

# **РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**



**СЕДЬМАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,  
ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО И СВЯЗИ**

**Сборник трудов  
(Тамбов, 11–12 мая 2022 г.)**

**Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2022**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»**

**ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

# **РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

**СЕДЬМАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО**

**Сборник трудов  
(Тамбов, 11–12 мая 2022 г.)**

*Научное электронное издание*



---

**Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2022**

УДК 621.396.6

ББК з844-02

P15

Редакционная коллегия:

Д. Ю. Муромцев – ответственный редактор,

Т. И. Чернышова – зам. ответственного редактора,

С. П. Москвитин, А. П. Пудовкин, С. В. Фролов, Н. Г. Чернышов

P15 **Радиоэлектроника.** Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс] : сборник трудов Седьмой всероссийской молодежной научной конференции / под ред. Д. Ю. Муромцева и др. ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные 9,0 Мб ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2491-6 (VII)

ISBN 978-5-8265-2360-5 (VI)

ISBN 978-5-8265-2162-5 (V)

ISBN 978-5-8265-2081-9 (IV)

ISBN 978-5-8265-1921-9 (III)

ISBN 978-5-8265-1730-7 (II)

ISBN 978-5-8265-1556-3 (общ.)

Представлены тезисы докладов и статьи участников Седьмой всероссийской молодежной научно-практической конференции «Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития», в которых раскрываются вопросы проектирования радиоэлектронных систем различного назначения на всех стадиях производства, генерации сигналов, приема и передачи различной информации по каналам связи, развития и применения радиоэлектроники в медицине и биомедицинской технике, а также отмечается роль радиосвязи в годы Великой Отечественной войны.

Предназначен студентам, молодым исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

УДК 621.396.6

ББК з844-02

*Материалы предоставлены в электронном варианте, организаторы конференции и редакция ответственности за содержание предоставленных авторами материалов не несут.*

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком. Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-1556-3 (общ.)

ISBN 978-5-8265-2491-6 (VII)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2022

## **ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ «КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ»**

---

---

Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» (КРЭМС) образована в 1981 году в Тамбовском институте химического машиностроения (ныне – Тамбовский государственный технический университет) в связи с острой потребностью в инженерных кадрах по электронике и радиосвязи в научно-исследовательских организациях и на промышленных предприятиях Тамбовского региона (приказ Минвуза РСФСР № 625-1 от 30.11.1981 г.).

Первый выпуск инженеров по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» состоялся в 1987 году.

Основателем и первым заведующим кафедрой стал кандидат технических наук, доцент Юрий Леонидович Муромцев (1934 – 2008), защитивший в том же



**Юрий Леонидович Муромцев (1934 – 2008)**

1981 году диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук, а в скором времени и ставший профессором. Впоследствии Ю. Л. Муромцев, возглавлявший кафедру вплоть до 2007 года, внесет огромный вклад в становление и развитие кафедры, станет Заслуженным деятелем науки и техники Российской Федерации, действительным членом нескольких академий наук, членом редколлегий научных журналов и членом региональных специализированных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций, имеющим сертификат Европейского преподавателя.

Результаты исследований, полученные профессором Ю. Л. Муромцевым и его учениками, получают широкое признание не только в нашей стране, но и за рубежом. О масштабе проделанной им работы на благо кафедры и в целом университета свидетельствуют: награждение орденом «Знак почета», учреждение специальной вузовской стипендии его имени и открытие памятного барельефа профессору на одном из зданий университета, расположенном по ул. Советской, д. 116.

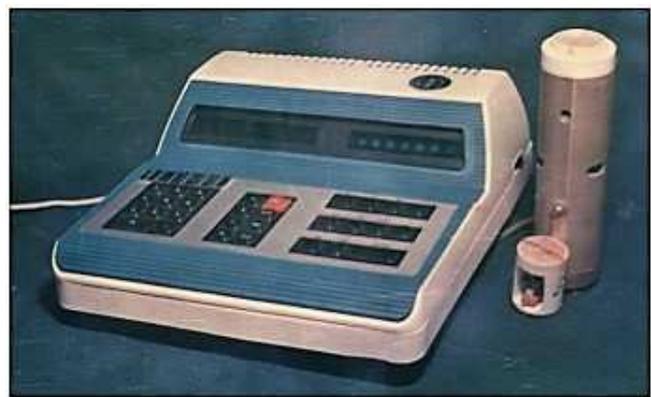
В 1986 году разработанный на кафедре авторским коллективом (Ю. Л. Муромцев, В. Н. Чернышов, Е. И. Глинкин, З. М. Селиванова, В. И. Ляшков и Б. Г. Варфоломеев) микропроцессорный измерительный прибор «Термис»



**Коллектив кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» (КРЭМС)**



**Космический корабль  
«Буран»**



**Микропроцессорный измерительный  
прибор «Термис»**

отмечен серебряной медалью ВДНХ и дипломом Международной Федерации Космонавтики за использование в космической программе «Буран».

