравнение технических характеристик самолетов

Самолет \ Параметр	Airbus E-Fan	Alice Eviation	Extra 330LE	Yuneec E430	Taurus
Скорость полета (км\ч)	160	440	342	90	200
Вместимость пассажиров	2	11	2	2	4
Дальность полета (км)	150	1046		225	400
Мощность эл.двигателя, кВт	2*30		260	40	150
Длительность полета	1 час	2,8 часа	20 мин	2,5	2

Причиной того, что современная авиация еще не перешла на ПЭС является малая емкость аккумуляторных батарей и их большой вес, который может занимать половины массы самолета. К примеру, современный пассажирский самолет Airbus A380 способен перевозить 853 человека на расстояние 15 000 километров без посадки, а электрические самолеты могут перевозить пилотов и

несколько пассажиров на малое расстояние. Важной задачей конструкторов является размещение на борту достаточного количества энергии. Вес самолета и свободное место внутри самолета является приоритетной задачей авиастроения, поэтому идет активная разработка и применение легких композитных материалов и эффективных источников энергии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тулинова Е. Е. и др. Обзор разработок полностью электрических самолетов //Электричество. – 2016. – №. 4. – С. 15-25.
2. Электрический самолет: концепция и технологию. АВ Лёвин, СМ Мусин, СА Харитонов, КЛ Ковалев... - 2014
3. Обзор E-Fan X. [Электронный ресурс] URL: <https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/electric-flight/e-fan-x>. (Дата обращения:25.08.22)
4. Обзор Extra 330 LE. [Электронный ресурс] URL: <https://www.aerospace-technology.com/projects/extra-330le-electric-aircraft/>
5. Обзор Alice Eviation. [Электронный ресурс] URL: <https://www.eviation.co/> (Дата обращения:25.08.22)
6. Обзор Yuneec E430. [Электронный ресурс] URL: <https://www.pipistrel-aircraft.com/pipistrel-aurus-g4-worlds-first-fully-electric-4-seat-aircraft-won-the-nasa-2011-green-flight-challenge-archive/>. (Дата обращения:25.08.22)
7. Обзор Taurus. [Электронный ресурс] URL: <https://shop.yuneec.com/eu/commercial/>. (Дата обращения:25.08.22)

С. Р. КАЛИМУЛЛИН, Д. Ю. ПАШАЛИ, О. А. ЮШКОВА, А. И. ГИЛЯЗОВ  
salavat.kalimullin.2015@mail.ru

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ШРЕДЕРОВ

**Аннотация.** В статье проанализированы конструкции промышленных шредеров для переработки твердых бытовых отходов, выбран аналог для разработки двигателя асинхронного для промышленного шредера.

**Ключевые слова:** шредер, твердые бытовые отходы, переработка, асинхронный двигатель

По данным федеральной схемы обращения с отходами, ежегодно в России в среднем образуется 59,7 млн. тонн отходов [1]. Уровень обработки твердых бытовых отходов (ТБО) составил в 2020 году – 30%; в 2021 году – 40,6%; в 2022 году – 57,3 %, а к 2030 году, согласно национальному проекту «Экология» он должен достичь – 100 % (рис. 1).

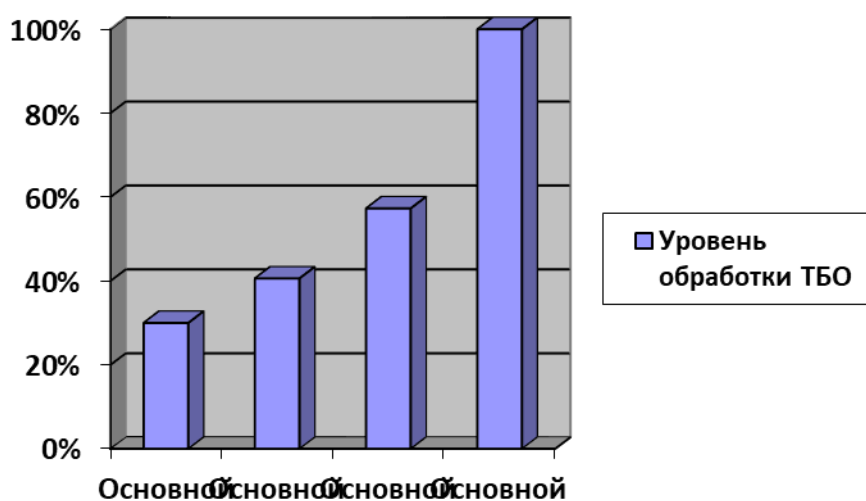


Рис. 1. Динамика роста уровня обработки ТБО в России

Существует множество способов переработки ТБО, среди которых наиболее применим метод дробления и измельчения, это связано с перспективой мелкофракционного полуфабриката, удобства транспортирования и дальнейшей переработкой [2]. В связи с ростом объемов, актуальна задача обеспечения надежности измельчителей – промышленных шредеров (ПШ), применя-

емых при обработке ТБО: крупных деревянных (отходы деревообработки, мебель, корни и стволы деревьев, железнодорожные шпалы и т.д.), строительного мусора; автомобильных покрышек, корпусов холодильников, поддонов, макулатуры, стекла; пластмасс, пластиковых труб, ПЭТ-бутылок, пленки и др.

Цель работы провести анализ повреждаемости промышленных shreddеров и предложить методы и средства повышения надежности наиболее повреждаемых элементов их конструкции.

Анализ повреждаемости ПШ показал [3], что наиболее повреждаемыми элементами конструкции являются роторы (на моно-, двух- и четырех-роторных ПШ); валы (на оборудовании предварительного измельчения); режущий инструмент (РИ). Менее повреждаемыми являются цепи и молотки вертикального агрегата, фильтрующие сетки, корпуса, другие элементы конструкции ПШ.

Для повышения работоспособности РИ ПШ применяются: композиции инструментальных материалов повышенной износостойкости и прочности; конструкции режущей части с оптимальным сочетанием геометрических параметров, надежными методами крепления режущих элементов и эффективными устройствами для дробления и ломания; методы поверхностной модификации свойств материала РИ; наплавка, напайка пластин из износостойких сплавов (нанесение износостойких покрытий); хромирование поверхности с последующей механической обработкой, покрытие твердыми смазочными (антифрикционными) материалами; комплексная ионно-плазменная поверхностная обработка и т.д. Методы поверхностной модификации свойств РИ: механические, физические и физико-химические методы упрочнения, химико-термическая обработка ограничены из-за дефицитности ряда элементов, традиционно применяемых для этих целей, а использование механических, физических и химико-термических методов не нашло широкого промышленного использования вследствие низкой избирательной способности поверхностного воздействия на структуры материала РИ [4].



Известен метод хромирования поверхности с последующей механической обработкой [5], который позволяет повысить твердость, теплостойкость, износостойкость и антикоррозионные свойства РИ, за счет исключения адсорбированных элементов в прикромочных зонах и залипания ТБО. При реализации метода поверхности РИ должны иметь шероховатость не более 1,25 мкм и подвергаются обезводороживанию путем нагрева в масле или в сушильном шкафу при температуре 150÷200°С (2-3 часа). Недостатками метода является трудоемкость реализации. Известен метод [6] – покрытие РИ вольфрам – дисульфидом молибдена, который обладает антифрикционным эффектом, позволяет обеспечить коэффициент трения ниже 0,05 и повысить: износостойкость, термостойкость, устойчивость к воздействию агрессивных сред; работоспособность в вакууме до 1300°С. Существенным недостатком способа [6] является высокая стоимость химического состава. Известно устройство для диагностики состояния РИ [7], недостатком которого является необходимость выведения НВ из рабочего состояния для определения его технического состояния.

Авторами разработан промышленный автоматический трехступенчатый шредер, номинальной производительностью 500 кг/ч, для которого проведен расчет валов на прочность, учитывающий разновидности цикла напряжений изгиба и кручения, размеры и форму, усталостные характеристики материалов и состояние поверхности валов.

Таблица 1

Результаты расчетов валов на прочность

Ступень	1	2	3
Параметр			
$W, мм^3$	21400	2696	171
$\psi_a$	13,08	153,3	202
Условие прочности $\psi < \psi_{из}$	12,72<210	153,3<210	202<210
$\xi$	28,9	37,9	49,6
Условие прочности $\xi < \frac{1}{2} \psi_{\xi_{кр}}$	28,9<63,75	37,9<63,75	49,6<63,75

Расчеты проводятся по соотношениям:

$$\psi_a = M \cdot 10^3 / W, \quad (1)$$

где  $\psi_a$  – амплитуда нормальных напряжений, изменяющихся по симметричному циклу, Н/мм<sup>2</sup>;  $M$  – изгибающий момент в рассматриваемом, Н·м;  $W$  – момент сопротивления сечения вала, мм<sup>3</sup>,  $\psi_{из}$  – предельное напряжение изгиба, Н/мм<sup>2</sup>.

$$\xi = \frac{M \cdot 10^3}{2W_p}, \quad (2)$$

где  $\xi$  – амплитуда касательного напряжения, изменяющегося по отнулевому циклу;  $W_p$  – полярный момент инерции сопротивления сечения вала, мм<sup>3</sup>,  $\psi_{\xi_{кр}}$  – напряжение кручения. Результаты расчетов для трех ступеней сведены в табл. 1.

В результате проведенного обзора можно сделать вывод, что наиболее перспективным методом повышения надежности РИ является нанесение износостойких покрытий, его преимущество также в сокращении стоимости за счет исключения применения смазочно-охлаждающих технологических сред. Метод позволяет создать принципиально новый инструментальный материал композиционного типа с оптимальным сочетанием свойств поверхностного слоя и свойств, проявляющихся в объеме геометрического тела инструмента.

Разработан промышленный трехступенчатый шредер и проведен расчет валов на прочность, учитывающий разновидности цикла напряжений изгиба и кручения, размеры и форму, усталостные характеристики материалов и состояние поверхности валов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [Электронный ресурс] URL: [https://www.vedomosti.ru/press\\_releases/2022/01/12/obem-obrabotki-othodov-v-rossii-dostig-406](https://www.vedomosti.ru/press_releases/2022/01/12/obem-obrabotki-othodov-v-rossii-dostig-406)
2. Шайхлисламов А. И., Пашали Д. Ю. Линии автоматической сортировки твердых бытовых отходов // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей двенадцатой международной научной конференции. 30-31 декабря 2020 г. Часть 1. – Казань: ООО «Конверт» - 2020. – 324 с. С.207-214 [Электронный ресурс] URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44776015&pff=1>

3. Анализ повреждаемости промышленных shredders [Электронный ресурс] URL: [https://www.k-servic.ru/polomki\\_shreder.php](https://www.k-servic.ru/polomki_shreder.php)
4. Григорьев С.Н. Повышение надежности режущего инструмента путем комплексной ионно-плазменной поверхностной обработки // Автореферат диссертации на соискание звания д-ра техн. наук. [Электронный ресурс] URL: <https://www.dissercat.com/content/povyshenie-nadezhnosti-rezhushchego-instrumenta-putem-kompleksnoi-ionno-plazmennoi-poverkhno>
5. Шубов Л. Я. Технология твердых бытовых отходов. Москва: ИНФРА–М, 2016. 400 с.
6. Сидорова К.В., Пыриков П.Г. Повышение работоспособности ножей shredders для переработки твердых бытовых отходов путем нанесения покрытий на основе системы «W-MoS<sub>2</sub>» [Электронный ресурс] URL: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/94835/1/978-5-9544-0107-3\\_2020\\_050.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/94835/1/978-5-9544-0107-3_2020_050.pdf)
7. Пашали Д. Ю., Хайруллин И. Х., Исмагилов Ф. Р., Афанасьев Ю. В., Бойкова О. А. Накладной электромагнитный преобразователь // Патент на полезную модель № 68700 опубл. 27.11.2007. БИ № 33.

Д. В. КОБЗОВ

*kobzovdan@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук А. Р. ВАЛЕЕВ

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

**Аннотация.** Данная статья посвящена изучению перспективы развития идеи полноценной автономности, полной или частичной смены источника энергии для сельскохозяйственной техники. Рассмотрены вопросы электрификации транспорта, приведена оценка текущего уровня развития электрических технологий.

**Ключевые слова:** электрификация, электромобиль, автономный агрегат, гибридная установка, электротяговый двигатель.

Сельскохозяйственная отрасль находится в постоянном развитии. Из года в год для разного направления агропромышленного комплекса предлагаются инновационные решения, помогающие сделать введение аграрного бизнеса более эффективным и менее затратным. Однако наибольшее внимание всех сельхозпроизводителей традиционно привлекают разработки в сфере сельхозтехники, воплощение идеи полноценной автономности и полной смены источника энергии для таких сложных и крупногабаритных машин.

В настоящее время существуют три концепта электрификации сельскохозяйственной техники. Рассмотрим концепт полностью электрифицированного трактора на примере модели компании John Deere «Sustainable Energy Supply for Agricultural Machinery».

Вместо дизельного двигателя концепт трактора оснащен электромотором и батареей на 130 кВт\*ч. Конструкция электрифицированного трактора обладает особой трансмиссией и удобным для смены аккумуляторных батарей ее расположением. При использовании двигателя ток от аккумуляторных батарей, находящихся под кузовом, идет к двигателю через систему тиристорных блоков управления. Мощность тягового электропривода составляет 402 лошадиных силы. Преимуществами такого концепта являются:

- отсутствие вредных выбросов;
- меньшая трудоемкость по ремонту;

- высокие значения крутящего момента;
- экономичность.

Однако имеются и неудобства. На данный момент энергоресурс АКБ составляет 4 часа полевых работ, при этом на заряд уходит 3 часа. Ресурс батареи составляет 2600 циклов, выработка которого ведет к замене агрегата, что экономически не целесообразно.

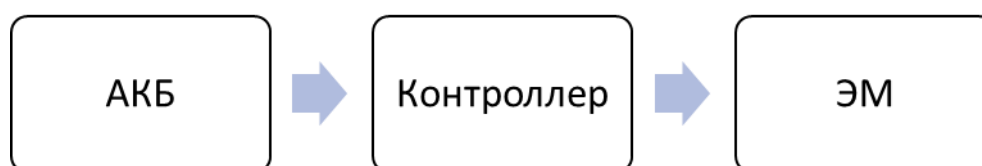


Рис. 1. Принципиальная схема полностью электрифицированного трактора

Данный концепт оснащен двумя электродвигателями – однако для движения применяется только один, при этом через фирменную трансмиссию DirectDrive, которая по принципу действия идентична коробкам DSG с двумя сцеплениям, второй двигатель приводит в действие навесное оборудование, при этом по мере необходимости оба мотора возможно переключить либо на привод колес, либо на отбор мощности подвеса.

Следующая конфигурация электрификации сельскохозяйственной техники, которая возможна – роботизированный электросетевой трактор, принципиальная схема которого показана на рисунке 2. Решение схоже с конструкцией советских инженеров, но с применением современных технологий беспилотных систем. Модель «GridCON» компании John Deere, не требует традиционной кабины, присутствия водителя и имеет возможность подключения к инфраструктуре интеллектуальных сетей. Это означает что фермеры, могут использовать использовать возобновляемые источники энергии, установленные на участках или подключаться к региональным инфраструктурам. Данный агрегат не использует энергию из бортовой батареи, получая свою энергию через кабель,

подключенный к сети. В полевых условиях электрическая сельскохозяйственная машина снабжается постоянным током в диапазоне среднего напряжения 6 кВ постоянного тока через этот кабель, который преобразуется в 700 В постоянного тока в бортовой сети при этом передаваемая мощность составляет более 300 кВт. Электродвигатель мощностью 100 кВт питает трансмиссию IVT, так же в данном концепте установлена дополнительная розетка для орудий, приводимых в действие электродвигателем мощностью 200 кВт. Барабан закрепленный на тракторе несет с собой до 1000 м кабеля, хотя при необходимости длина может быть увеличена. В полевых условиях кабель подается и наматывается во время управления роботизированной рукой, что сохранит работу без трения на низкой нагрузке. Интеллектуальная система наведения так же используется для предотвращения столкновения с кабелем. При работе трактор автономно следует по заданным путям на рабочих скоростях примерно 20 км/ч. Требуемый источник питания переменного тока для данной модели 2,5 кВ, общий КПД трансмиссии находится на границе 85 процентов.

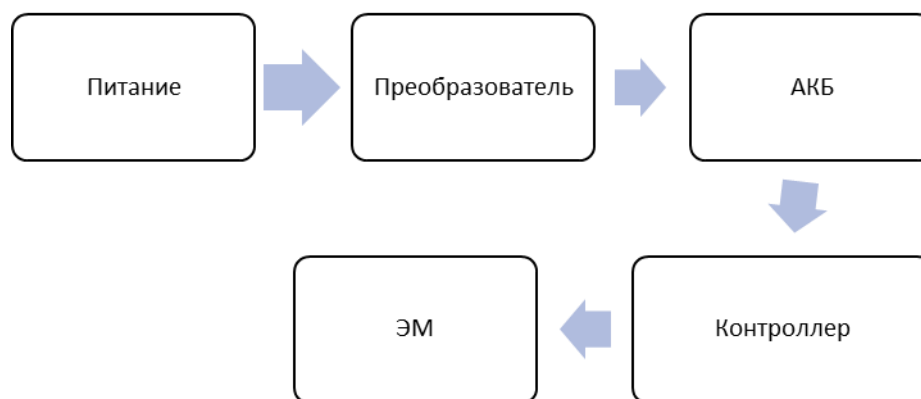


Рис. 2. Схема электросетевого трактора

Преимуществами данного конструктивного решения по сравнению с традиционным двигателем внутреннего сгорания и автономным трактором с аккумуляторными батареями являются:

– легкость пуска электродвигателя, его надежность и простота технического обслуживания;

- отсутствие затрат времени на заправку топливом и водой.
- примерно на 50 % ниже эксплуатационные и машинные расходы.

Недостатки:

- высокая стоимость электротракторных систем;
- более низкая маневренность ввиду наличия дополнительного «поводка»;
- недостаточный ресурс и высокая стоимость питающего кабеля;
- невозможность самостоятельного переезда электротракторов и подстанций к обрабатываемым участкам и месту парковки;
- более высокое давление на почву, вызванное большим весом трактора.

Более реализуемая конфигурация электрификация транспорта в наших реалиях является гибридная в таких схемах электрогенераторы приводятся в действие непосредственно от двигателя внутреннего сгорания и направляют энергию на электроприводные оси техники. Рассмотрим концепт дизельно-электрического гибрида компании «Steyr», в отличие от других электротракторов, в этом тракторе используется последовательный гибридный подход, при котором компактный четырехцилиндровый двигатель внутреннего сгорания работает как генератор энергии, заряжая аккумуляторы, при этом обеспечивая минимальный расход топлива за счет работы на установившемся режиме. Основное внимание при разработке системы было уделено системам электропривода с потенциалом для питания с высокой мощностью, что также обеспечивает дополнительное преимущество в расходе топлива, в среднем на 8%. Это облегчает возврат к максимальной скорости движения, которую можно достичь на 25% быстрее. За счет применения суперконденсаторов которые позволяют увеличить мощность трактора, повышается эффективность при движении в гору. Концепт электротрактора представлен на рисунке 3.

Преимущества данного конструктивного решения является:

- исчезает проблема длительной подзарядки и отсутствия достаточного количества станций, позволяющие заправить аккумуляторные батареи;

– более низкая цена по сравнению с полностью электрифицированным или сетевым концептом.

Недостатки:

– не исключает использование ископаемого топлива;

– большой вес гибридной установки.



Рис. 3. Схема гибридного трактора

Рассматривая различные концепции электрификации сельскохозяйственной техники можно сделать вывод о том, что в ближайшее время дизельные двигатели сохранят свое превосходство в отрасли. Экономически целесообразного серийного выпуска электроприводов для такой техники не предвидится, к тому же у дизельного двигателя удельные показатели мощности значительно превосходят таковые у тяговых электроприводов, что важно при работе с большими нагрузками и на слабых грунтах, типичных для агропромышленности. Многообещающими выглядят концепции гибридных дизельно-электрических агрегатов. В таких схемах электрогенераторы приводятся в действие непосредственно от двигателя внутреннего сгорания и направляют энергию на электроприводные оси техники. Полный переход на электротехнику в глобальном смысле представляется перспективой еще очень далекой, однако при должном развитии технологии сохранения энергии преимущества электропривода очевидны.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов, С.В. and Ю.П. Чижков, 1999. Электрооборудование автомобилей. За рулем Страниц: 385 Размер: 5,42 Язык: Русский, pp: 1-55.
2. Dave, M., 2018. IS THE FUTURE OF AGRICULTURE BATTERY-POWERED?. Successful farming, 27. Date Views 22.08.2022 [www.agriculture.com/machinery/is-the-future-of-agriculture-battery-powered](http://www.agriculture.com/machinery/is-the-future-of-agriculture-battery-powered).
3. ELECTRIC AGRICULTURAL MACHINERY: WHERE ARE WE WITH REGARDS TO THE ELECTRIFICATION OF THE AGRICULTURAL WORLD?. Date Views 25.08.2022 [www.flashbattery.tech/en/electric-agricultural-machinery/](http://www.flashbattery.tech/en/electric-agricultural-machinery/).
4. Ксенечёва, И.П. and М.В. Шарипова, 2001. Тракторы конструкция. Москва МГТУ "Маши", pp: 190-261.
5. John Deere: Sesame Opens Doors to Electric Motor. Date Views 27.08.2022 [www.deere.com/en/index.html](http://www.deere.com/en/index.html).

**ОСОБЕННОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ,  
РАБОТАЮЩИХ В СЕТЯХ 220 КВ**

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности конструкций и области применения силовых масляных трансформаторов, используемых в сетях 220 кВ. Проанализирован способ охлаждения таких трансформаторов, особенности выбора обмоточных проводов. Рассмотрены способ шихтовки магнитопровода таких трансформаторов и структура изоляции их обмоток.

**Ключевые слова:** трансформатор; магнитопровод; обмотки.

Силовые трансформаторы, используемые в сетях 220 кВ, в настоящее время используются как для понижения напряжения, подходящего от сети 500 кВ до уровня 220 кВ с целью передачи электроэнергии по ЛЭП в сетях 220 кВ или с целью дальнейшего преобразования напряжения в понижающих трансформаторах до более низких уровней. Другим вариантом применения подобных трансформаторов являются блочные трансформаторы, работающие в блоках электростанций для повышения напряжения генераторов 10 кВ или 15,75 кВ до уровня 220 кВ для последующей передачи или дальнейшего преобразования напряжения. На рис. 1 показан общий вид блочного трансформатора ТДЦ-125000/220 [1].

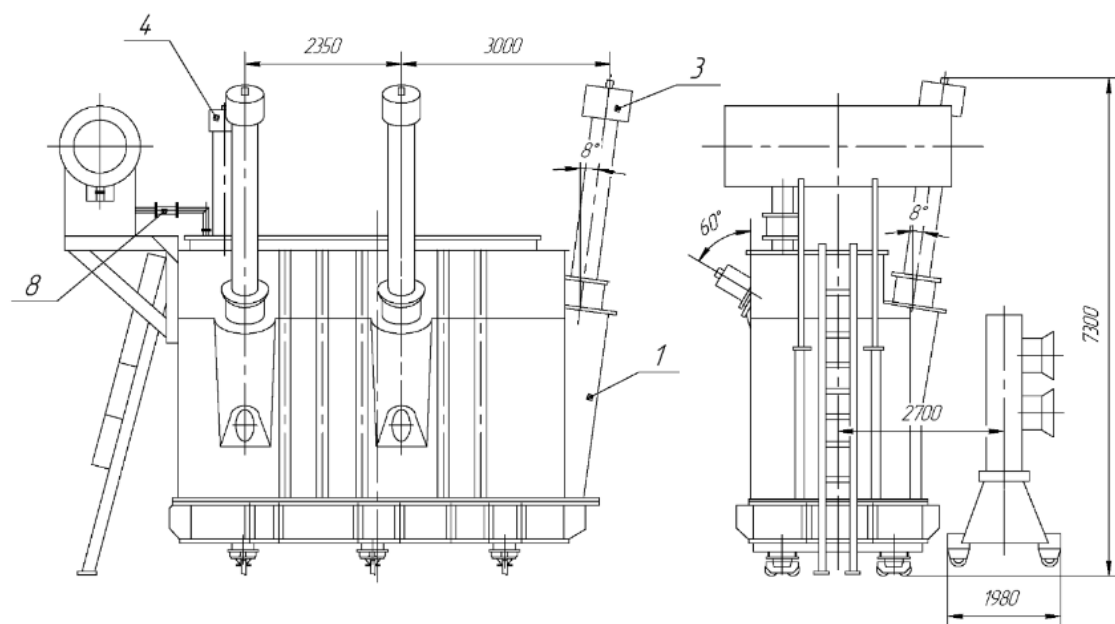


Рис. 1. Трансформатор ТДЦ-125000/220

Рассмотрим особенности конструкций основных элементов такого трансформатора. Поскольку мощность трансформатора очень высока, необходимо принятие специальных мер по обеспечению рационального охлаждения его активных частей. В соответствии с этим, такой трансформатор выполняется со способом охлаждения ДЦ, что означает охлаждение с принудительной циркуляцией масла с его ненаправленным потоком при помощи охладителей, которые дополнительно обдуваются воздухом от вентиляторов («дутье»). В качестве таких маслоохладителей могут быть, например, использованы охладители ОДЦ-160 или ОДЦ-180. На рис. 2 показан внешний вид охладителя ОДЦ-180 [2].