В 2003 году молодым ученым научной школы Д. Ю. Муромцеву, Н. А. Кольтюкову, А. А. Кабанову, В. В. Орлову за разработку проекта «Алгоритмическое и программное обеспечение автоматизированных систем энерго-сберегающего управления», выполненного под руководством профессора Ю. Л. Муромцева, Указом Президента Российской Федерации присуждена Государственная премия России в области науки и техники.





В этот период кафедра развивает международное научно-образовательное сотрудничество с немецкой фирмой ZILA-Elektronik. Студенты и аспиранты кафедры проходят стажировку в Германии на данном предприятии.

Юрием Леонидовичем Муромцевым создана научная школа «Информационные технологии энергосберегающего управления сложными системами на множестве состояний функционирования». Основными научными направлениями являются энергоэффективность и энергоресурсосбережение, оптимальное энергосберегающее управление, разработка информационно-измерительных и информационно-управляющих систем. Научная школа активно развивается, по настоящее время на кафедре регулярно проводятся семинары аспирантов и молодых ученых «Научно-методические проблемы проектирования информационно-измерительных и управляющих систем».

С 2007 по 2015 год кафедру возглавляет доктор технических наук, профессор Муромцев Дмитрий Юрьевич, далее ставший проректором ТГТУ по научной работе. За этот период кафедра динамично продолжила свое развитие на основе того научного и образовательного фундамента, который заложил ее основатель.



Профессорско-преподавательский состав кафедры совместно со студентами и аспирантами участвует в выполнении различных госбюджетных и хоздоговорных работ по научным исследованиям. Только в 2007 – 2010 годы за научные исследования получены гранты: Президента РФ для государственной поддержки молодых ученых – докторов наук «Теоретические основы энергосберегающего управления динамическими многомерными объектами» (Д. Ю. Муромцев), Международный грант с немецкой фирмой ZILA-Elektronik (Ю. Л. Муромцев), Российского фонда фундаментальных исследований на издание книги «Теоретические основы энергосберегающего управления» (Ю. Л. Муромцев, Д. Ю. Муромцев) и др.

В 2010 году на II съезде Российской инженерной академии руководитель научно-исследовательской лаборатории кафедры профессор З. М. Селиванова за разработку Интеллектуальной информационно-измерительной системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов удостоена диплома лауреата Всероссийского конкурса в области науки и техники, награждена медалью «Инженерная слава» и включена в Высший Инженерный Совет России.

На кафедре проходят обучение иностранные студенты из Вьетнама, Китая, Иордании, Палестины, Замбии, Намибии, Конго, Экваториальной Гвинеи и других стран. Часть из них после защиты выпускных квалификационных работ продолжают обучение в аспирантуре.



### **Зоя Михайловна Селиванова и Николай Генрихович Чернышов**

С 2015 года и по настоящее время заведующим кафедрой КРЭМС является кандидат технических наук, доцент Николай Генрихович Чернышов.

Кафедра входит в состав Института энергетики, приборостроения и радиоэлектроники и является профилирующей по направлениям подготовки бакалавров:

- 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (профиль «Системы радиосвязи и радиодоступа»);

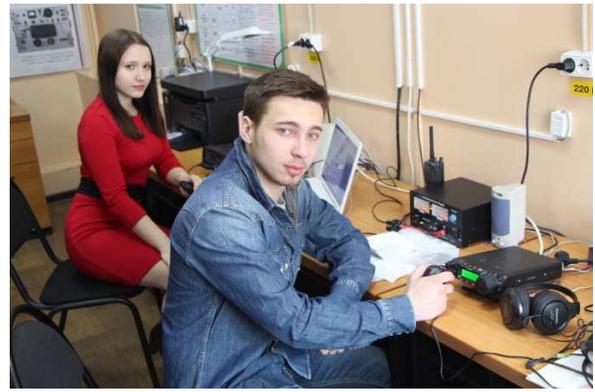
- 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств»);

и направлениям подготовки магистров:

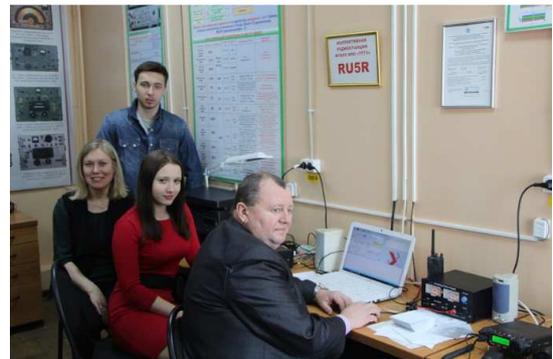
- 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (программы магистратуры: «Искусственный интеллект и анализ больших данных в обработке изображений»; «Сети, системы и устройства телекоммуникаций»);

- 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств» (программа магистратуры «Информационные технологии проектирования электронных средств»).

Профессорско-преподавательский состав кафедры – 14 человек, в том числе: докторов наук, профессоров – 9 человек, кандидатов наук – 5 человек.



В 2015 году на базе кафедры КРЭМС состоялось открытие коллективной радиостанции ТГТУ RU5R, приуроченное к 50-летию университета. Коллективная радиостанция принимает активное участие в соревнованиях по радиоспорту на КВ- и УКВ-диапазонах. Операторы станции – студенты кафедры КРЭМС неоднократно становились победителями и призерами соревнований по радиоспорту. Антенный комплекс радиостанции, наряду с антеннами КВ- и УКВ-диапазона, включает в себя спутниковую антенну на С- и Ku-диапазоны, диаметром 5 м, с возможностью автоматической настройки на спутник в азимутальной и горизонтальной плоскости.



В 2017 году на кафедре создано студенческое конструкторское бюро «Радиоэлектронные и микропроцессорные системы», на базе которого студенты под руководством преподавателей занимаются разработками стендового и лабораторного оборудования, воплощают в жизнь свои творческие идеи.



На протяжении последних нескольких лет кафедрой реализуются программы академической мобильности между государственным университетом «Дубна» и Тамбовским государственным техническим университетом, а также программа Школа молодого инженера с учащимися школ и колледжей г. Тамбова.

Студенты кафедры КРЭМС неоднократно становились стипендиатами правительства Российской Федерации.

На протяжении ряда лет кафедра выигрывала все конкурсы и принимала участие в реализации программы «Развитие системы подготовки кадров для оборонно-промышленного комплекса» совместно с региональными промышленными предприятиями кластера ОПК.



В 2016 году на кафедре КРЭМС состоялось открытие Центра коллективного пользования «Радиоэлектроника и связь». Центр оснащен уникальным радиоизмерительным оборудованием и специализированным программным обеспечением. Средства на создание и оснащение ЦКП выделило Министерство образования и науки РФ, поддержав заявку университета, поскольку на кафедре есть все необходимые условия – кадровый и научный потенциал, налаженное сотрудничество с оборонно-промышленными предприятиями региона. Основными направлениями деятельности Центра являются проведение фундаментальных и прикладных исследований в области построения перспективных средств радиосвязи, выполнение договоров по заказам промышленных предприятий региона, в том числе оборонно-промышленного комплекса, целевая подготовка, переподготовка и повышение квалификации специалистов, базирующиеся на новейших достижениях в области проектирования и разработки средств радиосвязи.



В 2018 году при поддержке ПАО «МТС» на кафедре открыта Лаборатория «Телекоммуникационные системы». Следует особенно отметить, что директором Тамбовского филиала ПАО «МТС» на данный период являлся выпускник кафедры КРЭМС А. А. Мудрецов.



Кафедра продолжает активное участие в международных проектах. Эти проекты направлены на повышение качества инженерного образования, подготовку преподавателей инженерных дисциплин и (TEMPUS, ERSMUS+). Кафедра сотрудничала с фирмой National Instruments в образовательной и научной областях. На базе кафедры специалистами фирмы National Instruments проводились семинары «NI Days».

В 2018 году на территории кафедры создан Учебно-научный полигон «Специальные радиотехнические системы». Техническое обеспечение полигона включает в себя радиорелейные, проводные и оптические каналы связи, конфигурируемые на платформе Cisco, базовые станции, антенные системы, приемопередающие устройства. Полигон объединяет в себе технические средства лабораторий кафедры.



В июне 2020 на кафедре «КРЭМС» состоялось открытие Центра цифровых технологий «Ростелеком», созданного совместно с ПАО «Ростелеком». В Центре реализована модель городской сети передачи данных ПАО «Ростелеком», а также программные и аппаратные средства среды «Умный дом». Проект «Центр цифровых технологий» реализован в рамках трансформации индустриальной модели ПАО «Ростелеком» и цифровой ВУЗ «ТГТУ», создаваемый для поддержки и развития направления «Кадры для цифровой экономики», реализуемого в рамках национального проекта «Цифровая экономика» и будет выступать драйвером по отработке, внедрению и коммерциализации передовых цифровых технологий на мощностях ПАО «Ростелеком».