Рис. 2. Охладитель ОДЦ-180/2280

Количество охладителей определяется в тепловом расчете при проектировании трансформатора. Номинальный тепловой поток охладителя по рис. 2 составляет 180 кВт.

В качестве обмоточных проводов в рассматриваемых трансформаторах используется транспонированный провод, например, марок ПТБ или ПТБУ [3], так как даже на стороне высокого напряжения величины токов и требуемых сечений проводов в таких трансформаторах достаточно велики, что обуславливает необходимость применения проводов из множества параллельных проводников с выполнением транспозиций проводников для выравнивания сопротивлений этих параллельных цепей. По конструкции обмотки трансформатора ТДЦ-125000/220 применяются следующих типов: обмотка низкого напряжения – винтовая, обмотка высокого напряжения – непрерывная катушечная.

Высокая мощность трансформатора также обуславливает необходимость принятия мер по снижению величины потерь холостого хода, которые в трансформаторе ТДЦ-125000/220 могут составлять 90 кВт и выше. В таких трансформаторах используются плоские трехстержневые магнитные системы с шихтовкой листов электротехнической стали 3408-3409 магнитопровода по системе «*Step-Lap*» с образованием косых стыков во всех углах магнитной системы (рис. 3) [4]. Другим вариантом изготовления магнитных систем является использованием ленточных магнитопроводов из аморфных сплавов.

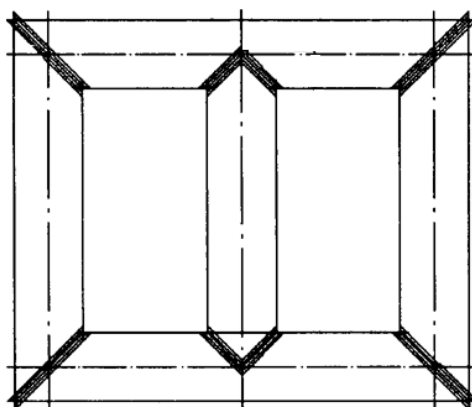


Рис. 3. Шихтовка по системе «*Step-Lap*»

Выбор допустимых изоляционных расстояний от обмоток до заземленных частей трансформатора и между обмотками производится по соответствующей справочной литературе. На рис. 4 показана общая структура изоляции обмоток трансформатора класса напряжения 220 кВ [3].

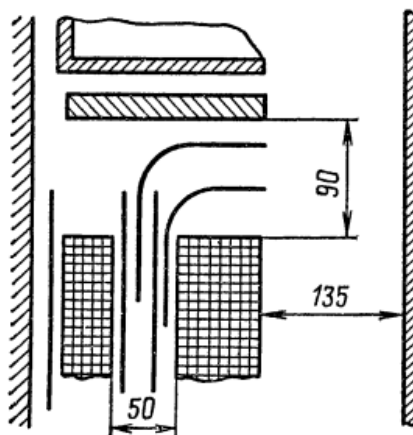


Рис. 4. Структура изоляции обмоток трансформатора класса 220 кВ и ориентировочные изоляционные расстояния

Таким образом, были определены основные способы обеспечения эффективной работы трансформаторов ТДЦ-125000/220 за счет рационального выбора марок проводов его обмоток, конструкции магнитной системы и маслоохладителей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТДЦ-125000\_220 У1 – Тольяттинский Трансформатор. URL: <https://silovoytransformator.ru/220-kv-i-vyshe/tdc-125000-220-u1.htm> (дата обращения 15.09.2022).
2. Охлаждающее устройство ОДЦ-180/2280. URL: <https://vozduhoohladiteli.com/masloohladiteli-odc/odc-180-2280/> (дата обращения 15.09.2022)
3. Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов: учеб. пособие для студентов электротехнических и электромеханических специальностей вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2013. 528 с.
4. Рогинская Л.Э., Горбунов А.С. К вопросу влияния типа магнитной системы на параметры холостого хода силовых трансформаторов мощностью 100-1600 кВА, класса напряжения 10 кВ // Электротехнические комплексы и системы. Международная научно-практическая конференция. Уфа, 2021. С. 103–109.

УДК 621.313

М. С. МИНИАХМЕТОВ

*m.mars.15@icloud.com*

Науч. руковод. –вед. инж.-констр. АО «УАПО» М. Ф. ГИЛЬМАНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ДВИГАТЕЛЬ АСИНХРОННЫЙ В АППАРАТАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

*Аннотация.* В работе рассматривается применение аппаратов высокого давления и асинхронного двигателя в них, а также характеристики данной машины.

*Ключевые слова:* аппарат высокого давления; электродвигатель; асинхронный двигатель.

Аппарат высокого давления – это устройство для удаления грязи с поверхности с помощью мощной струи воды. Таким быстрым, эффективным и щадящим способом можно очистить почти все, что угодно.

Нет лучшего способа эффективной мойки автомобиля, чем при помощи струи воды высокого давления. Мойки различаются по своим габаритам, производительности и давлению струи. Для применения АД в быту подойдет самый простой вариант, а профессиональная автомойка потребует более производительных агрегатов.

АД для автомойки имеет нехитрую конструкцию. Ее главные элементы:

- электродвигатель;
- насос высокого давления;
- шланг высокого давления;
- шланг для подачи воды к насосу;
- пистолет для распыления воды;
- автоматика (реле давления);
- различные насадки, которые меняют конфигурацию струи для работы с различными типами загрязнений.

Рассмотрим в чем заключается принцип работы мойки высокого давления. Один из основных элементов конструкции – электродвигатель. Для нагнетания нужного давления воды используется двигатель, чей выходной вал запус-

кает и вращает насос, дающий давление. Достаточно давления 150 – 180 Бар, чтобы получить струю, способную быстро и качественно очистить поверхность. Насос в свою очередь подает воду под напором в шланг, к которому присоединен пистолет с распылителем. Форма струи может регулироваться.

При конструировании электродвигателей для моек производители делают особый упор на его надежность. Работа автомойки высокого давления связана с частыми включениями двигателя и интенсивной работой. Для предотвращения перегрева электромоторы снабжены надежными системами тепловой защиты.

АВД требуют больше мощности и производительности для работы с большими объемами воды, чем в случае бытовых мини моек. Для этого необходимы электродвигатели, которые питаются от трехфазной сети с напряжением 380 В.

Они могут быть двух видов исполнения:

- Внешний вал
- Полый вал

Первый вариант исполнения относится к аппаратам, у которых электромотор и плунжерный насос соединяется посредством эластичной муфты.

Второй вариант соединяется непосредственно вал в вал, жесткой сцепкой.

В том и другом случае есть свои минусы и плюсы, но это не вопрос качества исполнения. Чтобы понять, как выбрать двигатель для моечного оборудования нужно обратить внимание на их плюсы и минусы. Например, моторы с полым валом имеют ограничения по мощности. В то время, как аналоги с внешним валом выпускаются с различными показателями производительности.

Одним из важных показателей выбора электропривода моечного оборудования является его производительность. То есть, чем мощнее мотор, тем больший объем воды он перекачает за единицу времени, а значит эффективнее работа АВД.

В автоматах высокого давления могут использоваться коллекторные и асинхронные двигатели. Асинхронный двигатель не имеет в себе трущихся частей, что выгодно отличает его от коллекторного, поэтому его срок службы намного больше, он издает меньше шума, а также надежность данного типа двигателя выше.

Рассмотрим трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИС 112 МА4 IM1001 (Рисунок 1)



Рис. 1.

Габаритные, установочные и присоединительные размеры АИС 112 МА4 IM1001 приведены на Рисунок 2.

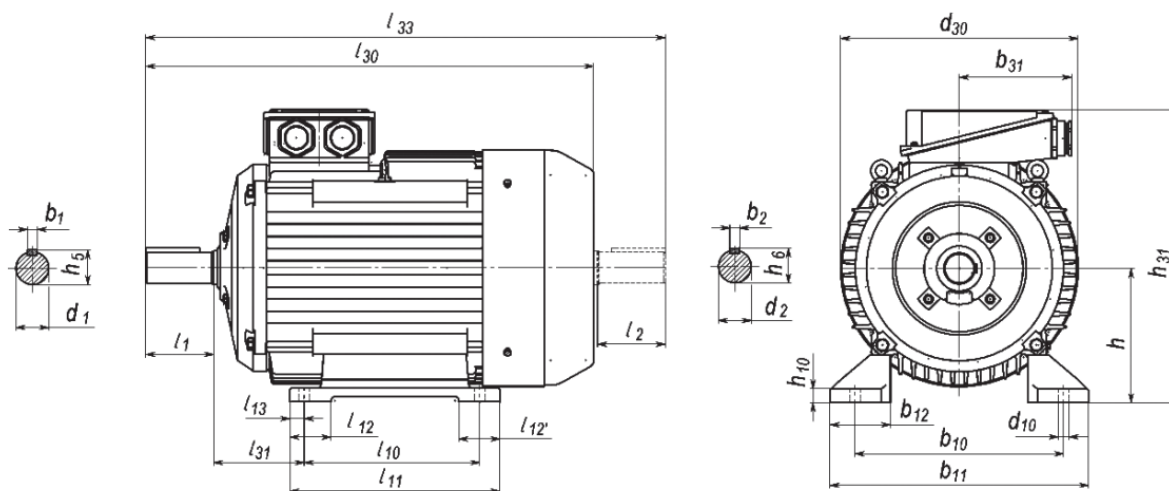


Рис. 2.



Трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором АИС112МА4 IM1001 характеризуется высокой производительностью, удобством в обслуживании, безопасностью и надежностью конструкции, что позволяет данной марке электромашин справляться с приводными задачами высокой сложности. Предназначен для продолжительного режима работы S1 от сети переменного тока с частотой 50Гц. Частота вращения 1500 об/мин. Мощность 5,5 кВт.

Степень защиты IP54, IP55 позволяет работать в режиме защиты: от пыли (без осаждения опасных материалов), от брызг и струй воды любого направления. Метод охлаждения IC411 по IEC 60034. Изоляция обмотки статора может выдерживать температуру до 155°C, что находит широкое применение в различных общепромышленных отраслях. Установочные, присоединительные размеры соответствуют Европейским нормам *CENELEC* (Стандарт *DIN*).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аппараты высокого давления: гид покупателя по видам оборудования, производителям и ценам [Электронный ресурс] <https://aif.ru/boostbook/apparaty-vysokogo-davlenija.html>
2. Электродвигатель мойки высокого давления [Электронный ресурс] <http://www.avdpro.ru/catalog/lektrodivigateli/lektrodivigatel-moyki-vsokogo-davleniya.html>
3. Что такое асинхронный двигатель мойки высокого давления [Электронный ресурс] <https://avtika.ru/chto-takoe-asinhronnyy-dvigatel-moyki-vysokogo-davleniya/>
4. РосЭнергоПолюс. Общепромышленные электродвигатели [Электронный ресурс] <https://rospolus.ru/doc/motors/motors.pdf>
5. Двигатель для аппаратов высокого давления [Электронный ресурс] <https://avtika.ru/dvigatel-dlya-apparatov-vysokogo-davleniya/>
6. Описание электродвигателя АИС112МА4 IM1001 [Электронный ресурс] [https://cable.ru/engines/marka-ais112ma4.php#tab\\_description](https://cable.ru/engines/marka-ais112ma4.php#tab_description)

И. И. МИННИГАЛИЕВ, Д. Ю. ПАШАЛИ  
*dipashali@mail.ru*

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОСОБЕННОСТИ КОМПАНОВКИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ УЧРЕЖДЕНИЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ**

**Аннотация.** Авторами изучены особенности компоновки вентиляционных систем учреждений общественного питания и спроектирован двигатель мощностью 0,55кВт для системы вентиляции.

**Ключевые слова:** компоновка, вентиляционная система, учреждение общественного питания, асинхронный двигатель

Актуальной научно-технической задачей является разработка систем глубокой очистки выбросов учреждений общественного питания, особенно при размещении их в черте города. Источником специфичного запаха являются грили, мангалы, сковороды и прочее кухонное оборудование, в котором встречаются высокая температура и жирные продукты, обычно мясо. Для обеспечения эффективной работы вентиляционных систем учреждений общественного питания (ВСУОП) необходимы:

- наличие сбалансированной приточно-вытяжной вентиляции в целом;
- исключение чрезмерного воздухообмена, создающего повышенную подвижность воздуха на рабочих местах и общий дискомфорт;
- обеспечение достаточного притока на замещение вытяжки;
- правильное размещение зонтов – они должны охватывать весь поток;
- отсутствие сквозняков, сдувающих удаляемый воздух из-под зонтов;
- наличие приточно-вытяжных зонтов без замыкания потока;
- правильная компоновка горячего цеха – размещение наиболее загрязняющего оборудования в центре помещения;
- обеспечение герметичности воздуховодов;
- использование специальных материалов для воздуховодов (толщина не менее 1,5 мм), а не обычных как для общеобменной вентиляции;
- правильный выбор скорости в воздуховодах;

- обеспечение очистки от искр на первом этапе, и от горючих материалов вообще; наличие уклонов и их правильная конструкция,
- наличие дренажа жирового конденсата;
- правильный выбор фильтров и их своевременная очистка;
- подбор вентиляторов конструктивно пригодных для очистки;
- проведение очистки воздуховодов;
- обеспечение дисбаланса приточного и вытяжного воздуха;
- качественная пусконаладка перед началом эксплуатации;
- в определенных условиях наличие отдельных систем для санитарных узлов, моек, овощехранилища и камер хранения пищевых отходов;
- правильный подбор и установка зонтов над кухонным оборудованием;
- соблюдение норм теплонапряженности (210 Вт на один квадратный метр; скорость воздуха не должна превышать 0,35 м/с);
- обеспечение выброса воздуха из производственных помещений минимум на метр выше конька кровли, если в здании не предусмотрен отдельный изолированный вытяжной канал, то необходимо конструктивно предусмотреть выбросной воздуховод, либо ставить специальные системы очистки (например, газоконвекторы «Ятаган»);
- правильный подбор зонта по нагрузке, и установка строго по инструкции производителя, а также учет требований СНиП 2.04.05-91 и 2.08.02-89;
- привлечение к работам по монтажу высококвалифицированных специалистов.

Авторами исследованы особенности компоновки вентиляционных систем учреждений общественного питания и с учетом требований [2] разработан двигатель асинхронных трехфазный с короткозамкнутым ротором для общепромышленного вентилятора, мощностью 0,55 кВт, с частотой вращения 2500 об/мин.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности вентиляции кафе и ресторанов [Электронный ресурс] URL: <https://www.aircontrols.pro/articles/osobennosti-ventilyatsii-kafe-i-restoranol/>
2. Расчет системы вентиляции ресторана [Электронный ресурс] URL: <https://ventilyaziya.ru/ventilyacziya/ventilyaczii-restorana/>

УДК 629.733

А. Б. МОРОЗОВ

*ded\_moroz2001@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. И. И. ЯМАЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

*Аннотация.* В данной статье анализируется сфера применения беспилотных летательных аппаратов, рассмотрены виды их построения, а также перспективы развития.

*Ключевые слова:* беспилотный летательный аппарат, дрон, беспилотник, область применения.

### ***Назначение БПЛА***

Согласно Правилам использования воздушного пространства Российской Федерации, беспилотный летательный аппарат (БЛА, БПЛА) – это летательный аппарат, выполняющий полет без пилота (экипажа) на борту и управляемый в полете автоматически, оператором с пункта управления или сочетанием указанных способов.

Беспилотные и летательные аппараты появились в связи с необходимостью эффективного решения военных задач. Такие как: тактическая разведка, доставка к месту назначения боевого оружия, управления боевыми действиями и прочее. Мощным импульсом к развитию БПЛА послужило появление радиотелеграфа и авиации, что позволило существенно улучшить их автономность и управляемость.

Основные преимущества БПЛА по сравнению с пилотируемыми самолетами и вертолетами:

- Меньшая стоимость создания, эксплуатации и значительное снижение малогабаритных характеристик;
- Оператор боевого БПЛА не рискует своей жизнью;
- Легкая управляемость, быстрая развертываемость;
- Качество аэрофотосъемки;

– Беспилотные аппараты способны проводить разведку и передавать информацию практически в режиме реального времени;

– Точно направлять устройство в определенные места, держаться в воздухе, совершать маневры и вращаться на месте взлета;

– Подробный и детализированный сбор данных

Основные недостатки:

– Недостаточная гибкость решаемых задач применения по сравнению с традиционной авиацией;

– Уязвимость ко взлому;

– Зависимы от метеоусловий;

– Уровень надежности «беспилотников» еще уступает традиционным ЛА;

Полеты дронов в мирное время во многих районах ограничены по разным причинам (шпионаж, как пример).

В современной жизни людей БПЛА применяют также в большом количестве сфер деятельности человека:

– Аэрофотосъемка местности;

– Логистика;

– Учет животных с воздуха с помощью БПЛА;

– Дистанционный контроль состояния нефтепроводов и газопроводов;

– Строительство и т.д.

В последнее время набирают обороты беспилотные летательные аппараты, использующиеся в логистических целях. Это такие направления, как: курьерское, аэротакси для транспортировки людей, и внутрепроизводственное, то есть складские дроны способные считывать штрих-коды с упаковок и проводить технологичную инвентаризацию.

В строительной сфере БПЛА стали одним из высокоэффективным коммерческим инструментом, который при мониторинге не нарушает технологические процессы на площадке, управляется дистанционно и способен менять точ-

ки обзора, обеспечивает легкий доступ к сложным высоким структурным элементам, труднодоступным местам.

Данные аэрофотосъемки с БПЛА способны предоставлять, картографическую информацию и снимки, которые могут быть использованы для: межевания (определения границ) земельных участков, инспектирование строений, предоставления визуальных материалов для клиентов и сотрудников (фото и видеороликов), мониторинга качества выполняемых работ на строительной площадке, контроля безопасности, картографирования.

### ***Устройство БПЛА***

Основными частями беспилотного аэрофотосъемочного комплекса являются: корпус, двигатель, бортовая система управления (автопилот), наземная системная управления (НСУ) и аэрофотосъемочное оборудование.

*Корпус БПЛА* изготавливают из легкого пластика для защиты фотоаппаратуры и средств управления и навигации, а его крылья – из пластик или экструдированного пенополистирола.

*Силовая установка БПЛА* может быть бензиновой или электрической. Причем, бензиновый двигатель обеспечит намного более продолжительный полет. Кроме того, БПЛА с резиновым двигателем крайне сложно перевозить к месту на самолете. От оператора требуется высокая квалификация. Поэтому бензиновый беспилотный летательный аппарат имеет смысл применять только в тех случаях, когда необходима очень большая продолжительность полета.

Электрическая установка очень нетребовательная, в отличие от бензиновой. Не требуется высокий уровень квалификации обслуживающего персонала. Современные аккумуляторные батареи могут обеспечить длительные непрерывные полеты. Обслуживание несложно. Зарядка аккумуляторов производится от бортовой сети сопровождающего автомобиля или от автономного электрогенератора. Бесколлекторный электрический двигатель БПЛА практически не изнашивается

*Автопилот* – с инерциальной системой.

*Наземная система управления (НСУ)* – это планшетный компьютер или ноутбук, оснащенный модемом для связи с БПЛА. Важной частью НСУ является программное обеспечение для планирования полетного задания и отображения хода его выполнения.

*Аэрофотосъемочное оборудование* на БПЛА устанавливается в зависимости от его класса и цели использования.

### ***Варианты построения и виды БПЛА по конструкции***

По разнообразию конструкции существует 4 основных типа беспилотных летательных аппаратов:

- Мультироторные – мультикоптерные дроны;
- Беспилотник с неподвижным крылом;
- Однороторный дрон – беспилотный вертолет;
- Гибридные дроны.

### ***Мультироторные – мультикоптерные дроны***

*Мультироторные дроны* (рисунок 1) – это наиболее распространенные типы дронов. Он представляет собой летающую платформу с 3, 4, 6, 8, 12 бесколлекторными двигателями с пропеллерами. Названия таких БПЛА зависят от количества таких пропеллеров: квадрокоптер, гексакоптер и т.д. В полете способен держать горизонтальное положение относительно поверхности земли и может зависать над определенным местом, перемещаться во все стороны, а также, поворачиваться вокруг своей оси. Все действия совершаются путем изменения тяги на каждом моторе.



Рис. 1. Квадрокоптер DJI «Mavic Pro Platinum»

### ***«Беспилотник» с неподвижным крылом***

*«Беспилотники» с неподвижным крылом* полностью отличаются по конструкции от мультироторных (рисунок 2). Для полета и создания подъемной силы они используют «крыло», Как его используют обычные самолеты. У таких «беспилотников» нет возможности зависать на месте в воздухе, но вместо этого они могут двигаться вперед по заданному курсу и до тех пор, пока позволяет их источник энергии.

Большинство БПЛА с неподвижным крылом имеют среднее время полета в пару часов. Благодаря более высокому времени полета и топливной экономичности беспилотные летательные аппараты с неподвижным крылом идеально подходят для дальних операций, но не могут быть использованы для аэрофотоъемки, где «беспилотник» должен оставаться неподвижным в воздухе в течение определенного периода времени.



Рис. 2. «Беспилотник» с неподвижным крылом

### ***Однороторный дрон – беспилотный вертолет***

По конструкции очень схожи с настоящими вертолетам (рисунок 3). Однороторный дрон имеет один большой ведущий винт и небольшой по



размеру винт на хвосте, чтобы контролировать курс. Однороторные дроны гораздо эффективнее, чем многороторные: они имеют более высокое время полета и могут даже приводиться в действие двигателями внутреннего сгорания. Также в аэродинамике, чем меньше число винтов, тем меньше общее вращение объекта.

Но не обошлось без недостатков. Эти БПЛА из-за более сложной конструкции имеют высокую стоимость и эксплуатационные затраты. Требуют специальной подготовки персонала для управления. Большие размеры лопастей несущего винта представляют опасность.



Рис. 3. Беспилотный вертолет компании Airbus VSR700 с дизельным двигателем

### ***Гибридные дроны***

Такие версии БПЛА сочетают в себе преимущества моделей с неподвижным крылом, с преимуществами моделей на основе винтов: более высокое время полета и возможность парить в воздухе (рисунок 4).



Рис. 4. Квадрокоптер «Vtol» с неподвижным крылом

### ***Рассмотрим один из самых современных БПЛА – «Форпост-Р»***

БПЛА «Форпост-Р» - это инновационный беспилотный летательный аппарат, изобретенный совместно двумя крупными оборонными компаниями –

Уральским заводом гражданской авиации и израильской компанией Israel Aerospace Industries LTD (рисунок 5).



Рис. 5. БПЛА «Форпост-Р»

Данный аппарат относится к классу беспилотных аппаратов. Израильское название – «IAI Seracher II».

Также существует версия «Форпост» (рисунок 6). Их отличия в том, что «Форпост-Р» является модернизированной версией иностранного образца «Форпост»: полностью состоит из отечественных компонентов, а также приобрел новые функции и возможности.



Рис. 6. БПЛА «Форпост» базовой версии

«Форпост-Р» можно отнести к «беспилотникам» с неподвижным крылом.

Стартует он со взлетных площадок, с катапульт, а также с помощью ракетных ускорителей JATO. Такие ускорители позволяют значительно уменьшить расстояние, необходимое для взлета беспилотной техники.

«Форпост-Р» имеет перевозной контейнер и транспортировочную тележку в комплекте. При ведении радиоэлектронной борьбы, на БПЛА может

устанавливаться дополнительное оборудование по подавлению радиотехнических средств обнаружения противника.

Применение БПЛА «Форпост-Р»:

- Разведка и наблюдение местности;
- Выявление точек радиоэлектронной защиты противника, радиоподавление;
- Создание радиопомех, перехват радиосигналов;
- Фотографирование и аэрофотосъемка, передача видеопотока в реальном времени на станцию управления.