С момента своего основания кафедра тесно взаимодействует с региональными предприятиями сферы радиоэлектроники связи. В настоящее время сетевое взаимодействие осуществляется с предприятиями-партнерами: АО «Тамбовский завод «Октябрь», АО Тамбовский завод «Ревтруд», филиал ФГУП «РТРС» «Тамбовский областной радиотелевизионный передающий центр», филиал ПАО «Мобильные ТелеСистемы», Тамбовский филиал ПАО «Ростелеком», Тамбовский филиал ПАО «Мегафон». Данные предприятия являются базовыми для прохождения студентами производственной и преддипломной практик.



Последние годы на кафедре активно развивается проектная деятельность. Под руководством своих наставников (доцентов О. А. Белоусова и Р. Ю. Курносова) студенты занимаются разработкой перспективных приемно-передающих комплексов, использующих технологии 4G и 5G. Проектные команды студентов кафедры КРЭМС со своими разработками заняли призовые места на всероссийских конкурсах, а также получили гранты на развитие и продвижение своих идей.

Кафедра КРЭМС долгие годы занимает лидирующие места в университете по подготовке кадров высшей квалификации, учебно-методической деятельности и научно-исследовательской деятельности.

Кафедра продолжает свое активное развитие, создаются новые центры, лаборатории, развивается научная составляющая. За прошедшие с момента создания 40 лет кафедрой было подготовлено более 4000 студентов, магистрантов, аспирантов и докторантов. И впереди еще много целей и задач.

**Секция 1**  
**РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

---

---

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ  
ЗА СЧЕТ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ  
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ**

**Ф. С. Рыжов, А. В. Гараев**

**Московский государственный технический университет**

**им. Н. Э. Баумана, Россия, Москва**

(e-mail: feodor.sergeevich@yandex.ru)

После открытия эффекта преобразования солнечного света в электрическую энергию в 1948 году в лаборатории «Bell Laboratories», технология Фотовольтаика активно развивалась. Уже в 1958 году Соединенные Штаты Америки запустили искусственный спутник Земли, для электропитания которого использовались солнечные панели (СП). Стало понятно, что СП обладают уникальными свойствами как источник питания для электронной аппаратуры и предпочтительны для использования в определенных ситуациях [1].

На пути развития увеличения способов использования и расширения географии применения СП стоит очень сложная проблема повышения эффективности СП. Одним из аспектов эффективности СП является их надежность. Даже самая современная и должным образом используемая СП не будет давать необходимой мощности в случае ее неисправности. Неисправность СП – это, как правило, следствие неисправности солнечных батарей (СБ) в ее составе. Проблему усугубляет то обстоятельство, что СБ в СП соединены последовательно и через них протекает общий ток, и в этом случае неисправность одной СБ приводит к неудовлетворительной работе всех СП [2].

Неисправность СБ может наступить в нескольких случаях, но чаще всего это или ее деградация в процессе эксплуатации, или физические повреждения. Деградация СБ – вещь неплохо изученная и хорошо прогнозируемая, а вот физическое повреждение – менее прогнозируемый фактор и может возникнуть не только в процессе эксплуатации, но и в процессе производства, доставки или сборки СП из СБ. К сожалению, порча СБ в процессе транспортировки – часто встречающееся явление, и не всегда можно визуально отличить исправную СБ от испорченной (поврежденной или бракованной при производстве) [3]. Для входного контроля СБ при сборке СП на кафедре ИУ-4 «Проектирование и техноло-

гия производства электронной аппаратуры» авторами был разработан простейший стенд (рис. 1) и проведен эксперимент.

Для эксперимента было отобрано 100 СБ, размером 30×25 мм, из которых планировалось собрать СП для робота с характеристиками генерируемого тока 1 В и 85 мА.

Все солнечные батареи были визуально исправны, не имели трещин или сколов. Проведенный эксперимент, результаты которого представлены на рис. 2, показал, что 18 СБ из 100 не отвечают заявленным производителем требованиям и являются бракованными.

Использование такой СБ приведет к неэффективной работе всей СП и устройства, питаемого от нее. Для обеспечения эффективной работы СП и электронных устройств с их применением необходимо организовать входной контроль используемых СБ.



Рис. 1. Стенд для проверки СБ

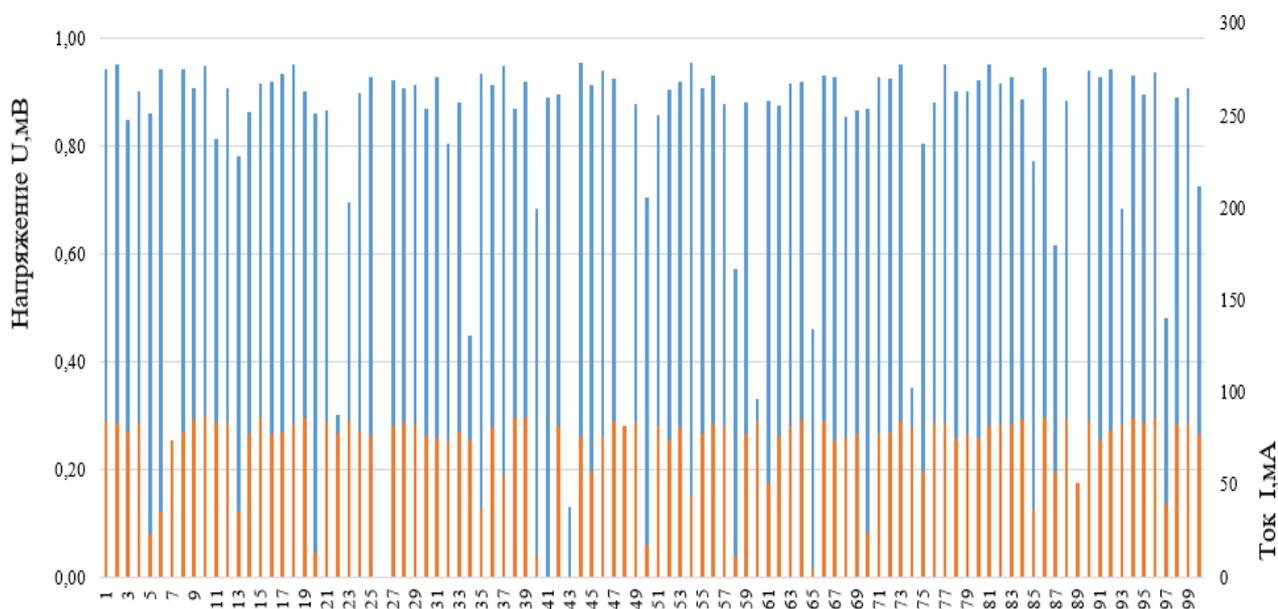


Рис. 2. Показатели тока и напряжения генерируемого СБ

## Библиографический список

1. Yergin, D. The Quest: Energy, Security and the Remaking of the Modern World. – New York : Penguin Books, 2012.
2. Селиванов, К. В. Автоматическое позиционирование панели солнечных батарей и слежение за направлением максимального потока света // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия Приборостроение. – 2021. – № 2(135). – С. 115 – 132.
3. Яковенко, А. А. Энергоэффективность солнечных панелей на малых космических аппаратах типа CubeSat / А. А. Яковенко, К. В. Селиванов // Датчики и системы. – 2020. – № 11(252). – С. 11 – 18.

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛА ПОСРЕДСТВОМ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА РАДИОВОЛНОВОГО ДАТЧИКА

**С. Н. Данилов, Е. В. Карелина, А. Е. Медведев**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: plabz@mail.ru; katyunya\_karelina@mail.ru; artyombrown12@gmail.com)

Целью проведения операционного контроля качества продукции является своевременное выявление и предотвращение пропуска несоответствующей продукции на последующие операции или передачи потребителю, обеспечение стабильного уровня производства продукции, а также повышение эффективности производства путем сокращения непроизводительных затрат.

На практике достаточное распространение получил радиочастотный и ультразвуковой контроль, как обладающие высокой чувствительностью и экологичностью. Такие методы позволяют проводить контроль свойств ленточного материала непосредственно на движущейся полосе.

Радиоволновой метод позволяет находить поверхностные дефекты (преимущественно неметаллических материалов). Используются сантиметровый и миллиметровый диапазоны длин волн. Метод помогают исследовать тонкие металлические листы, проволоку, толщину защитных, диэлектрических покрытий.

Точность измерения толщины покрытия часто зависит от точности выдерживания заданного расстояния между датчиком и лентой, что в условиях производства обеспечить непросто из-за вибраций различного характера рис. 1.