В нынешнем виде «Форпост-Р» сохраняет определенное техническое сходство с израильским «IAI Searcher II», но получает самые серьезные преимущества. Так, российский проект предусматривает использование более мощного двигателя, улучшающего летно-технические характеристики. Применена более новая эффективная и устойчивая электроника, при создании которой учитывался опыт последних десятилетий. Ключевым отличием становится возможность несения и использования оружия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспилотные летательные аппараты / Справочное пособие. Воронеж Издательство Полиграфический центр «Научная книга», 2015. 616 с. С. 43
2. Ганин С.М., Карпенко А.В., Колногоров В.В., Петров Г.Ф. Беспилотные летательные аппараты М.: СПб, «Невский бастион», 1999. С.30-62

УДК 621.313

Э. И. МУСТАФИНА, А. В. ЛОБАНОВ

*elina.mustafina.2018@inbox.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. В. ЛОБАНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ В СОСТАВЕ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены основные типы ветроэнергетических установок малого и среднего диапазона мощностей. Выявлены преимущества применения синхронных генераторов на постоянных магнитах.

*Ключевые слова:* электрический генератор; автономная электростанция.

Поддержание оптимальной и безаварийной работы генераторов является актуальной задачей для энергосистем и электроэнергетики в целом.

На сохранение синхронной работы электрических станций в электроэнергетической системе напрямую влияет скорость восстановления напряжения, которое снижается после ликвидации коротких замыканий.

При возникшем асинхронном ходе скорость восстановления напряжения влияет на время и успешность восстановления синхронной работы электростанций. Следовательно, автоматическое регулирование реактивной мощности и напряжения имеет значение для сохранения статической, динамической, а также результирующей устойчивости электроэнергетической системы.

Конечным пунктом транспортировки электроэнергии является ее потребитель. Необходимо, чтобы напряжение получаемой потребителем электроэнергии всегда имело номинальное значение и не зависело от количества потребляемой электроэнергии или случайных изменений в работе электроэнергетической системы. Согласно ГОСТ 13109-97 на нормы качества электрической энергии отклонение напряжения у потребителей должно быть не более 5 % номинального, только в послеаварийных режимах допускается понижение напряжения на 10%.

Указанные выше нормы выдерживаются только при автоматическом регулировании напряжения.

Основными задачами автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) являются:

- обеспечение задаваемого графиком напряжения на шинах электростанции и потока реактивной мощности при передаче электроэнергии от электрических станций к потребителям;
- сохранение и повышение статической устойчивости электропередачи в нормальном режиме работы ЭЭС;
- повышение результирующей и динамической устойчивости электроэнергетической системы в аварийных режимах;
- предотвращение развития крутильных колебаний роторов турбогенераторов в нормальном режиме и обеспечение быстрого затухания их качаний, возникающих в послеаварийном режиме;
- поддержание требуемого уровня напряжения у потребителя.

Наиболее распространены автоматические регуляторы возбуждения:

- пропорционального действия;
- пропорционально-дифференциального или «сильного» действия;
- пропорционально-интегрально-дифференциального действия.

Основными элементами системы возбуждения являются возбудитель, АРВ, контрольно-измерительные приборы, устройства защиты и коммутации. От свойств системы возбуждения с АРВ в первую очередь зависит устойчивость не только синхронных машин, но и электроэнергетической системы в целом.

Автоматические регуляторы возбуждения пропорционального действия применяются для регулирования возбуждения главного генератора с высокочастотной системой возбуждения и с системой силового фазового компаундирования (рис. 1), а также для регулирования возбуждения вспомогательного генератора в независимых системах возбуждения гидрогенераторов.

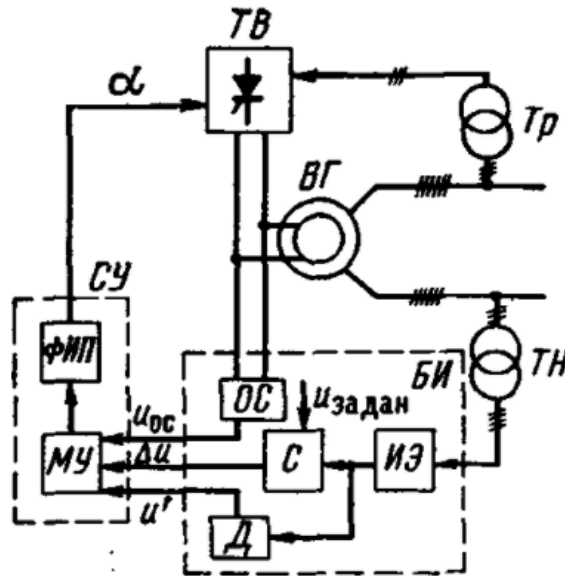


Рис. 1. Структурная схема возбуждения и регулирования вспомогательного генератора

Автоматические регуляторы возбуждения сильного действия (АРВ СД) применяют для увеличения устойчивости при параллельной работе гидро- и турбогенераторов электрических станций, которые связаны с электроэнергетической системой сильно загруженными и протяженными линиями электропередачи. Увеличение устойчивости происходит из-за того, что АРВ СД более интенсивно влияют на систему возбуждения генератора, чем АРВ пропорционального действия. Одновременно для стабильности процесса регулирования, регуляторы сильного действия используют дополнительные устройства, реагирующие на скорость и ускорение отклонения параметров от заданных значений.

Все АРВ, используемые на существующих станциях, отличаются друг от друга способами воздействия на систему возбуждения синхронного генератора и делятся на три типа:

1. Электромеханические регуляторы. В качестве возбудителя применяется электрическая машина постоянного тока, устанавливаемая на одном валу с ротором возбуждаемой СМ. Данный регулятор реагирует на отклонение напряжения от установленного значения и изменяет сопротивление в обмотке возбуждения возбудителя.

2. Во вторую группу входят электрические АРВ. Реагируют на отклонение тока в генераторе и напряжения от установленных значений, а также подают дополнительный выпрямленный ток на обмотку возбуждения от трансформатора тока, напряжения или трансформатора собственных нужд.

3. В третью группу входят АРВ с высокочастотной, бесщеточной и тиристорной системами возбуждения. Эти регуляторы контролируют работу возбуждителей, но не имеют своих внешних источников питания. В качестве возбуждителей применяются электрические машины переменного тока повышенной частоты для высокочастотной и бесщеточной систем и промышленной частоты для тиристорной.

Структурная схема автоматического регулятора возбуждения на базе микропроцессорной установки AVR-3МТ представлена на рис. 2.

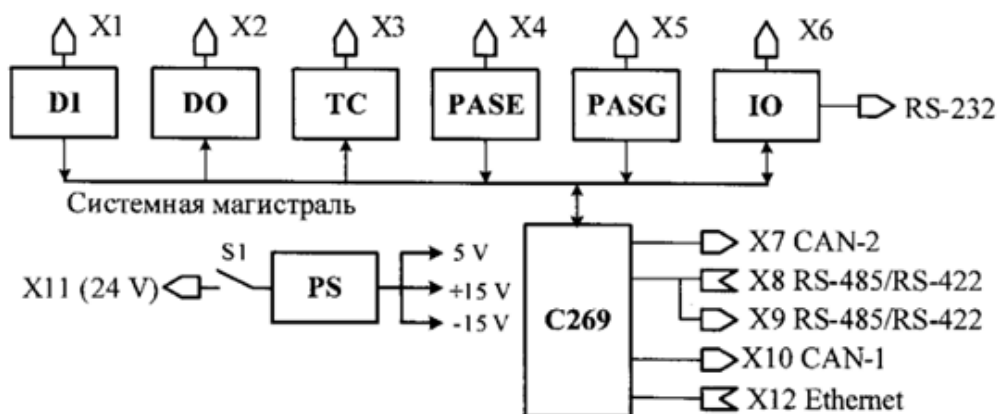


Рис. 2. Структурная схема AVR-3МТ

Аппаратура регулятора размещается в кассете с повышенной электромагнитной защитой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматические регуляторы синхронных генераторов/ Под ред. Н. И. Овчаренко. - М.: Энергоиздат, 1981. - 248 с.
2. Беркович М.А. и др. Автоматика энергосистем: Учеб. для техникумов/ М.А. Беркович, В.А. Гладышев, В.А. Семенов. — 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 240 с.
3. СТО 59012820.29.160.20.004-2019 Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов. – Москва. – 2019.

УДК 621.3

Н. А. ПАХОМОВ

*nikpa2001@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Д. Ю. ПАШАЛИ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ АСИНХРОННЫХ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИВОДОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ**

**Аннотация.** Анализ конструкций асинхронных тяговых двигателей и их применения в приводах электромобилей.

**Ключевые слова:** асинхронные тяговые электродвигатели, электромобили.

В настоящее время электромобили получают все большее применение. Электромобилей в мире на данный момент насчитывается около 2 млн. Преимуществами электромобилей являются [1]: экономичность; простота конструкции; простота в обслуживании и надежность; бесшумная работа; экологичность и т.д. В современных электромобилях, в качестве тягового используются индукционный или асинхронный двигатель. Устанавливаемые на электромобили разные типы электродвигателей отличаются типом питания и управления.

Одним из основных требований, предъявляемых к тяговому двигателю (ТД), устанавливаемому на электромобили, является мощность, которая может достигать от нескольких десятков до нескольких сотен кВт. Преимущества ТД [1]: максимальный крутящий момент (с момента пуска ТД и постоянен при любых оборотах); КПД ТД достигает 90÷95%; простота обслуживания; надежность; небольшие массогабаритные показатели; может работать как генератор (в режиме рекуперации); его скорость зависит от частоты переменного тока, что позволяет изменять скорость электромобиля и т.д. Недостатком является отсутствие силовой электроники отечественного производства для систем управления ТД.

На протяжении десятилетий асинхронный электродвигатель (АД) остается наиболее популярным типом современного тягового электродвигателя. Ос-



новное свое применение он нашел на железной дороге и метрополитене. В последнее время в России он распространился на автобусы и трамваи, а в качестве тягового двигателя электромобилей применяется в линейке автомобилей *Tesla Motors* (*Tesla Model S* и др.), АвтоВАЗ (*Ellada, Lada Vesta EV*)[2], и *Mii Electric* (*Seat Mii Electric*).

Рассмотрим ТД и схемы электромобилей *Lada Vesta EV*[4] и *Seat Mii Electric*[3] показаны на рис. 1,2. В таблице 1. приведена сравнительная оценка технических характеристик отечественных и зарубежных транспортных средств.



Рис. 1. Схема расположения силовой установки электромобиле *Lada Vesta EV*

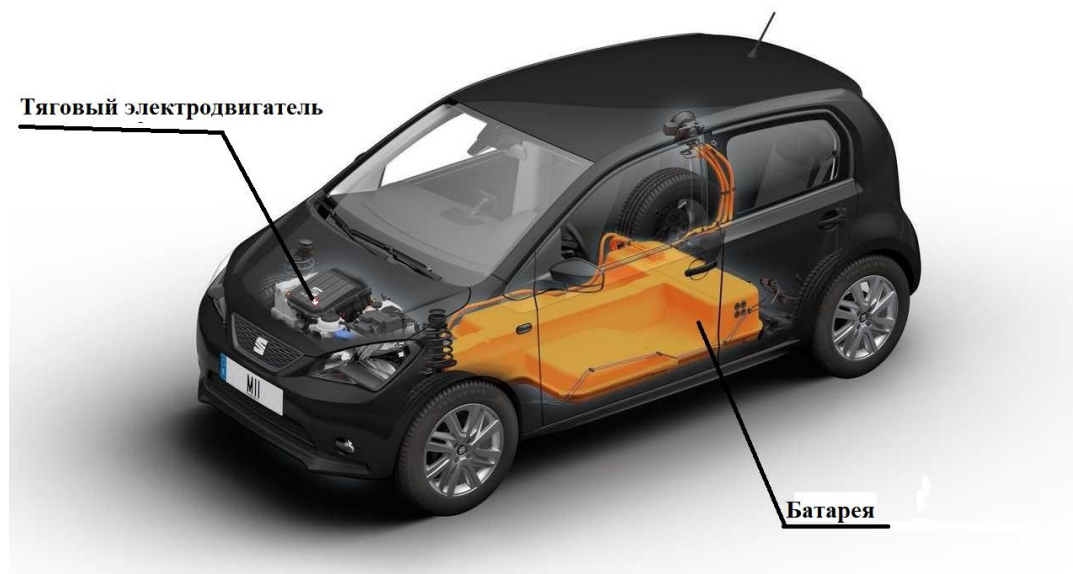


Рис. 2. Схема расположения силовой установки *Seat Mii Electric*

Таблица 1

## Техническая характеристика транспортных средств

Марка автомобиля	<i>Lada Vesta EV</i>	<i>Seat Mii Electric</i>
Производитель автомобиля	АвтоВАЗ	<i>Mia electric</i>
Марка тягового двигателя	<i>MES-200-330</i>	<i>LSMV 200L</i>
Производитель тягового двигателя	<i>MES</i>	<i>Leroy Somer</i>
Номинальная мощность тягового двигателя, кВт	40	37
Номинальный момент тягового двигателя, Н×м	130	97,3
Номинальная частота вращения тягового двигателя, об/мин	2850	2943
Максимальная скорость тягового двигателя, об/мин	9 000	8 000
Масса тягового двигателя, кг	99	182
Охлаждение ТД	Принудительное жидкостное с насосом	Воздушное с принудительной вентиляцией
Время разгона до 100 км/ч, с	15,5	12,3
Максимальная скорость, км/ч	140	130

В таблице 2 приведены требования к рассматриваемым в таблице 1 двигателям.

Таблица 2

## Требования к рассматриваемым в таблице 1 двигателям

Основные требования	Электродвигатель <i>MES-200-330</i>	Электродвигатель <i>LCMV 200L</i>
Функциональные требования		
1. Пределы плавного изменения скорости движения от 3 до 70 км/ч	Обуславливается изменением частоты тока	Обуславливается изменением частоты тока
2. Стабильность поддержания водителем скорости от 20 до 60 км/ч не меньше 10%	Обеспечивается постоянной крутящего момента	Обеспечивается постоянной крутящего момента
3. Плавное управления тяговым моментом при трогании и разгоне	Обеспечивается работой частотного преобразователя	Обеспечивается работой частотного преобразователя
4. Максимальное использование возможностей рекуперации энергии при торможении или движении под углом	Обеспечивается функция рекуперации ТД	Обеспечивается функция рекуперации ТД
Конструктивные требования		
1. Узлы и агрегаты ТД должны выполняться в виде конструктивно-законченных модулей, легко заменяемых в процессе эксплуатации	Электродвигатель установлен в модуле с редуктором. Модуль электронного блока управления двигателя <i>TIM-600</i>	Электродвигатель установлен в модуле с редуктором. Модуль электронного блока управления ТД
2. Агрегаты электропривода должны иметь защиту от проникновения посторонних тел и воды	Используется защита корпуса для модулей	Используется защита корпуса для модулей
Эксплуатационные требования		
1. Работоспособность электропривода должна обеспечиваться при температуре окружающей среды от $-40^{\circ}\text{C}$ до $+40^{\circ}\text{C}$	Применение жидкостного охлаждения с электронасосом	Воздушное с принудительной вентиляцией

Таким образом, провели анализ конструкций асинхронных тяговых двигателей, выявили их достоинства и недостатки. Анализ вышеприведенных таблиц показал, что двигатель *MES-200-330* при меньшей массе развивает больший крутящий момент и имеет большую максимальную скорость вращения, поэтому за прототип разработки, планируемой автором статьи, выбираем электродвигатель *MES-200-330* установленный на автомобиле *Lada Vesta EV*.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафиуллин Р.Н., Шаряков В.А., Резниченко В.В. Системы тягового электропривода транспортных средств: учебное пособие – Москва. Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 364 с.
2. URL:// <https://seat-avto.ru/tehnicheskie-harakteristiki-mii-electric.html> (Дата обращения: 11.09.22).
3. URL:// <https://www.lada.ru/>(Дата обращения: 09.09.22) .
4. URL:// <https://ev-avto.ru/electricheskie/lada-vesta-ev> (Дата обращения: 10.09.22).

УДК 621.333

М. С. ПЕГОВ

*pegovm00@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. В. СТЫСКИН

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **КРАНОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ**

*Аннотация.* Рассматриваются крановые электродвигатели.

*Ключевые слова:* электродвигатели, крановые электродвигатели, электрическая машина.

Крановые электродвигатели трехфазного переменного тока (асинхронные) и постоянного тока (последовательного или параллельного возбуждения) работают, как правило, в повторно-кратковременном режиме при широком регулировании частоты вращения, причем работа их сопровождается значительными перегрузками, частыми пусками, реверсами и торможениями. Кроме того, электродвигатели крановых механизмов функционируют в условиях повышенной тряски и вибраций. В ряде металлургических цехов они, кроме всего этого, подвергаются влиянию высокой температуры (до 60-70 °С), паров и газов. В связи с этим по своим технико-экономическим показателям и характеристикам крановые электродвигатели существенно отличаются от электродвигателей общепромышленного исполнения. Главные особенности крановых электродвигателей: изоляционные материалы имеют класс нагревостойкости F и H, особенно широко для привода крановых механизмов используются трехфазные асинхронные электродвигатели с фазным ротором, обеспечивающие регулирование скорости и плавный пуск при относительно большом значении нагрузки на валу. Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором используются реже (для привода механизмов перемещения малоответственных тихоходных кранов) из-за несколько пониженного пускового момента и значительных пусковых токов, впрочем масса их примерно на 8 % меньше, чем у двигателей с фазным ротором, а стоимость в 1,3 раза меньше, нежели у этих двигателей при равной мощности. Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым рото-

ром иногда используют при режимах Л и С (для механизмов подъема). Применение их на механизмах кранов, работающих в более тяжелых режимах, ограничено небольшой допустимой частотой включения и сложностью схем регулирования скорости. Преимуществами асинхронных электродвигателей по сравнению с электродвигателями постоянного тока являются их относительно меньшая стоимость, простота обслуживания и ремонта. Если эксплуатационные затраты принять за единицу для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, то для электродвигателей с фазным ротором эти затраты составят 5, а для электродвигателей постоянного тока 10. Поэтому в крановых электроприводах наиболее широко применяются электродвигатели переменного тока (около 90 % от общего числа электродвигателей). Крановые электродвигатели переменного тока У нас в стране выпускаются асинхронные крановые и металлургические электродвигатели в диапазоне мощностей 1 от 1,4 до 160 кВт при ПВ=40%. Если номинальное напряжение сети на 50 Гц равно напряжению номинальному на 60 Гц, то повышение номинальной мощности не допускается. В этом случае номинальный момент и кратности максимального момента, пускового момента и пускового тока снижаются соответственно отношению: частот 50/60, т. е. на 17 %. Мощность электродвигателей серии МТН за счет применения современных изоляционных материалов увеличена на одну ступень при равных габаритных размерах при сравнении с ранее выпускавшимися электродвигателями серии МТМ. Краново-металлургические асинхронные электродвигатели серии 4МТ имеют следующие особенности: увеличение мощности при данной частоте вращения, наличие четырехполюсного исполнения, уменьшенные шум и вибрация, расширение шкалы мощностей восьмиполюсных электродвигателей до 200 кВт, технически возможная унификация электродвигателей этой серии с электродвигателями серии 4А, В обозначение электродвигателей серии 4МТ введена высота оси вращения (мм) так же, как и для электродвигателей серии 4А. Крановые электродвигатели постоянного тока Краново-металлургические электродвигатели постоянного тока изготавливаются

в диапазоне мощностей от 2,5 до 185 кВт при частотах вращения изготавливаются с изоляцией класса нагревостойкости Н. Двигатели рассчитаны на регулирование частоты вращения путем ослабления магнитного потока или повышения напряжения на якоре. Источник Схемы и технические характеристики крановых электродвигателей Для подъема грузов на различную высоту используется электродвигатель крановый. Его особенность в том, что он рассчитан на работу в режиме частых пусков. Обычный двигатель, даже достаточно мощный, при таких режимах сильно перегревается и выходит из строя. Электродвигатель подъемного крана работает под напряжением 380 вольт, хотя есть варианты на другие значения по электропитанию. Как правило, это трехфазные асинхронные аппараты с фазным ротором, регулируемые при помощи сопротивлений. В некоторых моделях кранов взамен резисторов ставят тиристорные регуляторы с горизонтальным управлением угла открытия. Подобные схемы позволяют совершать плавный пуск, что исключает рывки, толчки, а также осуществляет работу с краном более удобной и безопасной. Для этих же целей могут использоваться двигатели постоянного тока. В качестве примера выберем частотный преобразователь для механизма подъема груза мостового крана с электродвигателем со следующими характеристиками: Преобразователь частоты выбирается следующим образом: Преобразователи частоты СН2000 разработаны персонально для тяжелых нагрузок и работы с подъемно-транспортным оборудованием. Данные ПЧ обладают высокой перегрузочной способностью: 150% номинального тока в течение 60 секунд и 200% номинального тока в течение 3 секунд. Имеют высокие динамические характеристики и обеспечивают точность позиционирования, управление скоростью и моментом. Большой пусковой момент и устойчивость к перегрузкам позволяют оптимизировать процессы, где используются ударные нагрузки. Современные разработки преобразовательной техники, в том числе, для управления крановыми механизмами, идут в ногу со временем. На рынке электрооборудования появляются все более совершенные и технически оснащенные модели преобразователей частоты и иного приводно-

го оборудования. Благодаря инновациям, использование частотно-регулируемого электропривода для крановых применений позволяет комплексно оптимизировать весь технологический процесс при работе грузоподъемных кранов и в ограниченные сроки ощутить качественный экономический эффект от внедрения нового оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [http://megavattspb.ru/kranoviy\\_dvigatel](http://megavattspb.ru/kranoviy_dvigatel)
2. [http://www.esbk.ru/products\\_info/ed/102\\_ed\\_kr\\_kranmet/elektrodvigatel\\_kranoviy](http://www.esbk.ru/products_info/ed/102_ed_kr_kranmet/elektrodvigatel_kranoviy)

УДК 621.313.28

М. Р. РАФИКОВ

*marat\_rafikov\_00@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, инж.-техн. конструкторско-технологической службы управления главного технолога АО «УАПО» А. Г. ШАЙМУХАМЕТОВА

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ НАСОСОВ**

**Аннотация.** В работе рассматривается электрический двигатель постоянного тока, принцип его действия и использование в насосах.

**Ключевые слова:** насос; двигатель постоянного тока.

Насос – гидравлическая машина, преобразующая механическую энергию приводного двигателя или мускульную энергию (в ручных насосах) в энергию потока жидкости, служащую для перемещения и создания напора жидкостей всех видов, механической смеси жидкости с твердыми и коллоидными веществами или сжиженных газов. Разность давлений жидкости на выходе из насоса и присоединенном трубопроводе обуславливает ее перемещение.

Водяные насосы – это специальные устройства, которые могут выполнять различные функции. В быту водяные насосы могут использоваться для циркуляции воды в бассейне, подъема воды из колодцев или скважин, для повышения давления воды в кранах, других целей по транспортировке жидкостей.

Электрические двигатели - Один из самых распространенных в частном секторе типов силового привода.

Плюсы: электрические двигатели не нуждаются в периодическом обслуживании, простое сочленение с насосом, компактность, низкие затраты на эксплуатацию.

Минус: чувствительность к параметрам сети. При нестабильности напряжения КПД отклоняется от заявленной величины, иногда значительно. Повышение энергопотребления, перегрев обмоток, сбои в работе инженерной системы – и это не все негативные последствия проблем с энергоснабжением.

Требования к электродвигателям для насосов:



– Способность вала вращаться в обратном направлении, причем длительное время. Например, при остановке насоса из-за отключения питающего напряжения, необходимости слива среды из емкости (магистрала).

– Двигатель должен выдерживать повторные пуски даже при минимальном интервале между ними.

– Возможность выхода на режим под нагрузкой.

С помощью двигателей постоянного тока предоставляется возможность плавного регулирования скорости.

Самый простой ДПТ состоит из следующих основных узлов:

1) Двух обмоток с сердечниками, соединенных последовательно. Данная конструкция расположена на валу и образует узел, называемый ротором или якорем.

2) Двух постоянных магнитов, повернутых разными полюсами к обмоткам. Они выполняют задачу неподвижного статора.

3) Коллектора – двух полукруглых, изолированных пластин, расположенных на валу ДПТ.

4) Двух неподвижных контактных элементов (щеток), предназначенных для передачи электротока через коллектор до обмоток возбуждения.