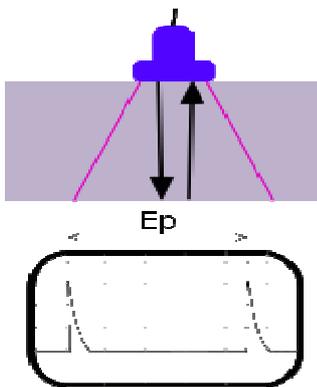


Рис. 1

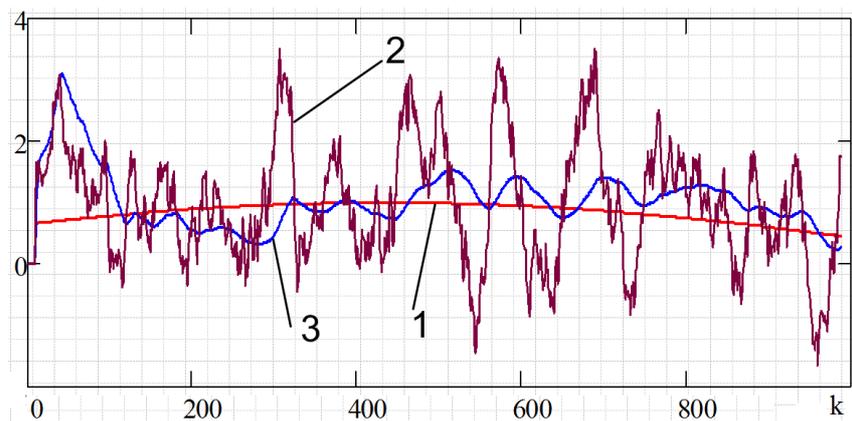


Рис. 2

Для снижения величины погрешности измерения возможна вторичная обработка сигнала с выхода датчика (первичного измерителя) с помощью оптимального линейного алгоритма фильтрации параметров динамической линейной системы при наличии зашумленных наблюдений. Этот фильтр находит широкое применение в технических системах.

В рассматриваемом случае был синтезирован двухмерный линейный фильтр на основе модели вида

$$\begin{cases} d(k+1) = d(k) + v(k)T; \\ v(k+1) = (1 - \alpha T)v(k) + \xi(k), \end{cases}$$

где  $d$  – толщина покрытия;  $v$  – скорость изменения толщины покрытия при движении ленты относительно датчика;  $\alpha$  – размерный коэффициент,  $\xi_k^{(i)} \sim N[\xi_k^{(i)} | \mu_k^{(i)}, Q_k^{(i)}]$  – белый шум с гауссовской плотностью вероятностей.

В результате такой обработки выходного сигнала датчика погрешность значительно снизилась (рис. 2). На рисунке обозначено: 1 – истинное изменение измеряемой величины; 2 – изменение измеряемой величины, оцененное датчиком; 3 – оценка измеряемой величины на выходе фильтра.

Таким образом, применение вторичной обработки синтезированным фильтром обеспечивает снижение погрешности примерно в 2,5 раза.

### Библиографический список

1. Чернышова, Т. И. Информационная технология оценки метрологической надежности информационно-измерительных систем с учетом влияния внешних факторов / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Материалы VI Международн. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, 2019. – С. 172–173.

2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, С. П. Москвитин // Journal of Physics : Conference Series. – Vol. 1015, Is. 3, article id. 032112. – P. 1.

4. Панасюк, Ю. Н. Метод повышения точности третичной обработки информации с применением динамических весовых коэффициентов / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин, А. И. Рогачев // Вестник ТГТУ. – 2017. – № 4. – С. 595–596.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЫ КРЕМНИЙ-НА-ИЗОЛЯТОРЕ (КНИ) LDMOS-ТРАНЗИСТОРА ДЛЯ СИЛОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

**М. Р. Гусев, В. В. Макаrchук**

**Московский государственный технический университет**

**имени Н. Э. Баумана, Россия, Москва**

**(e-mail: M1chaelG@mail.ru)**

Применение высоковольтных МОП-транзисторов, выполненных с использованием конструкции LDMOS (Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductor), может найти широкое применение в автомобильной и потребительской электронике, а также в электронике специального назначения, в частности, в аппаратуре радиосвязи и радиолокации. Так, высоковольтные МОП-транзисторы с конструкцией LDMOS имеют наилучшие характеристики по ряду параметров, среди которых: коэффициент усиления по мощности  $K_{ур}$  (15...30 дБ в зависимости от диапазона рабочих частот), коэффициент полезного действия, электрическая и тепловая стабильность, устойчивость к рассогласованию нагрузки, высокая линейность, уровень максимально допустимой рассеиваемой мощности и надежность [1].

Технология изготовления полупроводниковых приборов кремний-на-изоляторе (КНИ) имеет следующие преимущества в сравнении с традиционной планарно-эпитаксиальной технологией изготовления интегральных микросхем:

- меньший ток утечки при работе при высоких температурах;
- меньшая потребляемая мощность;

– меньшая паразитная емкость, обеспечивающая лучшие частотные характеристики схемы.

Названные преимущества обеспечили широкое распространение технологии КНИ в современных СБИС.

В данной работе представлена приборно-технологическая модель перспективной структуры транзистора, в которой объединена технология КНИ и конструкция LDMOS.