Для запитывания обмоток индуктора ДПТ могут использоваться различные схемы подключения:

– с независимым возбуждением обмоток;

– соединение параллельно обмоткам якоря;

– варианты с последовательным возбуждением катушек ротора и статора;

– смешанное подсоединение.

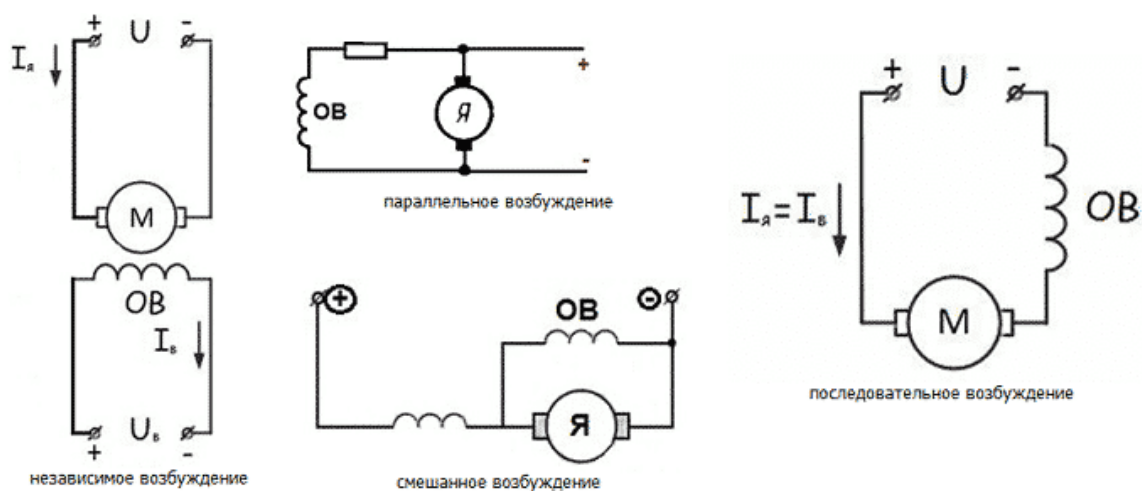


Рис. 1. Схемы подключения обмоток

При установке насосного оборудования важно правильно определить тип насоса под конкретные задачи. Важно исходить от назначения насоса, его технических характеристик и возможностей. Также обязательно необходимо уточнить, для какого типа жидкости предназначен агрегат. В качестве приводных двигателей насосов применяют электродвигатели постоянного тока смешанного возбуждения с легкой последовательной обмоткой, которая служит для поддержания требуемой скорости при колебаниях напряжения. В зависимости от условий работы насоса конструктивное исполнение его двигателя может быть брызгонепроницаемым, водозащищенным или герметичным. Двигатели насосов обычно работают в длительном режиме с постоянной нагрузкой на валу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Насос [электронный источник] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Насос>
2. Виды насосов: типы, классификация, назначение принцип действия [электронный источник] <https://www.cnp-center.ru/articles/tekhnicheskie-kharakteristiki/vidy-nasosov-osobennosti-raboty-primenenie-plyusy-i-minusy/>
3. Насосы с двигателями постоянного тока [электронный источник] <https://lemzspb.ru/nasosy-s-dvigatelyami-postoyannogo-toka/>
4. Электрический двигатель постоянного тока [электронный источник] <https://www.asutpp.ru/elektrodvigatel-postoyannogo-toka.html>
5. Выбор электродвигателей для насосов [электронный источник] [https://studopedia.ru/3\\_202340\\_vibor-elektrodvigateley-dlya-nasosov.html](https://studopedia.ru/3_202340_vibor-elektrodvigateley-dlya-nasosov.html)

УДК 621.311

А. К. САГИТОВ

*sagitovazamat2@gmail.com*

Науч. руковод. – ст. преп. Н. Г. ТАРАСОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

*Аннотация.* В работе рассматривается актуальность применения ветроэнергетических установок и синхронного генератора на постоянных магнитах. Особенности ветроэнергетических установок: достоинства и недостатки оборудования, оптимальные технические характеристики.

*Ключевые слова:* ветроэнергетические установки, электрогенераторы, синхронные генераторы.

В регионах России электроснабжение распределено крайне неравномерно. Имеются энергоизбыточные регионы, есть и районы с недостатком энергоресурсов, требующиеся в поставках извне. Примечателен факт, что в обеих категориях регионов есть места без снабжения электроэнергией, независимо от общей обеспеченности. Поэтому населенным пунктам приходится находить пути решения своими средствами.

В особенности, методом решения вопроса являются дизельные электростанции, которые обходятся дорого и нуждаются в постоянных поставках топлива. В последние годы внимание потребителей все чаще сосредоточено на ветрогенераторах, ведь этот источник бесплатный и имеет большие возможности в области энергетики.

Ветроэнергетические установки представляют собой комплексы оборудования, для выработки и снабжения потребителей электрическим током. Ведь ветер является бесплатным источником энергии, все расходы на выработку тока сводятся к вложениям на создание или приобретение ветрогенератора и последующее обслуживание.

Преимуществами ВЭУ являются:

– обеспечивает любые пункты электроэнергией, независимо от степени удаления от магистральных линий;

– не нужно создавать большую энергетическую станцию, можно установить отдельные небольшие установки;

– не нуждается в топливе или иных ресурсных поставках.

А также существуют недостатки:

– Получение электроэнергии создается с помощью ветровых потоков и во всем зависит от их силы и равномерности. Безветренную погоду выработка электроэнергии невозможна.

– Полученный ток нельзя использовать без подготовки, которая требует наличия определенных устройств.

– Шквалистые порывы и ураганные ветра могут разрушить или вывести установку из строя.

В состав ВЭУ входят комплекс оборудования:

– ветрогенератор,

– аккумулятор,

– инвертор,

– коммутационное оборудование, кабель, прочие устройства.

Принцип действия ВЭУ основан на использовании энергии ветра. Поток ветра влияет на лопасти рабочего колеса, приводя их во вращение. Таким образом оно передается на генератор, который заряжает аккумуляторы, напряжение с которых подается на инвертор. Создают переменный ток 220 В 50 Гц, необходимый для потребителей.

Бывают такие ветряки, которые питают насосы или другие простые устройства, напряжение подается напрямую на потребляющий прибор. Но, при возникновении нештатных ситуаций, например, внезапном усилении ветра, потребитель может выйти из строя вследствие резкого скачка напряжения.

В последнее время значительно увеличился интерес к ветроэнергетике со стороны изобретателей и конструкторов. В частности, ведутся активные поиски

способов увеличения КПД ветряка, и некоторые варианты имеют весьма высокие показатели по сравнению с применяющимися в настоящее время промышленными образцами ВЭУ (рис.1).



Рис. 1

В последние десятилетия, генераторы на постоянных магнитах постепенно используются в ветровых турбинах из-за их высокой мощности и низкой массы. Часто эти машины рассматриваются для выбора в малых ВЭУ. Структура генератора относительно проста. Как показано (на рис. 2). Прочные постоянные магниты установлены на роторе для создания постоянного магнитного поля, и произведенная электроэнергия берется из якоря (статора) через использование коллекторных, контактных колец или щеток. Постоянные магниты могут быть установлены в цилиндрическом роторе из литого алюминия, чтобы снизить затраты. Принцип работы генераторов на постоянных магнитах аналогичен синхронному генератору за исключением того, что генераторы на постоянных магнитах могут работать асинхронно. Преимущества генераторов на постоянных магнитах включают устранение коллектора, контактных колец и щеток, так что машины прочны, надежны и просты. Использование постоянных магнитов удаляет поле обмотки (и связанные с ним потери мощности), но делает управление на местах невозможно, а стоимость премьеров может быть непомерно высокой для больших машин.



Рис. 2.

Синхронный генератор на постоянных магнитах имеет несложную конструкцию, надежен и легок в обслуживании, имеет высокий КПД. Улучшение характеристик (синхронного генератора на постоянных магнитах) достигается за счет применения высококоэрцитивных постоянных магнитов. В то же время имеется сложность регулирования и стабилизации напряжения. Стабилизация напряжения проводится за счет регулировки реактивной мощности, входящий в генераторы от конденсаторов. В синхронных генераторах на постоянных магнитах нужен редуктор (потому что они высокооборотные и генерируют ток при 1000 об./мин.), а это дополнительные потери. К тому же, данный тип генераторов является распространенным для ветроустановок. На сегодняшний день ведутся исследования по улучшению конструкции и характеристик СГПМ.

Основные характеристики ветроустановок:

- номинальная мощность устройства,
- минимальная скорость ветра, при которой происходит запуск ротора,
- максимальная скорость ветра, при которой требуется торможение вращающейся части.

Таким образом, ветроэнергетические установки являются перспективным вариантом решения проблемы энергообеспечения для отсталых регионов. При грамотном подходе и использовании оптимального комплекта оборудования, можно создавать как мелкие станции, обеспечивающие отдельные жилые дома,

так и более крупные установки, способные снабжать энергией населенные пункты. Возможность производства энергии без нанесения ущерба экологии региона должна ставиться в первоочередные задачи, и ветроэнергетика в этом отношении является наиболее удачным вариантом решения проблем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://energo.house/veter/vetroenergeticheskie-ustanovki.html?>  
(дата обращения:02.09.22);
2. <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-optimalnogo-generatora-dlya-vetroustanovki>  
(дата обращения:02.09.22);
3. <https://moluch.ru/archive/132/36983/?> (дата обращения:02.09.22).

УДК 621.313

А. Ф. САДИКОВ, М. В. ОХОТНИКОВ

*azamat.sadikov.200@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. М. В. ОХОТНИКОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНОГО МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ**

*Аннотация.* В статье рассматриваются современные частотные методы управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором.

*Ключевые слова:* двигатель, частотное управление, асинхронный двигатель.

В последние два десятилетия регулируемый асинхронный электропривод претерпел столь существенные изменения в своем развитии, что полностью вытеснил из многих областей синхронный привод и привод постоянного тока. Это связано прежде всего с достижениями в области силовой электроники и микропроцессорной техники, на основе которых были разработаны преобразователи частоты, обеспечивающие управление асинхронными короткозамкнутыми двигателями с энергетическими и динамическими показателями, соизмеримыми или превосходящими показатели других приводов.

Высокая скорость обработки информации современными процессорами дала толчок развитию старых и разработке новых алгоритмов управления системой «преобразователь-двигатель». Сегодня частотное управление является для асинхронного привода своего рода техническим стандартом. В то же время практически вышли из употребления и не используются в современных разработках такие способы управления и устройства как симметричное и несимметричное управление напряжением, управление введением добавочных сопротивлений в цепи статора и ротора, управление изменением числа пар полюсов и др. Целью настоящего пособия является ознакомление студентов с современными системами управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором; физическими процессами, сопровождающими работу этих систем; принципами их построения, основными характеристиками и типовыми функциями.



Практически во всех современных системах управления информация об электромагнитных процессах в двигателе представлена в векторной форме. Поэтому исходной точкой для большинства вопросов рассматриваемых в пособии являются векторные уравнения обобщенной электрической машины. Это помогает создать правильное внутреннее восприятие сложных физических явлений в форме необходимой для понимания работы системы управления в целом. Кроме того, это иллюстрирует возможность эффективного применения единого метода для анализа различных процессов и свойств систем управления, а также для синтеза этих систем и их элементов.

Однако для понимания вопросов, связанных с управлением асинхронным короткозамкнутым двигателем, и, прежде всего, ограничений, присущих способам и устройствам управления, помимо абстрактных представлений о пространственных векторах и системах координат необходимо глубокое понимание физических явлений в двигателе, связанных с воздействием на него со стороны источника питания.

В настоящее время большинство технологических задач решается на основе комплектных асинхронных электроприводов с частотным управлением. Сегодня все ведущие отечественные и зарубежные фирмы, работающие в области силовой электроники выпускают изделия, предназначенные для управления вентиляторами, насосами, подъемно-транспортным оборудованием, приводами промышленных роботов и т.д. Существует выраженная тенденция перехода к автоматизированному электроприводу в тех областях, где раньше использовались простейшие релейно-контакторные системы. Это позволяет существенно расширить функциональные возможности оборудования, уменьшить энергопотребление.

Диапазон мощностей существующих серийных преобразователей частоты (ПЧ) составляет от 0,3 кВт до 10000 кВт. Они обеспечивают плавное регулирование скорости вращения с сохранением перегрузочной способности в диапазоне 1:20 и более. Могут работать в разомкнутых и замкнутых системах управ-

ления. Позволяют формировать режимы разгона и торможения. Имеют целый ряд встроенных систем защиты преобразователя и двигателя.

В связи с развитием микропроцессорной техники и электроники современные частотные преобразователи обладают следующими преимуществами:

- обеспечение КПД установки до 99%;
- наличие комплексного набора защит регулируемого электропривода;
- возможность использования для множества технологических применений;
- ограничение пусковых токов в пределах  $1,2 \cdot I_n$  при запуске двигателя;
- плавное регулирование скорости вращения двигателя в широком диапазоне частот;
- возможность рекуперации энергии в питающую сеть для повышения энергоэффективности с помощью рекуператора;
- наличие необходимых протоколов связи для обеспечения автоматизации и диспетчеризации в общей системе управления АСУ ТП.

Преобразователи частоты являются довольно универсальным приводным устройством, предусмотренным для работы в различных областях промышленности и производства. Но для каждого применения необходимо учитывать технологические особенности функционирования оборудования, которым будет управлять частотник, для оптимального использования имеющегося у преобразователя набора характеристик. Также это напрямую будет влиять на эффективность и бесперебойность работы самого частотника и электроприводного комплекса в целом.

Частотные преобразователи реализуют по схеме, состоящей из силовой и управляющей части. Силовая часть содержит в себе транзисторные, либо тиристорные элементы, работающие в качестве электронных ключей. Регулирование их работы производится при помощи цифровых микропроцессоров, которые помимо управления "ключевой" схемой еще выполняют функции защиты,

диагностики и сопряжения с внешней системой управления преобразователем частоты.

В зависимости от принципа построения силовой части преобразователи можно разделить на 2 типа:

- преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока;
- без звена постоянного тока (ПЧ с непосредственной связью).

Одним из первых типов преобразователей частоты были именно «частотники» с непосредственной связью. Силовая часть данных устройств основывалась на тиристорных элементах и представляла собой управляемый выпрямитель.

Относительно алгоритмов контроля и управления работой преобразователей частоты на практике подразделяются следующие методы управления:

- скалярное управление;
- векторное управление.

Скалярное (частотное) управление электродвигателем переменного тока используют там, где требуется поддерживать постоянным отношение напряжения к частоте.

Векторный принцип управления относительно скалярного – более производительен, имеет широкий диапазон и точность регулирования (в том числе на малых оборотах двигателя).

Метод управления выбирается в зависимости от требований, которые необходимы для выполнения технологического процесса.

### ***Пример эффективного применения ЧРП***

В качестве одного из объектов частотно-управляемого привода, где применение ПЧ качественно повышает эффективность всего технологического процесса, можно привести в пример подъемные механизмы, в частности – лифтовое оборудование. Учитывая тяжелые условия эксплуатации подобного оборудования, повторно-кратковременные режимы при частых включениях

ях/отключениях, установка частотно-регулируемого привода является эффективной возможностью увеличения технологичности и оптимизации подъемных процессов, позволяя:

- Существенно снизить энергопотребление привода (в среднем, частотный электропривод для управления лифтовым оборудованием экономит до 40% электроэнергии (по сравнению с применениями без ПЧ). Тем самым значительно уменьшаются затраты на энергоресурсы и есть возможность в минимальные сроки окупить средства, которые были вложены в модернизацию.

- Осуществлять плавный запуск, разгон и остановку лифтовых механизмов, обеспечивая необходимое значение крутящего момента двигателя на небольшой частоте вращения и режим “противоотката” кабины лифта. Это позволит увеличить срок службы электродвигателей и механических частей механизма, уменьшить затраты на техническое обслуживание приводного комплекса, гарантировать оптимальный рабочий режим лифта.

- Дополнить защитные функции системы. Данная опция позволит комплексно защитить привод по токовой перегрузке, перенапряжению, утечек, фазных обрывов и т.д.

- Выполнить сброс излишней энергии при остановке приводного механизма.

Это осуществляется при помощи подключаемых к частотнику тормозных резисторов, либо посредством рекуператоров энергии для максимально эффективного управления частотным приводом (в этом случае излишняя энергия будет возвращаться обратно в питающую сеть).

- Модернизировать производственный цикл за счет широких возможностей управления работой привода и процессами торможения. Применение ПЧ обеспечивает точное регулирование скорости движения и положения кабины с помощью датчиков обратной связи (диапазон регулирования скорости 1:1000, точность поддержания скорости составляет 0,01%).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Частотный\\_преобразователь](https://ru.wikipedia.org/wiki/Частотный_преобразователь)
2. <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/scalar>
3. [https://en.wikipedia.org/wiki/Vector\\_control\\_\(motor\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_control_(motor))
4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Частотно-управляемый\\_привод](https://ru.wikipedia.org/wiki/Частотно-управляемый_привод)
5. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Асинхронна\\_машина](https://ru.wikipedia.org/wiki/Асинхронна_машина)

УДК 621.45.044

Р. М. САЛИХОВ, Р. А. МЕЩЕРЯКОВ

*texprom@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Р. М. САЛИХОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ СХЕМ ПОСТРОЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЕМКОСТНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ**

*Аннотация.* В статье представлен обзор современных схем для построения обратных преобразователей, приведено схемотехническое решение разработанного обратного преобразователя на полевом транзисторе в составе емкостной системы зажигания для ГТД наземного применения.

*Ключевые слова:* емкостная система зажигания, транзисторный преобразователь.

В качестве преобразователей в емкостных системах зажигания ГТД применяются, в основном, индукционные катушки с электромагнитным прерывателем и транзисторные преобразователи; источником высокого напряжения могут служить и повышающие трансформаторы со схемами умножения напряжения [1,2].

Наиболее распространенными являются следующие топологии транзисторных преобразователей различного назначения: обратная, прямая, мостовая, полумостовая и резонансная.

Выбор топологии преобразователя зависит в первую очередь от выходной мощности. Обратные преобразователи предпочтительны при мощностях менее 200 Вт. Особенностью обратной топологии является необходимость выбора силового ключа, величина максимально допустимого тока которого больше, чем в других преобразователях.

Для систем зажигания обратные преобразователи являются наиболее предпочтительными ввиду простоты схемы, хороших массогабаритных показателей. Большинство известных серийных отечественных и зарубежных транзисторных преобразователей для систем зажигания выполняются по схеме обратной однотактной автогенерации с индуктивной обратной связью и имеют лишь некоторые принципиальные различия.

В настоящее время разработчиками систем зажигания ведутся работы по созданию обратноходовых преобразователей с использованием полевых транзисторов на повышенных частотах переключения с микроконтроллерным управлением, что предполагает возможность упрощения схемы преобразователя, снижения массы и габаритов трансформатора при сохранении высокой надежности работы ключевых элементов.

Полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET) обладают существенными преимуществами по сравнению с биполярными транзисторами. Во-первых, поскольку такой транзистор управляется не током, а электрическим полем, это позволяет значительно снизить мощность, затрачиваемую на управление. Во-вторых, полевые транзисторы могут переключаться с более высокой скоростью, т.е. могут использоваться на повышенных частотах. В-третьих, полевые транзисторы более теплоустойчивые по сравнению с биполярными, они не подвержены вторичному пробоему. В-четвертых, полевые транзисторы обладают большей эффективностью по параметру передаваемой мощности. Все эти преимущества полевых транзисторов обеспечивают им более эффективную работу в импульсных схемах [3].

В качестве блоков управления для переключения полевых транзисторов в обратноходовых преобразователях могут использоваться ШИМ-контроллеры, генераторы импульсов-таймеры. Возможно также использование микросхем по технологии Coolset, в которых в одном корпусе объединены высоковольтный силовой полевой транзистор, выполненный по технологии CoolMos, и схема аналогового и цифрового контроля. Такие микросхемы используются, например, для построения гальванически развязанного, регулируемого преобразователя напряжения со всем комплексом необходимых защит (защита по току, защита от перегрева, защита от повышенного и пониженного напряжения питания) [4]. Схемы с ШИМ-контроллерами целесообразно применять при необходимости организации обратной связи между входной цепью и цепью заряда накопительного конденсатора.

Возможные структуры обратноходовых преобразователей с полевыми транзисторами представлены в работах [4-7]. Типовая схема обратноходового преобразователя с микроконтроллером показана на рис. 1. Одна из возможных схем преобразователя с таймером приведена на рис. 2. В этой схеме дополнительно с полевым транзистором используется биполярные транзисторы, назначение которых состоит в обеспечении повышения управляющего напряжения, подаваемого на затвор полевого транзистора. Дополнительные биполярные транзисторы применяются при пониженных напряжениях питания.

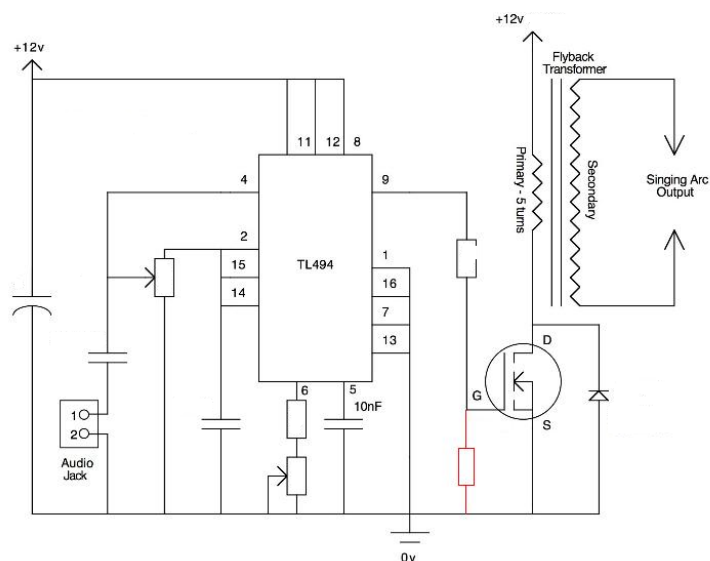


Рис. 1. Обратноходовый преобразователь с микроконтроллером

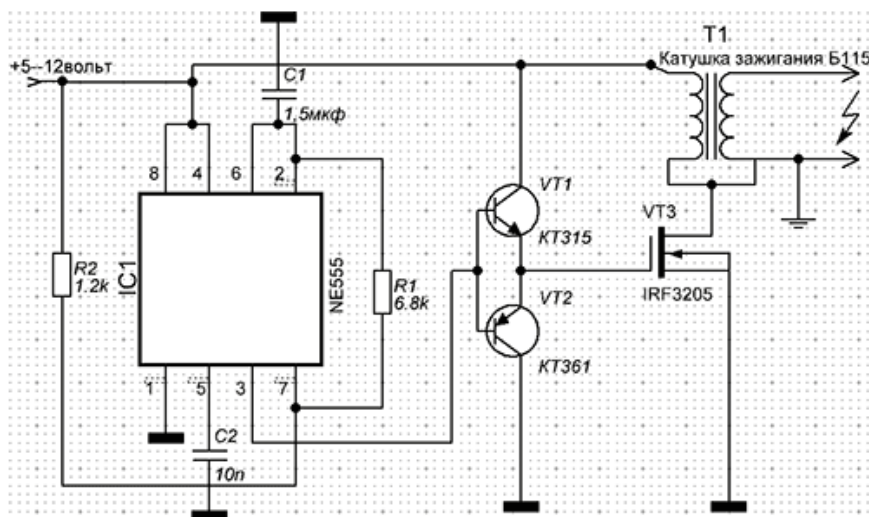


Рис. 2. Схема преобразователя с таймером



В качестве основы при разработке емкостных агрегатов зажигания предложена структура обратноходового одноконтурного транзисторного преобразователя с управлением от интегрального таймера, работающего в режиме генератора прямоугольных импульсов, с дополнительным низковольтным стабилизатором напряжения с фиксированным выходным напряжением и защитой от перегрузок по току по схеме, показанной на рис. 3.