Такая структура представляет собой планарный МОП-транзистор с протяженной слаболегированной областью, называемой дрефтовой. Структура LDMOS-транзистора, выполненного по технологии КНИ, представлена на рис. 1. Структура получена в среде приборно-технологического моделирования Sentaurus TCAD.

На рисунке линиями показано распределение потенциала в структуре. Разница напряжений между соседними линиями составляет примерно 2,7 В, напряжение на затворе 5 В, напряжение пробоя сток-исток имеет величину порядка 50 В, толщина заглубленного окисла 0,15 мкм. Моделирование проводилось для температуры окружающей среды +25 °С.

Следует отметить, что разработка высоковольтных структур сопряжена с некоторыми технологическими трудностями. В частности, для увеличения эффективности дрефтовой области необходимо использовать подложки с большими толщинами заглубленного окисла и отсеченного кремния [2], что, в свою очередь, требует пересмотра всего технологического маршрута формирования СБИС. Для обеспечения напряжения пробоя сток-исток выше 20 В, при использовании подложки с небольшой толщиной окисла, как показано на рис. 1, требуется тщательно подбирать концентрацию примеси в дрефтовой области

Применение таких структур в силовой части интегральных микросхем вместе с стандартными КНИ МОП-транзисторами в цифровой и аналоговой частях схемы открывает широкие возможности перед разработчиками СБИС. На основе представленной в данной работе приборно-технологической модели создана компактная модель высоковольтного LDMOS-транзистора, которая может быть использована на этапе схемотехнического проектирования СБИС.

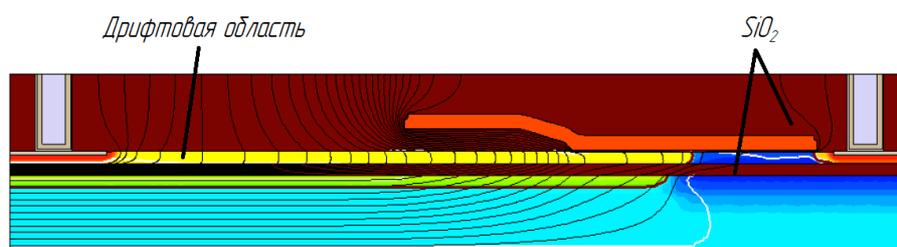


Рис. 1. Структура КНИ LDMOS *n*-канального транзистора

## Библиографический список

1. Мощные СВЧ LDMOS транзисторы АО «НИИЭТ» для средств радиосвязи и радиолокации / В. Кожевников, В. Дикарев, В. Горохов, А. Цоцорин // Электронные компоненты. – 2015. – № 4. – С. 60 – 63.

2. Вопросы проектирования LDMOS-транзисторов, работающих при повышенном напряжении питания / А. А. Глушко, С. И. Бабкин, А. В. Амирханов, Л. А. Зинченко, В. В. Макаручук // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2018. – № 3. – С. 93 – 97.

## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В ЭЛЕКТРОНИКЕ

**Н. А. Марышева, В. В. Смирнов, В. П. Жалнин**  
**Московский государственный технический университет**  
**им. Н. Э. Баумана, Россия, Москва**  
(e-mail: [marysheva.na@yandex.ru](mailto:marysheva.na@yandex.ru))

Сегодня самые современные процессоры состоят из нескольких миллиардов транзисторов. С тенденцией минимизации встала проблема ограничения быстродействия микросхем из-за сопротивления металлических связей, входящих в нее элементов. В настоящее время решение возникшей проблемы связывается с заменой металлической связи на оптическую, для которой необходимы излучатели.

Квантовая точка (КТ) – частица размером в несколько нанометров (1... 50 нм) со свойствами полупроводника, представляющего собой квантовую яму. КТ накладывает ограничение по трем измерениям для заряда, помещенного в нее [1 – 3]. На рисунке 1 представлена модель квантовой точки.