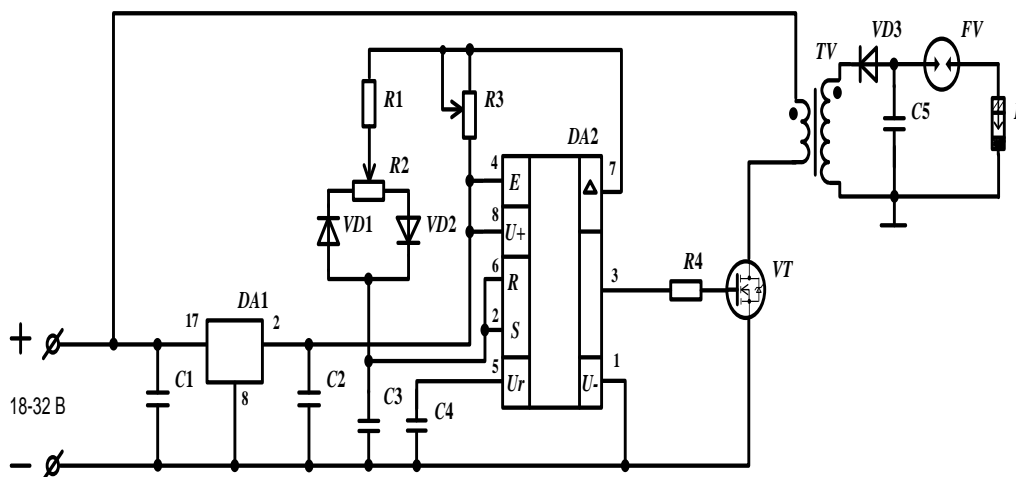


Рис. 3. Принципиальная схема обратноходового одноконтурного транзисторного преобразователя в составе емкостной системы зажигания

Схема работает следующим образом. Различают две фазы работы преобразователя – фазу накопления энергии и фазу передачи энергии в нагрузку. Эти фазы разделены во времени. В фазе накопления энергии полевой транзистор открыт, в первичной обмотке течет ток, трансформатор накапливает энергию магнитного поля. При этом первичный ток меняется по закону:

$$i(t) = \frac{U \cdot t}{L_1},$$

где  $U$  – напряжение питания,  $L_1$  – индуктивность первичной обмотки трансформатора.

Выпрямительный диод во вторичной цепи заперт, передача энергии из первичной цепи во вторичную не происходит. Фаза передачи энергии во вторичную цепь наступает при закрытии транзистора. В этот момент полярность на вторичной обмотке трансформатора меняется на противоположную благода-

ря явлению самоиндукции. Открывается выпрямительный диод  $VD_3$ , вторичный ток заряжает конденсатор  $C_5$ . В силу большой постоянной времени цепи заряда конденсатор  $C_5$  не успевает за один цикл работы преобразователя зарядиться до напряжения срабатывания коммутирующего элемента во вторичной цепи, поэтому заряд конденсатора  $C_2$  происходит за определенное число циклов работы преобразователя.

Управление работой полевого транзистора осуществляется генератором сигналов – таймером, работающем на определенной частоте, задаваемой цепью  $R_1, R_2, R_3, C_3, VD_1, VD_2$ . Стабилизатор  $DA_1$  обеспечивает питание микросхемы – таймера  $DA_2$  для получения неизменного напряжения прямоугольной формы на затворе полевого транзистора  $VT$  при изменении напряжения питания.

Данное схемотехническое решение было применено при разработке двухканальной емкостной системы зажигания с транзисторным преобразователем для ГТД наземного применения [8]. В результате испытаний установлено, что КПД разработанного агрегата зажигания существенно выше при меньших массогабаритных показателях по сравнению с прототипом – серийным двухканальным агрегатом зажигания аналогичного назначения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гизатуллин Ф. А. Емкостные системы зажигания. Уфа, УГАТУ, 2002 г. – 249 с.
2. Гизатуллин Ф. А. Системы зажигания двигателей летательных аппаратов. Уфа, УГАТУ, 1998. – 115 с.
3. Семёнов Ю. С. Силовая электроника: от простого к сложному. – М., «Солон-Пресс», 2005. – 416 с.
4. Компоненты для построения источников питания <http://www.symmetron.ru/articles/brochures/SMPS.pdf>, (дата обращения 12.09.2022г.).
5. Ромаш Э. М., Драбович Ю. И. Высокочастотные транзисторные преобразователи. – М.: Радио и связь, 1988. – 288 с.
6. Схемы высоковольтных преобразователей, <http://flyback.org.ru/viewforum.php?f=27>, (дата обращения 12.09.2022г.).
7. Коротков С. М. Обратноходовый преобразователь постоянного напряжения в постоянное. Патент на полезную модель №32331, опубл. 10.09.2003 г.
8. Гизатуллин Ф.А., Салихов Р.М., Ситников Р.П. Two-channel capacitive ignition system with a transistor converter for ground-based gas-turbine engines. Russian Electrical Engineering. 2018. – Vol. 38, №10. – P. 748-751. DOI: 10.3103 S1068798X1810009X

УДК 621.313

И. Ф. САЯХОВ

*isayakhov92@mail.ru*

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. Ф. Р. ИСМАГИЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С АКСИАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ**

**Аннотация.** Приведены конструкции электрических машин с аксиальным магнитным потоком, представлены типы роторов, обмоток, а также представлены конструкции с двойными статорами и роторами.

**Ключевые слова:** дисковая электрическая машина; аксиальный магнитный поток, постоянные магниты.

Создание высокоскоростных электромеханических преобразователей энергии (ЭМПЭ) с высококоэрцитивными постоянными магнитами (ВПМ) является актуальной задачей, что определяется рядом их преимуществ таких как: высокие энергетические характеристики, отсутствие необходимости во внешних источниках энергии для возбуждения, простота конструкции и минимальные габариты.

При этом одной из перспективных конструкций ЭМПЭ с ВПМ является электрическая машина с аксиальным магнитным потоком, также называемая дисковой (ДЭМПЭ).

Дисковые машины с аксиальным магнитным потоком наиболее подходят для применения в качестве сервоприводов и генераторов где их свойства обладают преимуществами по сравнению с цилиндрическими машинами.

Сравнительный анализ машин с радиальным и аксиальным магнитным потоком с точки зрения габаритных размеров и удельной мощности, показывает, что дисковая машина имеет меньший объем и меньшую массу активных материалов при заданной номинальной мощности, чем цилиндрическая машина [1].

Дисковые ЭМПЭ с ВПМ, в отличие от ЭМПЭ с цилиндрическим ротором, при одинаковых массогабаритных показателях обладают минимальными

аксиальными размерами, что позволяет интегрировать их в различные элементы существующих систем. Кроме того, динамические перегрузки и усилия, воздействующие на ротор в ДЭМПЭ могут оказаться несколько ниже, чем у ЭМПЭ с цилиндрическим ротором.

С точки зрения конструкции ДЭМПЭ могут быть сконструированы как односторонние или двухсторонние, пазовые и беспазовые, с магнитопроводами и без них, с внутренними или внешними роторами, с поверхностными или внутренними ВПМ, как одиночные или модульные машины [2] (Рис. 1, 2, 3).

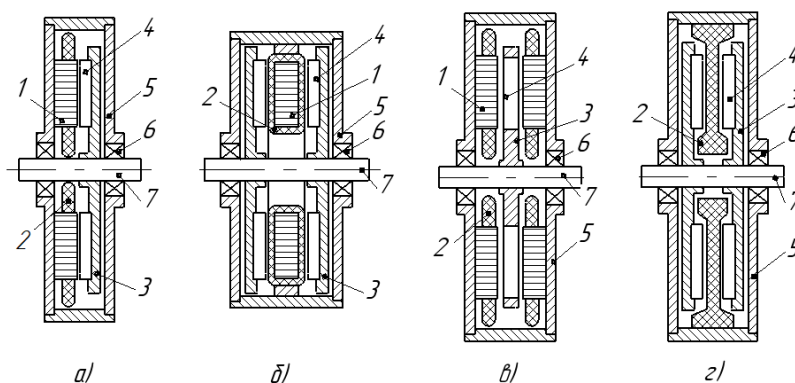


Рис. 1. Основные конструкции дисковых машин:  
*а* – односторонняя с пазовым статором; *б* – двухсторонняя с внутренним статором; *в* – двухсторонняя с внутренним ротором; *г* – двухсторонняя с внутренним беспазовым статором

На рисунке 1: 1 – магнитопровод статора; 2 – обмотка статора; 3 – ротор; 4 – ВПМ; 5 – корпус; 6 – подшипники; 7 – вал.

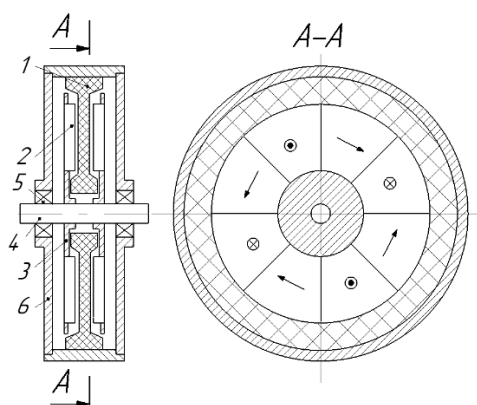


Рис. 2. Двухсторонняя дисковая машина без магнитопроводов на статоре и роторе

На рисунке 2: 1 – обмотка беспазового безжелезного статора; 2 – ВПМ; 3 – двойной ротор; 4 – вал; 5 – подшипники; 6 – корпус

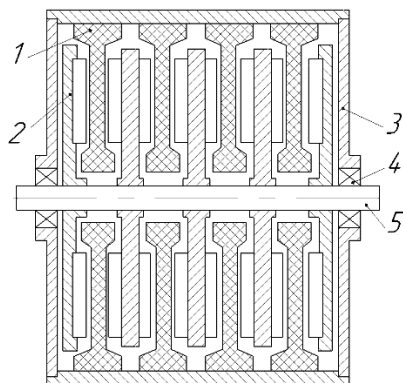


Рис. 3. Модульная дисковая машина без магнитопровода на статоре

На рисунке 3: 1 – обмотка статора; 2 – роторный узел; 3 – корпус; 4 – подшипники; 5 – вал.

Магнитная цепь ротора дисковой машины состоит из ВПМ, установленных на магнитопроводящем диске или образующих массив Халбаха без ферромагнитного сердечника. Ключевая концепция массива Халбаха заключается в том, что направление вектора намагниченности ВПМ изменяется в функции расстояния вдоль массива [3]. При этом характерно, что магнитное поле с одной стороны сборки удваивается, а на другой – практически равно нулю (рис. 4).

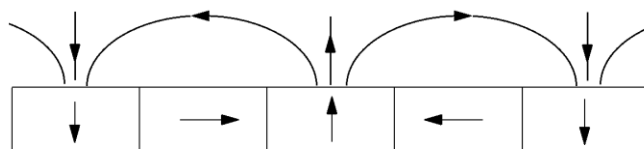


Рис. 4. Распределение магнитного поля в массиве Халбаха

Статор дисковой машины при наличии магнитопровода выполняется шихтованным в аксиальном направлении с толщиной стальных листов 0,2...0,4 мм.

Конструкция статора без магнитопровода предполагает закрепление обмотки на дисковой немагнитной и непроводящей конструкции. Для минимизации потерь от вихревых токов обмотка статора выполняется из большого числа многожильных проводников малого диаметра.

В дисковых машинах наиболее распространенными типами обмоток являются тороидальные, сосредоточенные и распределенные.

Тороидальные обмотки дисковых машин наматываются на кольцевые сердечники и применяются в конструкциях с двойным ротором. К достоинствам тороидальной обмотки относятся малый вылет лобовых частей, что обеспечивает низкие массогабаритные показатели, а также простота конструкции сердечника статора. Недостатками данного типа обмоток является сложность технологии укладки, а также увеличение воздушного зазора на величину высоты обмотки.

Сосредоточенные обмотки, также называемые «зубцовыми», характеризуются малым вылетом лобовых частей, простой технологией укладки, однако имеют недостатки в виде высших пространственных гармоник, искажающих форму ЭДС.

В распределенных обмотках амплитуды высших гармоник значительно ниже чем в сосредоточенных, кроме того данный тип обмотки наиболее часто используется в конструкции статора без магнитопровода. Недостатками распределенных обмоток являются большие вылеты лобовых частей, а также сложность технологии укладки. На рис. 5 представлены гармоники ЭДС для распределенной обмотки с числом пазов на полюс и фазу  $q=2$ , и для сосредоточенной –  $q=0,5$ .

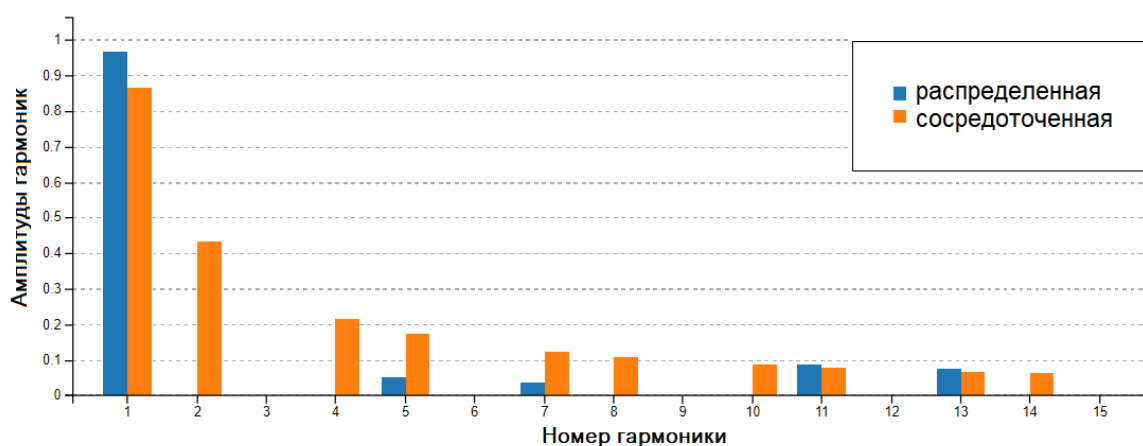


Рис. 5. Гармоники ЭДС для двух типов обмоток

Как видно из рис. 5, в сосредоточенных обмотках преобладают высшие пространственные гармоники ЭДС, в то время как в распределенной обмотке они практически отсутствуют.

В данном обзоре приведены конструкции электрических машин с аксиальным магнитным потоком, представлены типы роторов, обмоток, а также представлены конструкции с двойными статорами и роторами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исмагилов Ф.Р., Хайруллин И.Х., Вавилов В.Е. Определение коэффициента полюсного перекрытия магнитоэлектрических машин «Электричество» № 11/2013 С. 51-53.
2. Исмагилов Ф.Р., Хайруллин И.Х., Вавилов В.Е. Основы проектирования высокооборотных электромеханических преобразователей энергии с высококоэрцитивными постоянными магнитами: монография. – М.: Инновационное машиностроение, 2016. – 223 с.
3. Шаров В.С. Особенности расчета магнитного подвеса роторов высокоскоростных электродвигателей М.: МЭИ, 1982. – 84 с.

УДК 621.313.322

А. Р. СУЛТАНОВ

*azamatsup@yandex.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Т. Р. ТЕРЕГУЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

*Аннотация.* В работе рассматриваются задачи стартера- генератора постоянного тока газотурбинного двигателя.

*Ключевые слова:* стартер- генератор; газотурбинный двигатель.

Несмотря на многообразие систем запуска газотурбинных двигателей, они все имеют стартер, обеспечивающий предварительную прокрутку ротора двигателя, источник энергии, необходимый для работы стартера, устройства, обеспечивающие подачу топлива и зажигание горючей смеси в камерах сгорания, агрегаты, обеспечивающие автоматизацию процесса запуска.

Во время запуска газотурбинного двигателя стартер-генератор работает как стартер (в двигательном режиме), а когда газотурбинный двигатель запустится, переходит в генераторный режим и, принимая механическую энергию от ГТД, работает как источник электроэнергии на борту самолета. Электрические стартер-генераторы чаще используются для небольших газотурбинных двигателей в гражданской авиации. Но в последние годы происходит стремительное развитие авиастроения в сторону более электрических самолетов, которая предполагает уход от гидравлических, пневматических и механических блоков к электрическим системам, предполагающие минимальные потери на преобразование энергии и возможно регулирование на высшем уровне.

Для функционирования ГТД, необходимо, до момента подачи топлива в камеру сгорания, сформировать определенные условия для работы двигателя, а именно, необходимое давление и расход воздуха. Для создания этих условий, требуется раскрутить ротор авиационного двигателя с помощью внешнего ис-



точника механической энергии, в качестве которого и предполагается использовать генератор в электростартерном режиме.

Стартер-генератор - это электрическая машина постоянного тока, предназначенная для работы в двух режимах:

– стартерном (кратковременном) - в качестве электродвигателя постоянного тока последовательного возбуждения, осуществляющего вращение вала дизеля во время пуска;

– генераторном (продолжительном) - в качестве вспомогательного генератора постоянного тока независимого возбуждения, обеспечивающего питание электрических цепей управления, электродвигателей собственных нужд постоянного тока, освещения и заряда аккумуляторной батареи.

Устройство стартера- генератора.

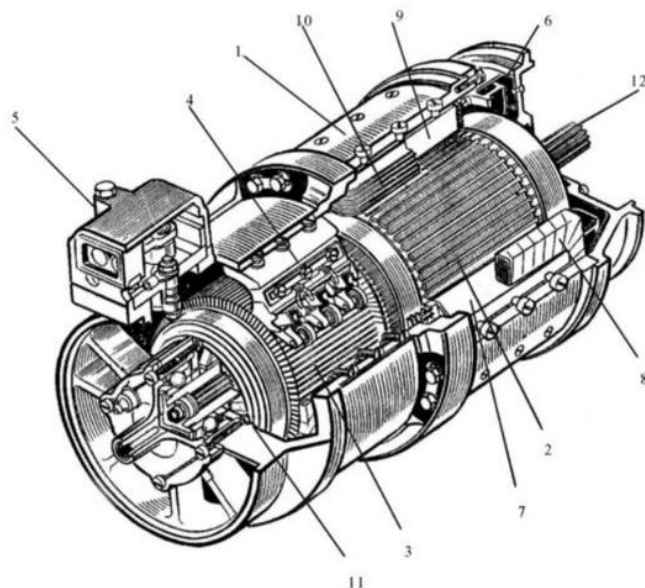


Рис. 1. 1 – статор; 2 – якорь; 3 – коллектор; 4 – щеткодержатель; 5 – клеммная коробка; 6 – вентилятор; 7 – главный полюс; 8 – обмотка главного полюса; 9 – дополнительный полюс; 10 – обмотка дополнительного полюса; 11 – полый

В зависимости от газотурбинного двигателя, в них могут использоваться один и более стартер-генераторы, так, например, АИ-20, оборудована двумя стартер-генераторами СтГ-12/27, АИ-24 оборудован одним СтГ-18/27.

Стартер-генератора обычно применяется на небольших ГТД. Питание подается от наземных источников электроэнергии, а также от бортовых аккумуля-

торов. На наиболее крупных двигателях с электрозапуском вал стартер-генератора соединяется с валом газотурбинного двигателя через двухскоростной редуктор и обгонную муфту, встроенные в стартер-генератор. Передаточное отношение редуктора автоматически меняется в зависимости от направления передачи крутящего момента – в стартерном режиме оно больше, из-за того, что якорь соединяется с двигателем через планетарный редуктор. В генераторном режиме он соединяется напрямую. Кроме того, применяется ступенчатая подача электроэнергии для уменьшения нагрузки на трансмиссию и большей плавности хода. Для этого применяются выводимые по мере раскрутки ротора пусковые резисторы, ослабление магнитного потока стартера на больших оборотах, а в старых системах запуска применялось пересоединение источников с параллельного соединения на последовательное — так называемый запуск 24/48 вольт.

Данные машины отличает повышенные электромагнитные нагрузки в стартерном режиме. Плотность тока в обмотках достигает  $20 \text{ A/мм}^2$  и более, что не допускает длительную работу, либо частое включение в стартерном режиме.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабин М. А., Кац Б. М., Литвинов Ю. А. «Запуск авиационных газотурбинных двигателей» — М.: Машиностроение, 1968. — 120 с.
2. Иноземцев А. А., Нихамкин М. А. и др. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Том V «Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок». — М.: Машиностроение, 2008. — 190 с.

УДК 681.11.035.2-752

Я. Г. ТУЛЕНКОВ

*bosetu772@mail.ru*

Науч. руковод. – доц. И. И. ЯМАЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **МАГНИТНЫЕ ПОДШИПНИКИ**

*Аннотация.* В работе рассматриваются магнитные подшипники, принцип действия магнитных подшипников, недостатки и преимущества, а также их применение.

Во многих машинах одним из основных элементов является вал вращающийся в узлах, называемых подшипниковыми опорами. Развитие таких машин связано уменьшением массо-габаритных размеров и увеличением скоростей вращения, откуда возникает проблема долговечности подшипниковых узлов. Многие современные механизмы должны работать в экстремальных условиях: в вакууме, в агрессивных средах, в сверхчистом производстве, при высоких и низких температурах и т.д. Поэтому необходимо создавать и подшипники для таких условий работы, что является актуальной технической проблемой. Решением этой проблемы может быть как совершенствование традиционных подшипников скольжения и качения, так и создание подшипников с использованием иных физических принципов действия.

Подшипники скольжения и качения уже достигли высокого технического уровня развития. Но протекающие в них процессы ограничивают или делают невозможным применение этих подшипников для работы в экстремальных условиях. Наличие смазки в дорожках качения и механический контакт подвижных и неподвижных частей являются существенным недостатком. В подшипниках скольжения отсутствие механического контакта обуславливается слоем смазочного материала, однако герметизация этого слоя всего лишь уменьшает взаимное проникновение смазочного материала и внешней среды.

Активные магнитные подвесы (АМП) свободны от указанных недостатков, так как в них для создания опорных реакций используются магнитные и

электрические поля. Принцип работы АМП основан на стабилизации тела в заданном положении с помощью сил магнитного притяжения, действующих на тело со стороны управляемых электромагнитов. Токи в обмотках электромагнитов формируются при помощи системы автоматического управления, состоящей из датчиков перемещений тела, электронного регулятора и усилителей мощности, питающихся от внешнего источника электрической энергии.

### ***Общие сведения о магнитных подшипниках***

#### ***Бесконтактные магнитные подшипники***

Магнитные подшипники или бесконтактные подвесы обладают такими качествами: отсутствием смазки, нету трущихся частей, в следствии этого, отсутствуют потери на трение, крайне низкий уровень вибрации, высокая относительная скорость, малое энергопотребление, система автоматического контроля и мониторинга состояния подшипников, возможность герметизации.

Все эти достоинства делают магнитные подшипники лучшими решениями для множества применений: для газовых турбин, для криогенной техники, в высокооборотных электрогенераторах, для вакуумных устройств, для различных станков и прочего оборудования, в том числе высокоточного и высокоскоростного (порядка 100000 оборотов в минуту), где важно отсутствие механических потерь, помех и погрешностей.

Магнитные подшипники подразделяются на два типа: пассивные и активные магнитные подшипники. Пассивные магнитные подшипники изготавливаются на базе постоянных магнитов, но такой подход используется крайне редко. Более гибкие и широкие технические возможности открываются с подшипниками активными, в которых магнитное поле создается переменными токами в обмотках сердечников.



Рис. 1. Бесконтактный магнитный подшипник

### ***Принцип работы бесконтактного магнитного подшипника***

Работа активного магнитного подвеса или подшипника базируется на принципе электромагнитной левитации с использованием электрического и магнитного полей. Вращение вала в подшипнике происходит без физического контакта поверхностей друг с другом. Именно по этой причине полностью исключается смазка, а механический износ отсутствует. Так повышаются надежность и КПД машин.

Специалисты также отмечают важность наличия контроля положения вала ротора. Система датчиков непрерывно следит за положением вала и подает сигналы системе автоматического управления для точного позиционирования путем корректировки позиционирующего магнитного поля статора, сила притяжения с нужной стороны вала делается сильнее или слабее путем регулировки тока в статорных обмотках активных подшипников.

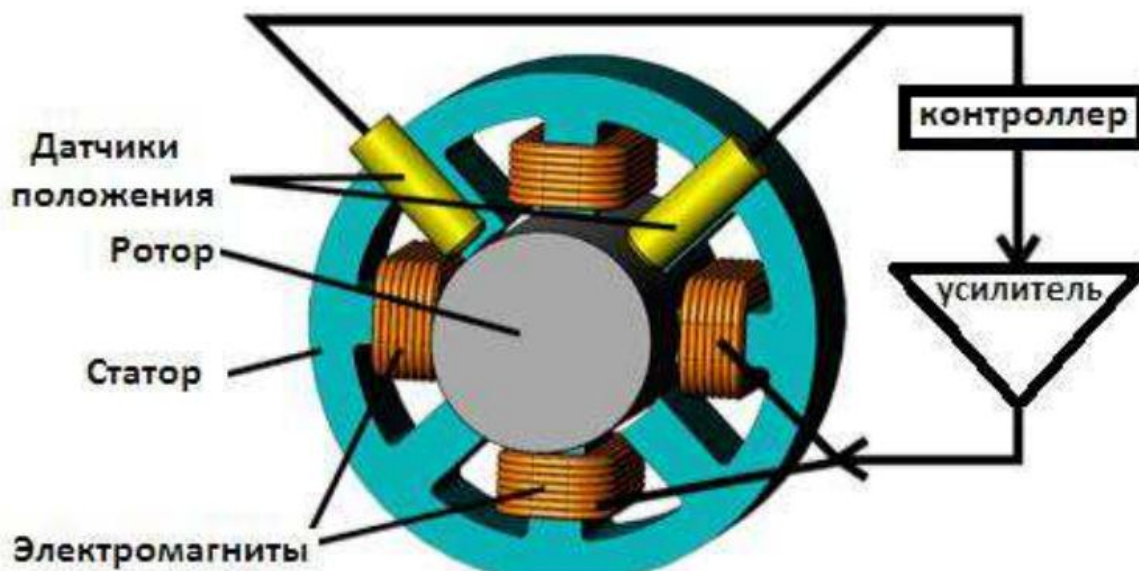


Рис. 2. Схема бесконтактного магнитного подшипника

Два конических активных подшипника, либо два радиальных и один осевой активные подшипники, позволяют бесконтактно подвесить ротор буквально в воздухе. Система управления подвесом работает непрерывно, она может быть цифровой или аналоговой. Так обеспечивается высокая прочность удержания, высокая грузоподъемность, и регулируемые жесткость и амортизация. Данная технология позволяет подшипникам работать в условиях низких и высоких температур, в вакууме, на больших скоростях и в условиях повышенных требований к стерильности.

### ***Устройство активного бесконтактного магнитного подшипника***

Ротор радиального магнитного подшипника оснащен ферромагнитными пластинами, на которые и действует удерживающее магнитное поле от катушек статора, в результате чего ротор оказывается подвешен в центре статора, не соприкасаясь с ним. Индуктивные датчики все время следят за положением ротора. Любое отклонение от правильного положения приводит к появлению сигнала, который подается на контроллер, чтобы тот в свою очередь вернул ротор в нужное положение. Радиальный зазор может составлять от 0,5 до 1 мм. Аналогичным образом функционирует упорный магнитный подшипник. Электромагниты в форме кольца закреплены на валу упорного диска. Электромагниты располагаются на статоре. На концах вала располагаются осевые датчики.

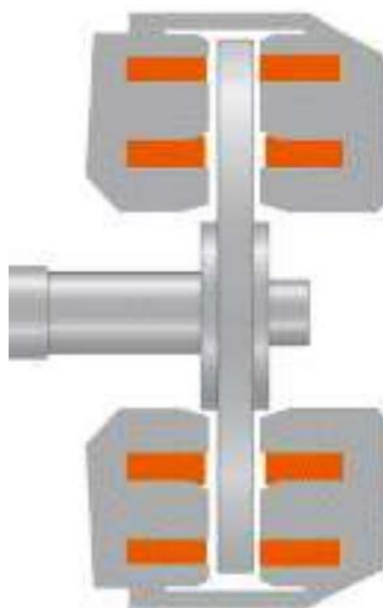


Рис. 3. Расположение вала в упорных бесконтактных подшипниках

Для надежного удержания ротора машины во время ее остановки, или в момент отказа системы удержания, используются страховочные шариковые подшипники, которые закреплены так, что зазор между ними и валом выставлен равным половине того, что имеет место в магнитном подшипнике.

Система автоматического регулирования располагается в модуле управления и отвечает за правильную модуляцию тока, проходящего по электромагнитам, в соответствии с сигналами от датчиков положения ротора.

Мощность усилителей связана с максимальной силой электромагнитов, величиной воздушного зазора и временем реакции системы на изменение положения ротора.

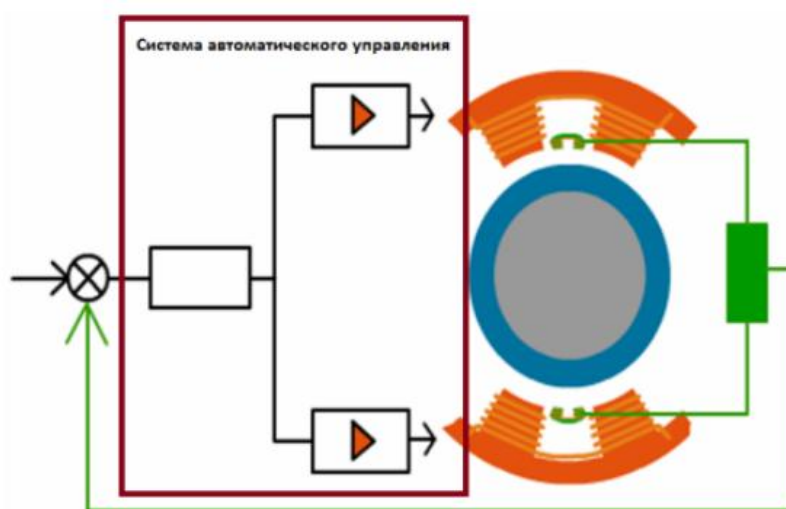


Рис. 4. Схема системы автоматического управления

Преимущества магнитных подшипников: магнитные подшипники имеют специфические свойства, которые отличают их от механических подшипников: нет смазки, может работать в сложных условиях окружающей среды, как жара, холод, пара, вакуума, агрессивных химических веществ, Отличная термическая изоляция ротора и статора, Низкий уровень вибрации и шума.

Недостатки: в случае исчезновения магнитного поля, необходимы страховочные подшипники, это подшипники качения, которые могут выдерживать один или два отказа магнитных подшипников, после чего необходима замена. Магнитное притяжение включает в себя неустойчивость, используют довольно сложные и громоздкие системы управления, которые затрудняют ремонт и эксплуатацию подшипника. Обмотка подшипника нагревается вследствие прохождения через нее тока, поэтому устанавливают дополнительные системы охлаждения

### *Применение*

Освоение серийного производства АМП началось в 70-х годах XX века. Области их применения весьма разнообразны.

Активные магнитные подшипника (АМП) находят все большее применение в машиностроении и других отраслях промышленности. Для улучшения динамических характеристик, увеличения надежности и КПД, например, в нагнетателях компрессорных установок, контактные подшипники заменяются бесконтактными активными магнитными подшипниками.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлев Ю.Н. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение. СПб. Политехника, 2003. - С. 206.
2. В.П. Верещагин, А.В. Рогоза. Особенности проектирования магнитных подшипников.
3. Активные электромагнитные подшипники для крупных энергетических машин // ВНИИЭМ. Техн. Информ. — ОАБ.149.649. — М., 1988. — С. 10.
4. Буль Б.К. Гаврилов Г.Г. Классификация устройств, использующих принцип магнитного подвеса на постоянных магнитах и электромагнитах постоянного тока // Изв. вузов. Электромеханика. — 1970. - № 7. - С.744 — 751.
5. Шмитц Н., Новотный Д. Введение в электромеханику. — М.: Энергия, 1969. — С. 336.



## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК В НАЗЕМНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**Аннотация.** Рассмотрены принцип устройства гибридного автомобиля, его эффективность, преимущества перед ДВС.

**Ключевые слова:** гибридный мотор, экологичность, выбросы углекислого газа, расход топлива, экономичность гибридов.

Рост цен на топливо заставляет искать альтернативные источники энергии; электромобили еще нуждаются в массивных батареях и требуют развитой, специфичной инфраструктуры; поиск компромисса между двумя видами моторов привел к активной разработке HEV (гибридного электрического транспорта), который обрел широкое внимание исследователей и остается в наше время перспективной разработкой.

Любой транспорт, который использует два и более источника энергии, является гибридным. В работе рассмотрим бензиново-электрическую разновидность таких автомобилей; они оснащены гибридным двигателем, который представляет собой комбинацию электромотора и двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Их работа может происходить как в независимых циклах, так и в совместном режиме. [1]

Существует несколько типовых схем устройства гибридных автомобилей.

Мягкие (умеренные) гибриды

Электромотор установлен в качестве вспомогательного механизма ДВС; это не позволяет двигаться исключительно на электротяге, но крайне эффективно для снижения расхода топлива и износа, в особенности, при сложных условиях эксплуатации. В качестве электропитания используют конденсаторы или компактные батареи. Таким образом, достигается экономия топлива в 15–25 %.

Параллельный гибрид

Данная конструктивная схема позволяет автомобилю двигаться на чистой электротяге 30–150 км.

Схема значительно упрощается в производстве, если электромотор и двигатель внутреннего сгорания установлены на разных осях. Упрощение схемы позволяет снизить расход топлива, увеличив при этом проходимость и управляемость.

#### Последовательный гибрид

Электротяга – основная движущая сила, позволяющая автономно преодолеть дистанцию в 150–200 километров. Двигатель внутреннего сгорания не связан с колесами напрямую, запускается в качестве генератора при разряде аккумулятора. Мотор изнашивается намного медленнее, чем в обычных автомобилях. Расход топлива — от 1,5 до 3,5 литров на 100 км.

#### Параллельно–последовательный гибрид

Сочетает в себе достоинства двух конструкций. ДВС при размеренной езде вращает мощный генератор и заряжает батарею. При повышенных нагрузках включается автономная система электромотора, отводящая на себя значительную часть нагрузки. [2]

В сравнении с обычным автомобилем конструкция гибридного транспорта имеет ряд значительных преимуществ по параметрам энергоэффективности и КПД.

– В гибридном автомобиле двигатель работает в оптимальном режиме (не достигая критических нагрузок), соответственно, топливо расходуется экономично; кроме того, электромотор отводит на себя часть нагрузки в переходных режимах, положительно влияя на сохранность компонентов двигателя и трансмиссии.

– Отпадает необходимость в дорогих и громоздких коробках переключения скоростей, карданной передачи и в дифференциалах угловой скорости вращения поворачиваемых колес – схема моторов гибрида довольно проста и не требует высокотехнологичного производства.

– Генератор и аккумулятор необходимы в любом автомобиле;

в гибридном они подключаются к вращению колес, придавая дополнительную мощность силовой установке.

– Грамотно перераспределяется мощность – следовательно, значительно быстрее развивается и поддерживается высокая скорость.

– Энергия используется повторно при рекуперативном торможении, это позволяет возвращать большую ее часть и повысить эффективность мотора.

Эти особенности позволили достигнуть КПД в 80-85 процентов, в то время как у ДВС он остается в диапазоне 30-35%, в городских условиях частых рывков/ торможений эффективность падает до 10%, в то время как городские условия для гибрида создают благоприятную среду – позволяют использовать рекуперацию, с помощью которой автомобиль гораздо эффективнее распределит данную энергию. [3]

Именно хорошая эффективность делает гибридные силовые установки экономичными. При торможениях/снижении скорости бензиновый мотор прекращает подачу топлива, чтобы снизить расход горючего. Значительная часть энергии при этом утрачивается, так как детали нагреваются и выделяют тепло. Гибрид способен переводить электромотор в режим генератора, тем самым, экономя горючее и накапливая при этом электроэнергию. ДВС в тандеме с электромотором работает без резких изменений частоты вращения и нагрузки, что положительно сказывается на удельном расходе топлива.

Помимо эффективности, простоты и экономичности, гибриды обладают несомненным преимуществом – экологичностью. Широкое использование гибридных автомобилей на дорогах значительно снижает выброс оксида азота в атмосферу (на 50%), сажи и углекислого газа. [4]

Официальные тесты показывают: выделения гибридных моторов составляет в среднем 44 г диоксида углерода на километр пути. Если исходить из этих данных, то пожизненные выбросы подключаемого гибрида составляют в среднем около 28 тонн CO<sub>2</sub>. Для сравнения, средний бензиновый или дизельный ав-

томобиль выделяет 39-41 тонны CO<sub>2</sub> в течение своего срока службы, а обычный гибрид – более 33 тонн. [5] Значит, что подключаемый гибрид способен обеспечить сокращение выбросов примерно на треть. Если владельцы будут исправно заряжать аккумуляторы электромоторов, а не полагаться исключительно на ДВС, то данный показатель будет уменьшаться – гибриды будут еще экологичнее.

В ближайшие годы владение гибридным транспортом будет выгоднее автолюбителям. Ужесточенные требования к ДВС повышают стоимость и сложность производства таких моторов; вне развитой инфраструктуры гибрид – единственная перспектива электромобилям.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [https://www.rolf.ru/blog/kak\\_rabotaet\\_gibridnyi\\_avtomobil\\_\\_princip\\_\\_osobennosti\\_\\_rashod\\_topliva/](https://www.rolf.ru/blog/kak_rabotaet_gibridnyi_avtomobil__princip__osobennosti__rashod_topliva/)
2. [https://www.wikiwand.com/ru/Гибридный\\_автомобильПреимущества](https://www.wikiwand.com/ru/Гибридный_автомобильПреимущества).
3. <https://mag.auto.ru/article/vygody-ekspluatacii-elektromobilya-v-sravnenii-s-mashinoy-s-dvs/>
4. <https://newizv.ru/news/tech/17-09-2020/gibridnye-avtomobili-okazalis-sovsem-ne-ekologichnymi>
5. Carbon dioxide emissions from plug-in hybrid cars analysis from pressure groups Transport and Environment and Greenpeace.

УДК 621.313

Р. Э. ФИЛИПОВ

*rodion.filipov@bk.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. В. ЛОБАНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР ДВИГАТЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРИВОДАХ ЭСКАЛАТОРОВ**

**Аннотация.** В статье представлен обзор электродвигателей, используемых в приводах эскалаторов.

**Ключевые слова:** эскалатор; асинхронный двигатель.

Эскалатор – подъемно-транспортная машина с движущимися ступенями для перемещения людей с одного уровня на другой. Ступени лестницы обычно прикреплены к замкнутой цепи, которая приводится в движение от электродвигателя через редуктор. Эскалаторы распространены на станциях метрополитенов, вокзалах, в крупных торговых учреждениях, в подземных переходах.

Эскалаторы подразделяются на два основных класса – тоннельные и поэтажные.

Тоннельные эскалаторы устанавливаются в длинных наклонных тоннелях – выходах станций метро глубокого залегания. Большая длина таких эскалаторов накладывает особые требования к прочности их конструкции и надежности тормозов. Для обслуживания таких эскалаторов требуются достаточно широкие балюстрады между лентами.

Поэтажные эскалаторы используются на станциях метро и в других подземных пространствах мелкого заложения, в зданиях. Так как к таким эскалаторам обычно имеется свободный доступ, широкие балюстрады им не нужны. Различаются тоннельные и поэтажные эскалаторы по углу наклона. Так, при требуемой высоте подъема до 6 метров угол наклона эскалатора составляет 30° или 35°, при высоте подъема выше 6 метров – только 30°.

Для главного привода эскалаторов применяются трехфазные асинхронные электродвигатели с фазным ротором на напряжение 380 вольт, а для вспомогательного асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором на

напряжение 380 вольт. Мощность двигателей зависит от длины ходового полотна в пределах от 70 до 200 киловатт. Для станций мелкого заложения высотой до 20 метров применяется, как правило, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором мощностью от 12 до 55 киловатт.

Электродвигатели с короткозамкнутым ротором имеют ряд положительных качеств, дающих им преимущество перед другими типами электродвигателей. Конструкция их проще, изготовление дешевле и они надежны в эксплуатации. Однако двигатели с короткозамкнутым ротором большой мощности не могут быть применены в следствии больших величин пусковых токов, которые в 5-7 раз превышают номинальный ток электродвигателя. При пуске такого электродвигателя, вследствие потребления большого пускового тока на одном из питающих фидеров, может произойти посадка напряжения. Как правило электрическая аппаратура эскалаторов допускает снижение напряжения не более 15% и при больших посадках напряжения нет гарантии нормальной работы аппаратуры эскалаторов. В связи с этим в главных приводах эскалаторов, с большой высотой подъема, электродвигатели с короткозамкнутым ротором не применяются, а применяются двигатели с фазным ротором. Электродвигатель эскалатора должен обеспечить не только запуск эскалатора с расчетной нагрузкой, но и пуск эскалатора, работавшего на подъем с пассажирами, после его внезапной остановки при расчетном заполнении лестничного полотна. В этом случае электродвигателю приходится преодолевать большие усилия для перевода лестничного полотна из статического состояния в состояние движения. Эти усилия значительно больше, чем те, которые должен развивать электродвигатель для перемещения уже движущегося лестничного полотна. Исходя из этих соображений электродвигатели для эскалаторов выбираются с большим пусковым моментом, кратность которого, приблизительно в два раза больше, по отношению к номинальному моменту.

Асинхронный электродвигатель с фазным ротором серии АКЭМ (рис.1) состоит из литой чугунной станины 7, в которой закреплен сердечник 5, собранный из листов электротехнической стали. В пазах сердечника уложены катушки обмоток 4. Сердечник с обмоткой называется статором. Внутри статора

расположен ротор, состоящий из вала 1 и насаженного на него сердечника 6. Вал ротора сидит на подшипниках 2, 14, установленных в подшипниковых щитах 3, 8, которые прикрепляются к станине болтами, равномерно распределенными по окружности щитов. У двигателя на рисунке 1 подшипники закреплены в корпусах 15, 16, установленных в подшипниковых щитах. Концы обмотки присоединены к контактным кольцам 13, которые изолированы между собой и от вала и сидят на контактных шпильках 9. Каждая шпилька имеет контакт только с одним из трех контактных колец. К поверхности контактных колец прижимаются щетки 12, расположенные на оси 11. Щетки закреплены в щеткодержателях 10 и прижимаются к контактным кольцам пружинами. Вывод роторной обмотки служит для подключения пусковых резисторов, обеспечивающих плавный пуск и ограничение пускового тока.

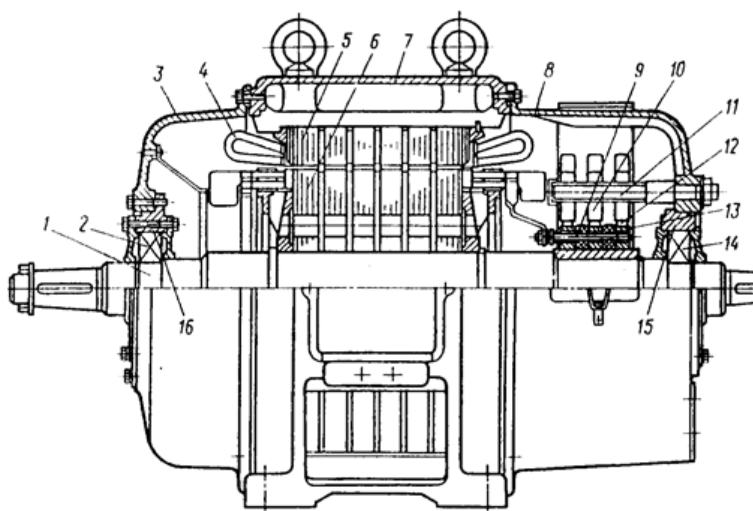


Рис. 1. Общий вид электродвигателя

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асинхронные электродвигатели [Электронный ресурс] URL: [https://studopedia.ru/19\\_395637\\_asinhronnie-elektrodvigateli.html](https://studopedia.ru/19_395637_asinhronnie-elektrodvigateli.html) (дата обращения 14.09.2022).
2. Электрические двигатели эскалаторов [Электронный ресурс] URL: <https://infopedia.su/12x778e.html> (дата обращения 14.09.2022).
3. Асинхронные двигатели общего назначения / [Е. П. Бойко, Ю. В. Гаинцев, Ю. М. Ковалев и др.]; Под ред. В. М. Петрова, А. Э. Кравчика. – М.: Энергия, 1980. – 488 с.

Д. А. ЦИБРИН  
tsibrin00@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. В. ЛОБАНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## ЭВОЛЮЦИЯ РАЗВИТИЯ МОТОР-БАРАБАНОВ

**Аннотация.** В статье представлена история появления и развития ременного привода барабанного двигателя. Показаны преимущества и недостатки мотор-барабанов, а также перспективы совершенствования.

**Ключевые слова:** мотор-барабан; ленточный конвейер.

Ременной привод барабанного двигателя появился в конвейерной промышленности в начале 50-х годов XX века и стал настоящей революцией для того времени (рис. 1).

Отличие мотор-барабана от обычного конвейерного привода состоит в том, что в мотор-барабане все его приводные компоненты, такие как электродвигатель, редуктор, подшипники, размещены внутри его корпуса.

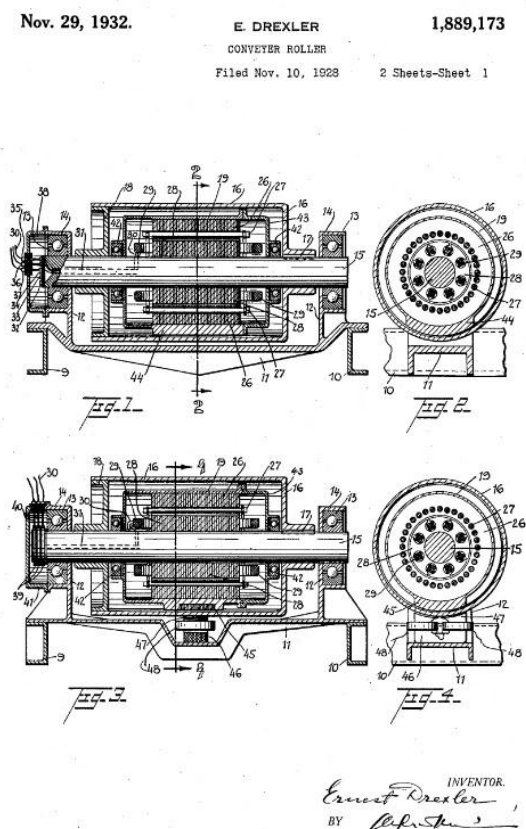


Рис. 1. Патент на первый мотор-барабан



Таким образом, мотор-барабан представляет собой уникальное решение исполнения механизма привода ременной передачи. Устройство мотор-барабана также стало примером максимально эффективного использования рабочего пространства и прорывом в вопросе обеспечения безопасности рабочих, так как отпала необходимость размещать вне рамы конвейера такие элементы, как электродвигатель, редуктор, подшипниковые соединения (такие компоненты являлись постоянным источником опасности для людей в обычных конвейерных приводах).

Большинство стандартных приводов конвейеров обладают 90-градусным редуктором, установленным непосредственно на приводном валу, или используют звездочки и цепь для привода главного приводного барабана конвейера. Использование 90-градусного редуктора, особенно червячного редуктора, снижает эффективность привода, что приводит к механическим потерям. В приводе же конвейера на основе мотор-барабана двигатель размещен в самом мотор-барабане, где он механически соединяется с редуктором. Такое решение позволило повысить механическую эффективность конвейера на 20-40%.

Резюмируя, мы можем сказать, что в конвейере, использующем обычную приводную систему, все приводные компоненты, которые вращают приводной барабан, установлены снаружи. Привод мотор-барабана не включает в себя внешних приводных компонентов, что позволяет получить более рациональную конструкцию конвейера.

Барабанный двигатель имеет цилиндр с двумя квадратными валами с обоих концов и электрическую соединительную коробку, выступающую на стороне двигателя, в которой размещены электрические соединения. Валы квадратные и не вращаются. Они фиксируются и монтируются на раме конвейера, что исключает необходимость в опорных подшипниках. Электродвигатель, размещенный внутри цилиндра (приводного барабана), представляет собой двигатель с короткозамкнутым ротором переменного тока. Статор не вращает-

ся, поэтому нет необходимости во вращающихся щетках или скользящих кольцах, подающих энергию на обмотки статора (рис. 2).

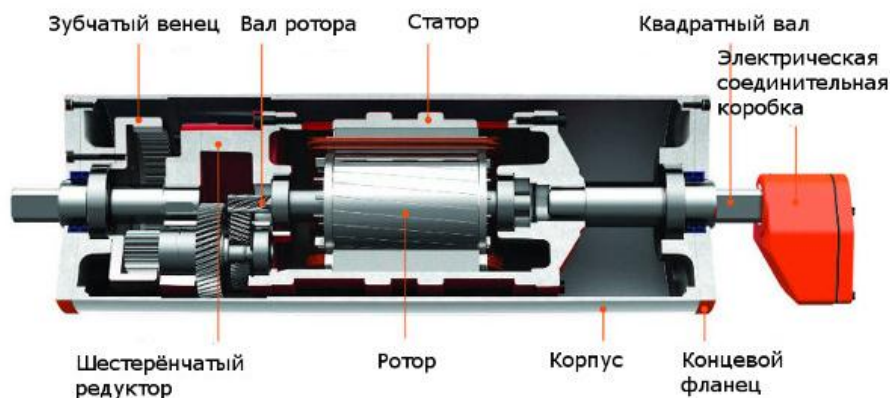


Рис. 2. Конструкция мотор-барабана

Вал ротора – это входная ведущая шестерня, приводящая в движение двух или трехступенчатый редуктор. Последняя ступень редуктора является движущей кольца шестерни, которая крепится непосредственно к концу фланца, и фланец крепится непосредственно на вращающийся диск барабана. Последняя ступень редуктора приводит в движение зубчатый венец, который крепится непосредственно к концевому фланцу.

Все внутренние компоненты мотор-барабана, мотор, шестерни и подшипники работают в масляной ванне. Мотор-барабан герметично закрыт и на треть заполнен маслом. Масло внутри мотор-барабана используется в качестве смазки, а также обеспечивает охлаждение. Масло аккумулирует тепло, которое выделяется во время работы мотор-барабана. По мере того как температура внутри барабанного двигателя повышается, внутреннее давление может подниматься до 1 атм. Из-за возникающего внутреннего давления как раз и необходимо, чтобы мотор-барабан был герметичен, чтобы избежать утечки масла.

В зависимости от производителя, сегодня на рынке представлен широкий спектр мотор-барабанов, отличающиеся диаметром, скоростью вращения конвейерной ленты и мощностью. Диаметр мотор-барабана обуславливается необходимой мощностью и требуемой скоростью вращения ленты. Поскольку все

механические и электрические компоненты должны помещаться внутри цилиндра, мощность мотор-барабана геометрически ограничена. Для того, чтобы отвечать разным требованиям по скорости движения конвейерной ленты, мотор-барабаны обладают такой характеристикой, как передаточное число редуктора. Когда требуется другая скорость ленты, это можно сделать, изменив передаточное отношение редуктора или используя частотный преобразователь. Сейчас предлагаются мотор-барабаны диаметров от 3,1” до 42,0”, и мощностью от 0,25 л. с. до 500 л. с.

Области промышленного применения мотор-редукторов также широки, как и широко применение различных видов ленточных конвейеров: складская логистика, системы перемещения грузов в аэропортах, обработка почтовых отправок, конвейеры горно-добывающей промышленности и др. Благодаря автономной конструкции и способности выдерживать процедуры промывки под высоким давлением использование мотор-барабанов для ленточных конвейеров является уникальной и привлекательной альтернативой обычному конвейерному приводу в пищевой промышленности.

Преимущества:

Мотор-барабаны более эффективны, чем обычные ленточные приводы. Они потребляют существенно меньше энергии, без потери в показателях крутящего момента и производительности. Благодаря мотор-барабану удается достичь более безопасной и оптимизированной конструкции конвейера. Также и время установки мотор-барабана гораздо меньше времени, которое требуется на установку обычного внешнего привода.

Недостатки:

Мотор-барабан не требует технического обслуживания. Но в случае отказа электродвигателя или редуктора, входящих в его конструкцию, приходится снимать весь мотор-барабан. Так как при использовании традиционной внешней приводной системы конвейера все ее агрегаты расположены снаружи, то и доступ к ним проще и ремонт вышедшего узла может быть завершён в более

короткое время. В случае же с мотор-барабаном, чаще всего проще заменить все изделие, чем разбирать и ремонтировать вышедшую из строя деталь.

В Северной Америке доля мотор-барабанов составляет примерно 7% от общего числа применяемых приводов конвейеров. Естественно возникает вопрос: «Почему распространение мотор-барабанов так невелико, при всех их имеющихся преимуществах?»

Когда мотор-барабаны только появились на рынке, выбор их возможных характеристик, таких как скорость движения ленты, мощность и габариты — был очень ограничен. Особенно сдерживающим фактором было отсутствие возможности регулировать скорость движения конвейерной ленты. По этой причине, традиционные конвейерные приводы оставались более востребованными. Сегодня же ведущие мировые производители мотор-барабанов, такие, как французская компания Sirem, предлагают и мотор-барабаны с возможностью регулирования скорости движения конвейерной ленты и мотор-барабаны начинают занимать все большее место в технологиях конвейерных приводов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эволюция мотор-барабана [Электронный ресурс] URL: <https://drive-v.ru/stati/jevoljucija-motor-barabana> (дата обращения 13.09.2022).
2. Мотор-барабан: понятие, характеристики, преимущества [Электронный ресурс] URL: <https://arve.ru/text-articles/motorbaraban-ponyatie-konstrukciya-preimushchestva> (дата обращения 13.09.2022).
3. Мотор-ролики [Электронный ресурс] URL: <https://cominmach.ru/katalog/elektrodvigateli-reduktory/motor-roliki> (дата обращения 13.09.2022).

УДК 621.313

Д. Ю. ЧУЙКИН, Р. И. ГАРЕЕВ, М. Б. ГАРЕЕВА, Н. Л. БАБИКОВА  
*dima\_2004\_ch@mail.ru, rustamgareev85@mail.ru, gumerova\_m@mail.ru,*  
*16.01.nat@gmail.com*  
Науч. руковод. – Р. И. ГАРЕЕВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ**

**Аннотация.** В статье проведен обзор российских производителей солнечных панелей. Полученные результаты позволяют сделать выбор варианта солнечной панели, оправданного с точки зрения технико-экономической эффективности.

**Ключевые слова:** солнечные фотоэлектрические панели, монокристаллические панели, поликристаллические панели, пленочные модули.

С каждым годом альтернативные способы получения электроэнергии все больше интересуют ученых и население стран. Широко известным и одним из наиболее перспективных направлений является получение электричества из энергии солнца. Ведутся исследования и разработки, направленные на повышение КПД солнечных установок, эффективности преобразователей и накопителей энергии.

На мировом и российском рынке становится все больше производителей солнечных модулей, растет ассортимент предлагаемой продукции, при этом цены снижаются. Поэтому покупателям, решившим внести свой вклад в вопрос энергосбережения за счет установки солнечных электростанций, становится сложнее сделать правильный выбор. Таким образом, поиск наиболее эффективного источника электроэнергии на основе энергии солнца, с учетом взятого в стране курса на импортозамещение, является актуальной задачей [1, 2].

В связи с рядом недостатков солнечных панелей, таких как невысокий КПД (около 20% у современных промышленных экземпляров), зависимость от погодных условий, необходимость в дополнительном оборудовании для преобразования и хранения энергии, долгий срок окупаемости солнечной электростанции – солнечные панели целесообразно применять в качестве резервного

источника электрической энергии на объектах с I и II категорией надежности, и для III категории при технико-экономическом обосновании. Их применение позволит обеспечить надежное электроснабжение объекта без строительства дорогостоящих линий электроснабжения в труднодоступных и отдаленных районах.

### ***Критерии выбора солнечных панелей***

Для рационального выбора солнечных панелей необходимо руководствоваться рядом критериев, в каждом конкретном случае ранжируя их по значимости при принятии решения. Ниже перечислены основные критерии, на которые стоит обратить внимание проектировщика солнечной электростанции:

*КПД.* У современных промышленных образцов КПД составляет 10-20%, экспериментальные образцы демонстрируют значения до 45%, однако такие образцы не нашли широкого применения ввиду дороговизны их производства.

*Тип панели.* В настоящее время все солнечные панели делятся на

а) Кремниевые батареи (доля в мире достигает 90%). Они имеют три подвида, которые отличаются КПД и ценой: поликристаллические панели (КПД до 15%), монокристаллические панели (КПД около 20%), аморфные модули.

б) Пленочные модули (доля в мире около 10%, но при этом постепенно растет) характеризуются гибкостью и удобством применения. Однако обладают меньшей мощностью и подвержены атмосферному воздействию.

*Назначение.* Солнечные батареи имеют широкий модельный ряд. Стационарные модули с хорошей защитой от погодных условий применяются для создания автономной электростанции для частного домохозяйства или промышленного предприятия. Мобильные панели небольшой мощности предпочтительно использовать для небольших потребителей, таких, например, как освещение в походных условиях, зарядка аккумуляторов и т.д.

*Качество изготовления.* Каждой солнечной панели присваивается класс, который характеризует качество изготовления и сборки: А – дефекты отсут-

ствуют; В – панель имеет незначительные дефекты, не влияющие на работоспособность; С – панель может иметь сколы, неровные края или трещины.

### ***Производители солнечных панелей***

В таблице 1 приведен обзор основных отечественных производителей солнечных панелей.

Таблица 1

Производитель	Описание
Завод по производству фотоэлектрических модулей Группы компаний «Хевел», г. Новочебоксарск, Чувашская Республика [3]	<p>В 2017 году компания «Хевел» провела модернизацию производства и перешла с тонкопленочной на новую гетероструктурную технологию изготовления солнечных модулей.</p> <p>Модули нового поколения сочетают в себе преимущества тонкопленочной и кристаллической технологий, обеспечивают эффективную работу модуля при высоких и низких температурах (от -50 °С до +85°С), а также в условиях рассеянного света.</p> <p>Средний КПД солнечного модуля составляет 20%.</p> <p>Срок службы модуля составляет не менее 25 лет.</p>
АО «Телеком-СТВ», г. Зеленоград [4]	<p>Предприятие производит кремниевые пластины диаметром до 150 мм для микроэлектроники и фотовольтаики (возможно изготовление кремниевых пластин по специальным требованиям) и солнечные модули на их основе.</p> <p>Комплектные автономные системы энергообеспечения имеют различное назначение, в том числе и для городской инфраструктуры (например, автономный модуль беспроводного доступа к Интернету с питанием от солнечной энергии «Соларис W»)</p> <p>Также предприятие разрабатывает и производит уникальное контрольно-аналитическое оборудование для микроэлектроники и фотовольтаики.</p> <p>Предприятие сертифицировано по системе ISO 9001:2015.</p> <p>Компания предлагает широкий ассортимент панелей, отличающийся типом, мощностью, габаритами. Наиболее популярная модель носит название ТСМ, далее идет маркировка в зависимости от мощности: от 15 до 320 Вт, ценовой диапазон составляет от 4540 р до 63202 р.</p>
АО «Рязанский завод металлокерамических приборов», г. Рязань [5]	<p>Предприятие производит стационарные автономные солнечные фотоэлектрические системы, системы подсветки и освещения, полива, перекачки и перемешивания воды, циркуляции теплоносителя в системах отопления. Сетевые солнечные фотоэлектрические системы, выпускаемые предприятием, могут располагаться на крышах или фасадах или как архитектурный элемент.</p> <p>Наиболее востребованные модели панелей на 130 и 220Вт имеют КПД от 12 до 17,1 %.</p> <p>Эти модели подходят для автономного снабжения помещений, или отдельных приборов и устройств.</p> <p>Более мощные модели, от 220 до 240 Вт, покупаются чаще для резервного электроснабжения объекта. Ее стоимость варьируется от 13 200 до 14 400 руб. за модуль.</p>

Производитель	Описание
АО «Сатурн», г. Краснодар [6]	<p>Предприятие производит фотоэлектрические панели с 1971 года. За этот период предприятие выпустило более 20 000 квадратных метров продукции. В настоящее время деятельность АО «Сатурн» направлена на решение задач по разработке и изготовлению солнечных и аккумуляторных батарей для космических аппаратов (модулей).</p> <p>Предприятие использует две собственно освоенные технологии производства – на основе монокристаллического выращенного кремния или арсенид-галлиевого с германиевой подложкой. Последние показывают максимально высокие характеристики и используются для снабжения ответственных объектов.</p> <p>Оба типа модулей можно выполнить на любом каркасе, от сетки и пленки до металлических (из анодированного алюминия) и струнных типов. Фотоэлектрические преобразователи могут быть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– с полированной поверхностью;</li> <li>– со встроенными диодами;</li> <li>– с алюминиевым зеркалом.</li> </ul> <p>КПД панелей составляет 15-28%</p> <p>Предприятие выпускает как сборные модули на крышу, так и миниатюрные солнечные панели для датчиков, преобразователей, изделий электротехники, а также аккумуляторные батареи.</p>
АО НПП «Квант», г. Москва [7]	<p>Предприятие выпускает фотоэлектрические панели на основе моно- и поликристаллических кремниевых пластин.</p> <p>Удельная энергетическая характеристика выше у монокристаллических панелей и достигает 200 Вт/кв.м.</p> <p>По сравнению с зарубежными аналогами продукция предприятия оптимальна по технико-экономическим показателям и относительно небольшого уменьшения КПД на протяжении всего срока службы.</p> <p>Наиболее популярной моделью сегодня выступает «Квант КСМ» и ее модификация КСМ-180П. Стоимость такой батареи не превышает 18 000 руб., срок службы достигает 40 лет.</p>
ООО «Термотрон-Завод», г. Брянск. [8]	<p>Предприятие производит мачты автономного освещения (на основе солнечных фотоэлектрических панелей - ФЭП), предназначенные для автономного уличного освещения площадей, парков, улиц, дворов, автостоянок, детских площадок и других уличных объектов. Ресурс работы в режиме городского освещения - 12 лет.</p> <p>Автономная энергетическая станция (АЭС) ЭКОТЕРМ, производства ООО «Термотрон-Завод» применяется в удаленных безлюдных местах с суровыми природно-климатическими особенностями для обеспечения бесперебойного энергоснабжения.</p> <p>Рабочий диапазон температур выпускаемой продукции от - 60 С до + 50 С. Мощность станции 3-50 кВт</p>

### *Заключение*

Приведенный анализ солнечных панелей российских производителей необходим для сравнения параметров и ценовых характеристик для принятия



верного решения при поиске путей энергосбережения. Представленные солнечные панели способны конкурировать с зарубежными аналогами, как по качеству, так и по цене. Данный обзор ведущих российских предприятий, производящих солнечные панели, позволяет получить представление о целесообразности применения солнечной энергии с учетом актуальной тенденции импортозамещения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор солнечных панелей российского производства. [Электронный ресурс], URL: <https://cdelayremont.ru/obzor-solnechnyh-panelej-rossijskogo-proizvodstva> (дата обращения 10.08.2022)
2. Кузнецов А.Н. 11 ЛУЧШИХ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ. [Электронный ресурс], URL: <https://expertology.ru/11-luchshikh-solnechnykh-paneley/> (дата обращения 10.08.2022).
3. [Электронный ресурс] URL: <https://www.hevelsolar.com/> (дата обращения 10.08.2022).
4. АО «Телеком-СТВ». [Электронный ресурс] URL: <http://www.telstv.ru/> (дата обращения 01.08.2022).
5. АО «Рязанский завод металлокерамических приборов». [Электронный ресурс] URL: <http://www.rmcp.ru/about/> (дата обращения 02.08.2022).
6. АО «Сатурн» [Электронный ресурс] URL : <https://saturn-kuban.ru/> (дата обращения 04.08.2022).
7. АО НПП «Квант» [Электронный ресурс] URL: <https://npp-kvant.ru/> (дата обращения 08.08.2022).
8. ООО «Термотрон-Завод». [Электронный ресурс] URL : <https://termotron.ru/about-company/> (дата обращения 10.08.2022)

УДК 621.313

Р. М. ШАЯХМЕТОВ  
*railsaahmetov81@gmail.com*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Р. М. САЛИХОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

**Аннотация.** В статье показаны сферы применения электродвигателей постоянного тока для крановых подъемных механизмов, приведены преимущества и недостатки машин постоянного тока.

**Ключевые слова:** двигатель постоянного тока, подъемные механизмы.

Двигатели постоянного тока (ДПТ) применяют в электроприводах, требующих широкого, плавного и экономичного регулирования частоты вращения, высоких перегрузочных пусковых и тормозных моментов, главным образом в металлообрабатывающих станках, бумагоделательных машинах, в текстильной, резиновой, полиграфической промышленности, а также в подъемных крановых механизмах и др.

ДПТ обладают следующими преимуществами:

– Практически линейные регулировочные и механические характеристики, благодаря чему обеспечивается удобство эксплуатации.

– Большая величина пускового момента.

– Компактные размеры (особенно сильно выражено у двигателей на постоянных магнитах).

– Возможность использования одного и того же механизма как в режиме двигателя, так и генератора.

– КПД при полной нагрузке, как правило, выше на 1–2 % чем у асинхронных и синхронных машин, а при неполной нагрузке преимущество может возрасти до 15 %.

К недостаткам можно отнести:

– ограниченный ресурс коллектора и щеток;

– дополнительная трата времени на профилактическое обслуживание, связанное с поддержанием коллекторно-щеточных узлов;

– ввиду того, что мы пользуемся сетями с переменным напряжением, возникает необходимость выпрямления тока;

– дороговизна в изготовлении якорей.

ДПТ применяют лишь при необходимости обеспечить плавное и глубокое регулирование скорости, а также при тяжелом режиме работы. Наилучшим для привода крановых механизмов является электродвигатель постоянного тока с последовательным возбуждением, обладающий мягкой естественной характеристикой, мягкими и жесткими искусственными характеристиками и дающий возможность при соответствующих искусственных системах получить любую требуемую скорость, как в двигательном, так и в тормозном режиме. По сравнению с другими видами электродвигателей при наименьшем росте тока двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением обеспечивают наибольшую перегрузочную способность, что очень важно для механизмов передвижения кранов, особенно при пуске.

При использовании ДПТ учитывается одна из важнейших характеристик, зависящая от способа подключения обмотки возбуждения. В ДПТ с последовательной схемой возбуждения при необходимости можно уменьшить скорость вращения в 2 раза. За это отвечает переменный резистор, который при необходимости включают в цепь возбуждающей обмотки реостата. В двигателях с параллельной схемой для уменьшения оборотов в 2 раз тоже применяют реостат, а для повышения в 4 раза подключают сопротивление.

Наибольший эффект дает установка ДПТ на механизмах подъема, которые примерно половину всего рабочего времени перемещают пустые грузозахватные приспособления, и в этом случае мягкие естественные характеристики очень подходят для получения повышенных скоростей.

Установка ДПТ на механизмах передвижения больших преимуществ не имеет, так как поднятый груз мало изменяет общую массу мостового крана и

механизмы передвижения практически работают с постоянной нагрузкой. Но в то же время ДПТ с последовательным возбуждением обладают повышенным пусковым моментом, что позволяет механизмам передвижения достигать номинальной скорости при пусках и реверсах быстрее, чем при установке электродвигателей других типов.

Сравнительно редко для привода крановых механизмов применяют ДПТ с параллельным и смешанным возбуждением. ДПТ наряду с некоторыми преимуществами при эксплуатации мостовых кранов присущи и недостатки: увеличенные масса и габариты, высокая стоимость, необходимость большего ухода и, наконец, специальной энергоустановки. Для питания крановых ДПТ требуется создавать мощные преобразовательные установки. В связи с этим, применение ДПТ выгодно на мостовых кранах с тяжелыми режимами работы на заводах металлургических и тяжелого машиностроения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электродвигатели постоянного тока <https://cable.ru/articles/id-789.php> (дата обращения 12.09.2022).
2. Крановые электродвигатели постоянного тока <http://stroy-technics.ru/article/kranovye-elektrodvigateli-postoyannogo-toka> (дата обращения 12.09.2022).
3. Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин, М.: Высшая школа, 2006.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИВОДА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности асинхронных двигателей для применения в качестве приводов металлорежущих станков (токарных, сверлильных и т.д.), показаны виды выпускаемых асинхронных двигателей с возможностью их частотного регулирования, рассмотрены особенности их конструкции по сравнению с общепромышленными асинхронными двигателями.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель; частотное регулирование; вентилятор; металлорежущий станок; электропривод.

В настоящее время в отечественной и зарубежной промышленности выпускается и используется широкое разнообразие металлорежущих станков: токарные, сверлильные, шлифовальные, фрезерные, полировальные и т.д. Такие станки предназначены для механической обработки металлических заготовок специальным инструментом: резцом, сверлом, абразивным кругом и т.д. На рис. 1 показана схема одного из вариантов токарных станков [1].

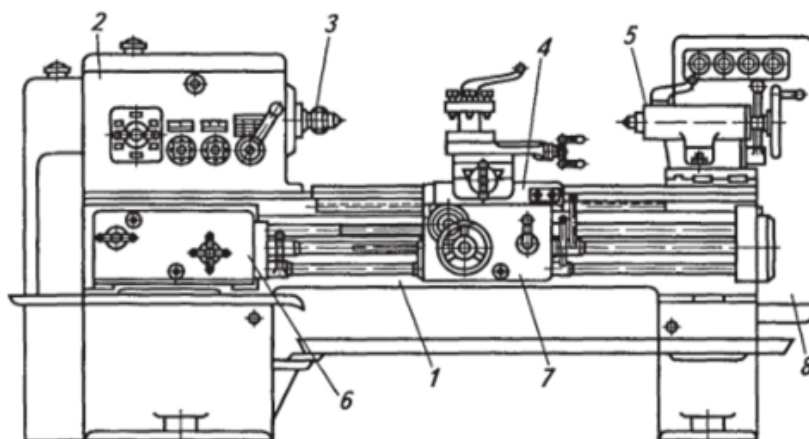


Рис. 1. Токарный станок

В подобных станках привод вращения шпинделя (обозначен цифрой 3 на рис. 1) осуществляется при помощи электродвигателей. Как известно, в качестве таких двигателей могут быть использованы коллекторные двигатели по-

стоянного тока, асинхронные, вентильные двигатели и др. Использование коллекторных двигателей постоянного тока удобно за счет удобного регулирования скорости вращения шпинделя в широких пределах, жесткой механической характеристики двигателя. Однако преимущества асинхронных двигателей, а также развитие преобразовательной техники с внедрением энергоэффективного частотного регулирования обуславливают в настоящее время расширение применения асинхронных двигателей для электропривода станков с уменьшением доли коллекторных машин.

На сегодняшний день отечественными компаниями производится широкий спектр частотно-регулируемых асинхронных двигателей. Так, известны двигатели компании *SOPTECH* (г. Владимир), предназначенные для работы в системах частотно-регулируемого электропривода (рис. 2) [2]. Мощность выпускаемых двигателей составляет 0,18–500 кВт.



Рис. 2. Асинхронный двигатель для частотно-регулируемого привода

Для эксплуатации в системах частотного регулирования такие двигатели имеют ряд отличий от традиционных общепромышленных асинхронных двигателей. Одним из них является использование независимой системы вентиляции, а также датчиков обратной связи (энкодеров) для контроля скорости вращения двигателя и положения ротора.

Известны частотно-регулируемые электродвигатели, выпускаемые ООО «Русэлпром», мощностью 132–1250 кВт [3]. В табл. 1 показаны характеристики электродвигателя АДЧР мощностью 250 кВт от компании «Русэлпром».

Паспортные данные двигателя АДЧР-250-0,38/0,66-8У1

Параметр	Значение
Тип ротора:	Короткозамкнутый
Номинальное рабочее напряжение, В	380/660
Мощность, кВт	250
КПД, %	93,6
cosφ	0,83
Частота вращения, об/мин	750
Высота оси вращения, мм	400
Степень защиты, IP	54
Способ охлаждения	IC01A61
Режим работы	S1
Монтажное исполнение	IM1001
Масса, кг	2620

Широкий спектр частотно-регулируемых двигателей поставляется компанией ООО «ЭЛРЕ» (г. Москва) мощностью 0,04–75 кВт с высотами оси вращения 56–315 мм [4] (рис. 3).



Рис. 3. Частотно-регулируемый двигатель

Кроме того, можно отметить асинхронные двигатели АДЧР мощностью 0,18–315 кВт, выпускаемые ООО НПО "Энергомаш" [5]. В табл. 2 показаны технические характеристики двигателя АДЧР мощностью 250 кВт, выпускаемого этой фирмой.

Паспортные данные двигателя АДЧР 355S4

Параметр	Значение
Мощность, кВт	250
Частота вращения, об/мин	1500
Напряжение, В	380/660
Ток статора, А	440 / 253,7
КПД, %	95,3
$\cos\varphi$	0,9
$M_{\max}/M_H$	2,2
$M_H/M_H$	2,1
$I_H/I_H$	6,9
Класс защиты	IP54 или IP55
Климатическое исполнение	У3
Вес, кг	1560

На рис. 4 показан внешний вид двигателей АДЧР, выпускаемых на ООО НПО «Энергомаш».

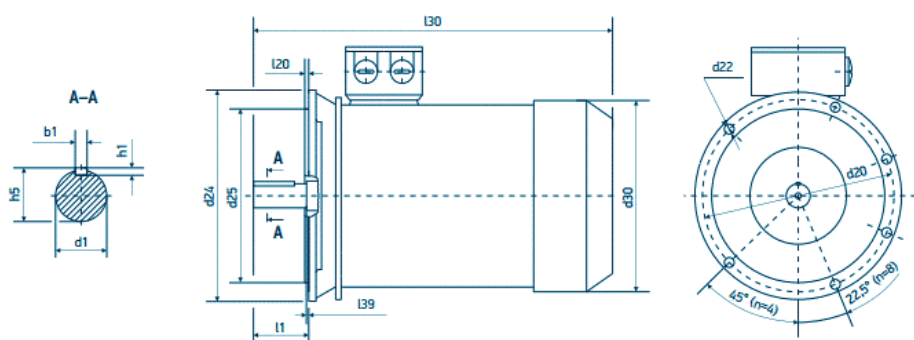


Рис. 4. Вид АДЧР фланцевого исполнения

Таким образом, по итогам обзора видно, что в настоящее время многими производителями выпускаются высокоэффективные асинхронные двигатели с возможностью частотного регулирования, которые могут использоваться для привода металлообрабатывающих станков и эффективно заменять общепромышленные асинхронные двигатели, для регулирования частоты вращения которых применяются коробки переключения скоростей на станках или многоскоростные варианты асинхронных двигателей с переключениями обмоток статора, что снижает их эффективность и усложняет конструкцию.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шичков Л.П. Электрический привод. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2019. 326 с.
2. Электродвигатели АДЧР. URL: <https://www.sopteh.ru/product/elektrodivigateli/elektrodivigateli-adchr/> (дата обращения 15.09.2022).
3. Электродвигатели для работы в составе частотно-регулируемого привода. URL: <https://www.ruselprom.ru/products/nizkovoltnye-obshepromyshlennie-elektrodivigateli-Dlja-raboty-v-sostave-chastotno-reguliruемого-privoda/> (дата обращения 15.09.2022).
4. Электродвигатели ЭЛРЕ (ДАР). URL: <https://www.xn----7sbfedebzbzdrkbi5bmwkezhiw8r1a.xn--p1ai/category/dvigatel-chastotnogo-regulirovanija-elre/> (дата обращения 15.09.2022).
5. Электродвигатель АДЧР/ URL: <https://energomashs.ru/motors/adchr/> (дата обращения 15.09.2022).

УДК 621.313

А. Р. ЮЛДАШЕВ, А. В. ЛОБАНОВ

*artur.yul@mail.ru*

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А. В. ЛОБАНОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены основные типы ветроэнергетических установок малого и среднего диапазона мощностей. Выявлены преимущества применения синхронных генераторов на постоянных магнитах.

*Ключевые слова:* электрический генератор; автономная электростанция.

Актуальность автономного электроснабжения с различной степенью остроты ощущается многими владельцами загородного жилья. Одних не устраивает неустойчивость работы электросетей в своем населенном пункте – перебои в снабжении или нестабильное напряжение не дают возможности с полным комфортом пользоваться современными приборами. У других и вовсе нет возможности в ближайшей перспективе подключиться к ЛЭП. Третьих настораживают постоянно растущие тарифы, и они, мысля на перспективу, хотят снизить свою зависимость от энергоснабжения, чтобы очередные удорожания не сказывались чувствительно на семейном бюджете. Наконец, ширится круг домовладельцев, которые и вовсе мечтают обрести полную независимость в вопросах энергообеспечения своих владений.

Источники энергии для автономного электроснабжения можно разделить на две группы:

1. К первой можно отнести электрические генераторы, имеющие силовой привод и использующие в качестве источника сторонней энергии один из видов топлива – жидкое (бензин или солярка) или природный газ.

2. Ко второй группе отнесем генераторные установки, которые приводятся в действие совершенно бесплатными, природными источниками энергии. К этому определению подойдут ветровые генераторы, солнечные батареи и гидравлические системы.

Колоссальную энергию перемещения воздушных масс (ветра) человек использует с древнейших времен. Достаточно вспомнить парусные корабли или, например, ветряные мельницы. Нашла она применение и ветроэнергетике, причем в некоторых странах эта отрасль поставлена буквально на промышленную основу.

Применяются ветровые установки и для обеспечения электроэнергией частных домов.

По сути, такая установка представляет собой обычный генератор, на оси ротора которого установлена крыльчатка с лопастями, приводимыми во вращение потоком воздуха. Как вариант – на ось ротора вращение передается посредством той или иной кинематической схемы (редуктора) – смысла это не меняет. А расположение оси крыльчатки может быть как горизонтальным, так и вертикальным (рис. 1).



Рис. 1. Компоновка ветрового генератора

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) включают себя следующие элементы конструкции:

- ветродвигатель;
- система трансмиссий;
- система генерации и преобразования электрической энергии;
- башня и фундамент.

Взаимодействуя с потоком ветра, ротор ВЭУ преобразует кинетическую энергию потока воздуха в механическую энергию на валу ротора ВЭУ. Механическая энергия передается через трансмиссию на ротор электрической машины. Далее электрогенератор преобразует механическую энергию в электрическую. Выходные параметры генератора контролируются преобразователем энергии.

Для обеспечения максимального КПД вся система устанавливается на башне, которая позволяет вынести ротор на необходимую высоту, для получения максимальной скорости ветра.

ВЭУ малого (10-100 кВт) и среднего (100-500 кВт) диапазона мощностей условно делят на следующие типы:

- ВЭУ с применением асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором;
- ВЭУ с применением асинхронного генератора с двойным питанием;
- ВЭУ с применением синхронного генератора с обмоткой возбуждения;
- ВЭУ с применением синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов.

Асинхронные генераторы с короткозамкнутым ротором используют в установках малой мощности. Основным преимуществом является экономическая составляющая. Основным недостатком является потребление реактивной мощности, рост которой происходит пропорционально вырабатываемой активной мощности. Соответственно, для корректной работы необходимо иметь регулируемый источник реактивной мощности.

В асинхронном генераторе с двойным питанием ротор снабжается энергией из сети, что позволяет эксплуатировать генератор на скорости выше и ниже синхронной скорости. Частота, генерируемая инвертором, накладывается на частоту вращающегося поля ротора, для того чтобы полученная суммированная частота осталась постоянной вне зависимости от частоты вращения ротора. Данный генератор может работать на требуемом коэффициенте мощности. К

плюсам относится возможность работы на переменных оборотах и отдельное управление активной и реактивной мощности. К недостаткам относится сложная система управления.

ВЭУ на основе синхронного генератора подключается напрямую в сеть, компенсация реактивной мощности не требуется. К недостаткам относится потеря синхронизма при сильных порывах ветра, также возникают трудности синхронизации частоты тока генератора с частотой сети.

Основным плюсом синхронного генератора на постоянных магнитах (СГПМ) является отсутствие необходимости питания обмотки возбуждения, что повышает КПД системы. Также появляется возможность применения прямоприводных схем трансмиссии, что повышает надежность. Однако из-за стоимости магнитов, данные типы генераторов нашли свое применение только в машинах малой мощности до 100 кВт. Также к минусам данной системы относят худшее регулирование, так как выходное напряжение не контролируется частотой возбуждения (рис. 2).

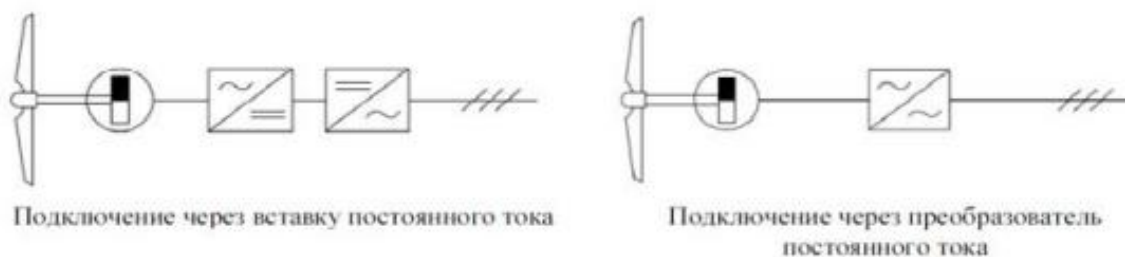


Рис. 2. ВЭУ с применением синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов

Синхронный генератор с возбуждением от постоянных магнитов обладает высокой надежностью и малыми габаритами. Применение современных высококоэрцитивных магнитов позволяет достичь высокого значения КПД и лучших массогабаритных показателей, однако сдерживающим фактором применения СГПМ с высококоэрцитивными магнитами является их относительно высокая стоимость.

Важной особенностью СГПМ является сложность в регулировке и стабилизации выходного напряжения. Стабилизация осуществляется за счет внедре-

ния в цепь конденсаторов, которые позволяют регулировать реактивную мощность. Реактивная мощность изменяется за счет изменения реактивного тока конденсаторов, пропорционально изменению напряжения, путем изменения времени открытого состояния полупроводниковых ключей, подключенных к конденсатору.



Рис. 3. СГПМ мощностью 160 кВт

Таким образом, выявлены преимущества применения синхронных генераторов на постоянных магнитах в ВЭУ:

- высокие энергетические показатели
- надежность;
- простота эксплуатации;
- массогабаритные показатели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автономные электростанции для загородного дома: виды, схемы и цена [Электронный ресурс] URL: <https://stroyday.ru/stroitelstvo-doma/elektroxozyajstvo/avtonomnye-elektrostancii-dlya-zagorodnogo-doma.html> (дата обращения 09.09.2022).
2. Харитонов В. П. Автономные ветроэлектрические установки. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.
3. Ветроэнергетические установки в системах автономного электроснабжения: монография / Никитенко Г.В., Коноплёв Е.В., 2008. – 152 с.

М. Ю. ЯНТУРАЕВ, А. И. МАНЗУРОВ, Д. А. ГЛУМОВ  
*yanturaev\_makar@mail.ru, manzurov.artur@icloud.com, glumov00@gmail.com*  
Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. Ф. Р. ИСМАГИЛОВ

*Уфимский государственный авиационный технический университет*

## **СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРЫ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИНТЕГРАЦИИ НА ВАЛЫ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**Аннотация.** В данной статье проведен краткий обзор стартер-генераторов с возможностью интеграции на валы авиационного двигателя. Рассмотрены основные требования, предъявляемые к электрической машине, преимущества и недостатки внедрения на валы ГТД. Предлагается концепция архитектуры электроснабжения ЛА. В качестве примера приведена система электроснабжения Boeing 787 (новейший более электрический самолет).

**Ключевые слова:** авиационный двигатель, стартер-генератор, вспомогательная силовая установка.

Стартер – очень важное устройство, позволяющее осуществлять запуск двигателя. На данный момент в большей части ГТД для запуска двигателя используется стартер с редуктором. Такой механизм обеспечивает максимально быстрый запуск, но наряду преимуществами имеет свои недостатки.

### ***Недостатки использования стартер-генераторов с редукторами***

В качестве стартеров используют двигатели постоянного тока параллельного, последовательного или смешанного возбуждения (посл.+парал). Применение смешанного возбуждения вызвано стремлением увеличить момент на валу на первом этапе запуска. Режим работы стартеров кратковременный. В период запуска вал электростартера через редуктор соединяется с валом ГТД. Когда ГТД начинает работать самостоятельно, необходимо ГТД и стартер разъединить, так как их связь приводила бы к износу стартера. Поэтому в промежутках между запусками механическая связь стартера и ГТД отсутствует. Задачу соединения и разъединения стартера и ГТД выполняет или центробежная, храповая муфта или роликовая обгонная муфта. Принцип их действия основан на том, что пока ведущая часть муфты вращается быстрее, чем ведомая, она контактирует с ней и увлекает ее за собой. Когда ведомая часть начинает вра-

щаться быстрее, механический контакт между частями муфты прекращается, и момент от ведомой части к ведущей не передается.

Основными недостатками данного технического решения являются:

- большая масса коробки передач;
- большие габариты коробки передач;
- сложность технического обслуживания;
- низкий КПД;
- низкая надежность;
- повышенный расход топлива;
- снижение аэродинамики ЛА.

### ***Стартер-генераторы с возможностью интеграции на валы двигателя***

Рассматриваемый стартер-генератор сконструирован так, что его вал ротора выполнен единым с валом газотурбинного двигателя, причем на валу установлены постоянные магниты с чередующимися полярностями и различными допустимыми рабочими температурами, а в пазах статора расположена полюснопереключаемая обмотка. Способ управления рассматриваемым стартер-генератором состоит в уменьшении числа активных полюсов в режиме работы генератором, тем самым снижая частоту вырабатываемого тока. А в режиме работы стартером число активных полюсов увеличивается, обеспечивая при этом достаточный пусковой момент, при автоматическом под воздействием температуры размагничивании или намагничивании постоянных магнитов на роторе в зависимости от режима работы стартер-генератора. Технический результат состоит в обеспечении стабильной работы интегрированного стартер-генератора в температурном режиме до 450°C за счет автоматического уменьшения числа полюсов при превышении допустимой рабочей температуры и переходе в режим генератора и, наоборот, увеличении числа полюсов при снижении рабочей температуры ниже допустимой и переходе в режим стартера.



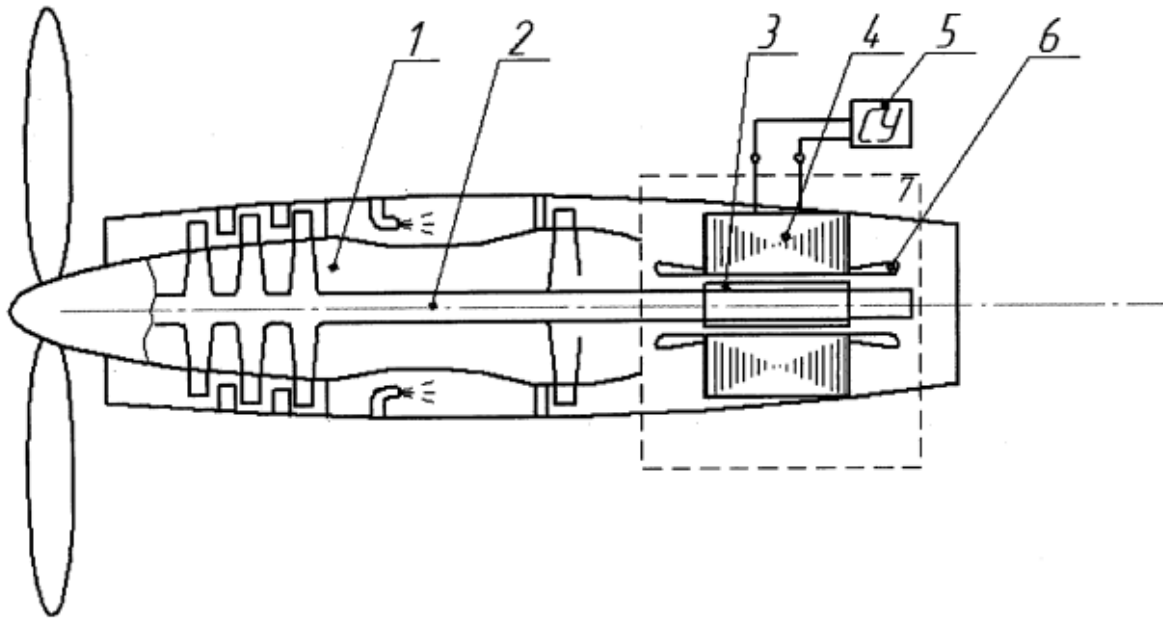


Рис. 1. Общий вид стартера-генератора, интегрированного в АД:  
 1 – газотурбинный двигатель; 2 – вал ГТД; 3 – постоянные магниты;  
 4 – статор стартера-генератора; 5 – система управления;  
 6 – полюснопереключаемая обмотка; 7 – стартер-генератор

Предложенное устройство работает следующим образом: стартер-генератор разгоняет вал газотурбинного двигателя до пусковой частоты вращения, при достижении которой в камере сгорания создается расход воздуха и давление, достаточное для надежного воспламенения топлива и вступления в работу турбины, т.е. на этапе воспламенения топлива температура воздуха стартер-генератора равна температуре окружающего воздуха (до плюс 50°С в условиях тропического климата).

Интеграция стартера-генератора на валы авиационного двигателя позволяет:

- обеспечить электрозапуск АД;
- снизить эксплуатационные затраты АД;
- минимизировать габаритные размеры АД и повысить электрификацию всего ЛА без значительного увеличения массогабаритных показателей;
- заменить гидравлическую обвязку авиационного двигателя на более быстродействующую электрическую;

- повысить аэродинамику АД;
- вырабатывать электроэнергию АД в режиме авторотации;
- снижение уровня шума АД;

Основные требования, предъявляемые к стартеру-генератору интегрированного на вал АД:

- возможность надежной эксплуатации при температурах окружающей среды от 150°С до 250°С;
- возможность работы в стартерном (двигательном) режиме;
- перспективная мощность до 0,8–1 МВт;
- максимальный КПД (более 90%);
- максимальная надежность;
- минимальные массогабаритные показатели;
- технологичность конструктивной схемы;
- высокая прочность при механических, тепловых и электромагнитных нагрузках и перегрузках;
- значительный ресурс, долговечность, живучесть и безопасность;
- самовозбуждение;
- качество вырабатываемой СГ в генераторном режиме электроэнергии при работе в составе канала генерирования должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 54073-2010 и *MIL STD 704IE*;
- при возникновении аварийной ситуации в СГ, аварийная ситуация должна быть в нем локализована и не оказывать влияния на процессы в АД.

### ***Стартер-генератор, интегрированный в ВСУ***

ВСУ (вспомогательная силовая установка) – это одновальный газотурбинный двигатель малой мощности. ВСУ обеспечивает запуск АД, используется для обеспечения работы системы кондиционирования, выработки электроэнергии для обеспечения ВС на аэродроме и при выходе из строя основной системы электроснабжения.

Электрическая машина, интегрированная в ВСУ, должна обеспечивать возможность работы в режиме двигателя (стартер-генератора), так как это позволит обеспечивать электрозапуск АД.

Электрозапуск АД осуществляется следующим образом. От аккумуляторной батареи запускается СГ ВСУ и раскручивает его ротор до выхода на необходимые обороты согласно циклограмме, представленной ниже на рисунке 2.

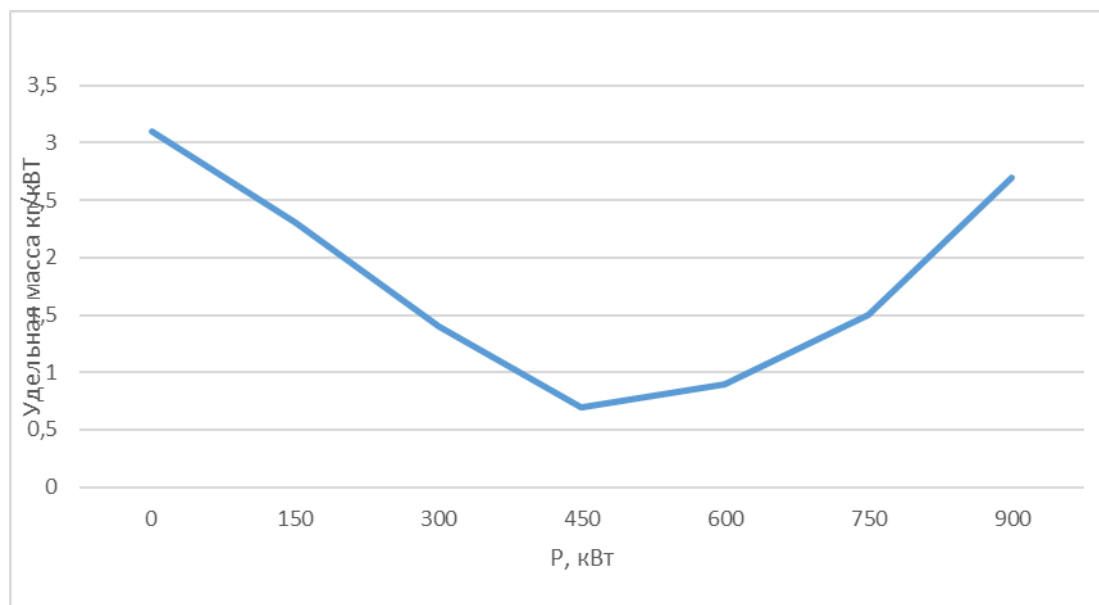


Рис. 2. Циклограмма

После этого СГ ВСУ переходит в генераторный режим и питает СГ, установленный на *HPS*.

При отказе от редуктора между ВСУ и СГ частота вращения вала ВСУ составляет 50000–60000 об/мин, исходя из этого, можно сформулировать основные требования, предъявляемые к СГ, интегрированного на вал ВСУ:

- максимальный КПД (более 90%);
- минимальные массогабаритные показатели;
- высокая прочность при механических, тепловых и электромагнитных нагрузках, возможность эксплуатации при повышенных вибрациях;
- частота вращения ротора 50000–60000 об/мин;
- самовозбуждение;

– качество вырабатываемой СГ в генераторном режиме электроэнергии при работе в составе канала генерирования должно соответствовать требованиям *MIL STF 704IE*.

Для оценки эффективности предложенной концепции, представляется целесообразным сравнить ее системой электроснабжения *Boeing 787* (новейшим более электрическим самолетом).

Система ЭС *Boeing 787* имеет 4 основных генератора мощностью по 250 кВт установленных через редуктор на вал высокого давления и два генератора установленных через редуктор в ВСУ мощностью по 225 кВт.

Данная система работает следующим образом: СГ ВСУ (частота вращения 12000 об/мин) запускает через редуктор ВСУ, после чего СГ ВСУ переходя в генераторный режим питает основные СГ (12000 об/мин), которые через редуктор запускают АД.

В схеме *Boeing 787*, по сравнению с предложенной нами имеются 3 редуктора, каждый на два СГ, в том числе на СГ ВСУ. Масса данных редукторов может достигать 30–40 кг. Масса ВСУ совместно с генераторами, редукторами и их системой управления составляет 505–520 кг. Масса СГ мощностью 250 кВт соединенных через редуктор с основным двигателем и их системы управления, системы возбуждения составит 140 кг каждый. То есть масса двух СГ и масса редуктора находится в пределах 320 кг на один ОАД. Тогда полная масса энерговырабатывающих узлов *Boeing 787* (ВСУ и 4 СГ ОАД с их системами управления) составит около 1160 кг.

Масса элементов по предлагаемой нами схеме, определяется следующим образом: 2 СГ мощностью 150 кВт с частотой вращения 12000 об/мин, их система управления массой 75 кг каждый на один ОАД, на два ОАД-150 кг. Масса двух интегрированных ЭГ на вал низкого давления (ЭГ с постоянными магнитами мощностью 250 кВт массой по 70–75 кг каждый, а также масса их системы управления по 60–65 кг), полная масса системы составит на два ОАД 280 кг, масса ВСУ с интегрированным высокооборотным ЭГ мощностью 450 кВт со-

ставит 477 кг. Полная масса системы предлагаемой нами составит 1077 кг, что практически на 100 кг ниже массы системы *Boeing 787*. При этом снижение массогабаритных показателей предлагаемой нами СЭС может быть достигнуто за счет еще большего снижения массы генератора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кавагино А., Ли З., Тенкони А., Вашето С. Встроенный генератор для получения дополнительной энергии двигателя. // Операции на промышленных приложениях 2013 Т. 49, №
2. Вавилов В. Е., Исмагилов Ф. Р., Хайруллин И. Х., Каримов Р. Д. Высокотемпературные электромеханические преобразователи энергии с возможностью интеграции в авиационный двигатель перспективы и проблемы создания // Авиакосмическое приборостроение. 2015. Т. 9. № 9. С. 48–56 [Vavilov V. E., Ismagilov F. R., Khairullin I. H., Karimov R. D., " High- electromechanical energy converters with the possibility of integration into the aircraft engine. the prospects and problems of creation " (in Russian), in Aerospace Instrument Vol. 9, no. 9, pp. 48–56, 2015].
3. Герасин А. А., Чуянов Г. А., Хайруллин И. Х., лов В. Е. и др. Имитационная модель высокоскоростного авиационного магнитоэлектрического генератора // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013660109 от 24.10.2013.
4. Исмагилов Ф. Р., Хайруллин И. Х., Якупов А. М., Вавилов В. Е. Методика критериального выбора материала магнитопровода статора электромеханических преобразователей // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2014617266 от 16.07.2014.
5. Исмагилов Ф. Р., Хайруллин И. Х., Минияров А. Х., Вавилов В. Е. Автоматическое оптимальное проектирование высокоскоростных электрических машин с высококоэрцитивными постоянными магнитами // мы для ЭВМ № 2014617339 от 17.07.2014.