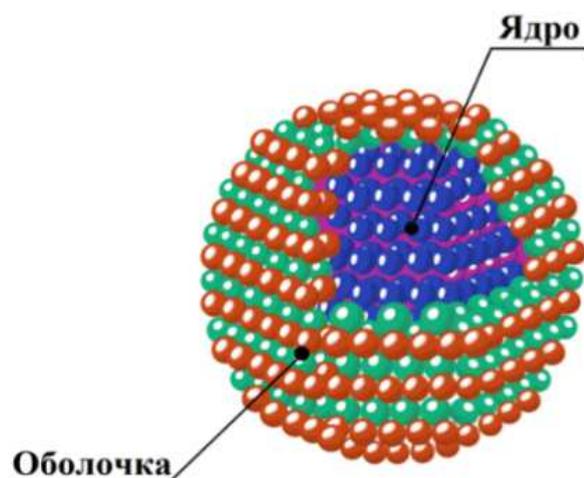


Рис. 1. Структура трехмерной квантовой точки

Свое название они получили из-за того, что при малых размерах у них проявляются дискретные свойства электронов [1]. КТ фактически являются переизлучателями, т.е. они способны поглощать энергию на одной частоте и излучать на другой [4]. Причем частота излучения зависит только от размера квантовой точки. Главные оптические характеристики КТ, благодаря которым они стремительно проникают в разные области науки и техники, являются [5, 6]: высокая яркость флуоресценции, узкий симметричный пик флуоресценции, широкая полоса возбуждения, высокая фотостабильность. КТ получают, используя полупроводниковые материалы, например Si, Ge, PbSe, PbTe и др. [2, 5]. Исходя из свойств КТ, перечисленных выше, возможны следующие области применения КТ.

КТ применяются в качестве одноэлектронных транзисторов, фотоэлементов, светодиодов [1, 4]. Технология производства светодиодов предполагает покрытие синего светодиода квантовыми точками, которые при облучении начинают излучать белый свет, схожий со светом ламп накаливания [4]. Одноэлектронный транзистор представляет собой переключающее устройство, способное соединять или разъединять электрические цепи за счет управления движением одного электрона [1, 6]. Переход к одноэлектронным переключателям предполагает резкое снижение энергопотребления и, соответственно, тепловыделения [1, 6].

*Лазеры.* Электрон в квантовой точке переходит с одного уровня в зоне проводимости на другой в валентной зоне с испусканием фотона с энергией, равной разности энергий уровней размерного квантования [1]. Следовательно, механизм излучения КТ аналогичен механизму излучения в рабочем теле лазера.

*Дисплеи.* КТ применяют в технологии создания дисплеев: Quantum Dot Light Emitting Diodes (QLED). Принцип работы QLED – подсветки для TV-устройств: позади экрана установлена светодиодная подсветка, которая создает неизменный синий световой поток. Этот поток перемещается сквозь слой квантовых точек. Электроны, находящиеся в КТ, при попадании на них светового потока возбуждаются и создают собственное излучение с длиной волны, зависимой от размера КТ. Световые потоки сливаются в белый цвет и проникают на жидкокристаллическую матрицу. В ЖК-матрице происходит передача цветов пикселям и формирование цветов будущего изображения. Телевизоры на основе квантовых точек обладают более приятным для глаз спектральными характеристиками.

## Библиографический список

1. Кульбачинский, В. А. Полупроводниковые квантовые точки / В. А. Кульбачинский // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7, № 4.
2. Смирнов, Е. В. Квантовые объекты нанотехнологий: свойства, применения, перспективы / Е. В. Смирнов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – Вып. 6.
3. Васин, Ю. О. Анализ перспектив применения квантовых точек / Ю. О. Васин, Т. М. Фатхутдинов, Д. П. Трошина // Политехнический молодежный журнал. – 2019. – № 4.
4. Бричкин, С. Б. Коллоидные квантовые точки: синтез, свойства и применение / С. Б. Бричкин, В. Ф. Разумов // Успехи химии. – 2016. – № 12. – С. 1297 – 1312.
5. Наноразмерные структуры: классификация, формирование и исследование / Е. В. Булыгина, В. В. Макаrchук, Ю. В. Панфилов, Д. Р. Оя, В. А. Шахнов // Сайнс-пресс. – 2006.
6. Potential Clinical Applications of Quantum Dots / I. L. Medintz, H. Mattoussi and A. R. Clapp // Int J Nanomedicine. – 2008. – Jun; 3(2). – P. 151 – 167.

## ВЫБОР МОДЕЛИ ВЫСОКОМАНЕВРЕННОЙ ЦЕЛИ

**В. В. Попов, А. А. Иванков**

**Тамбовский государственный технический университет,  
Россия, Тамбов**

(e-mail: vadim.popov.2002@bk.ru; e-mail: ivankov.a.a@bk.ru)

Спектральный анализ маневров воздушных целей, представленный в [1], показывает, что для выделения максимальной энергии сигнала при сопровождении маневрирующей цели необходимы различные математические модели, описывающие параметры ее движения. Из источника [2] известны несколько моделей воздушной цели, в которых способность к маневру характеризуется двумя величинами: дисперсией (максимальной величиной) маневра и интенсивностью маневра.

$$\begin{cases} D(k+1) = D(k) - V(k)T; \\ V(k+1) = V(k) + \sigma(k)a(k)T; \\ a(k+1) = (1 - \alpha T)a(k) + n_1(k), \end{cases}$$

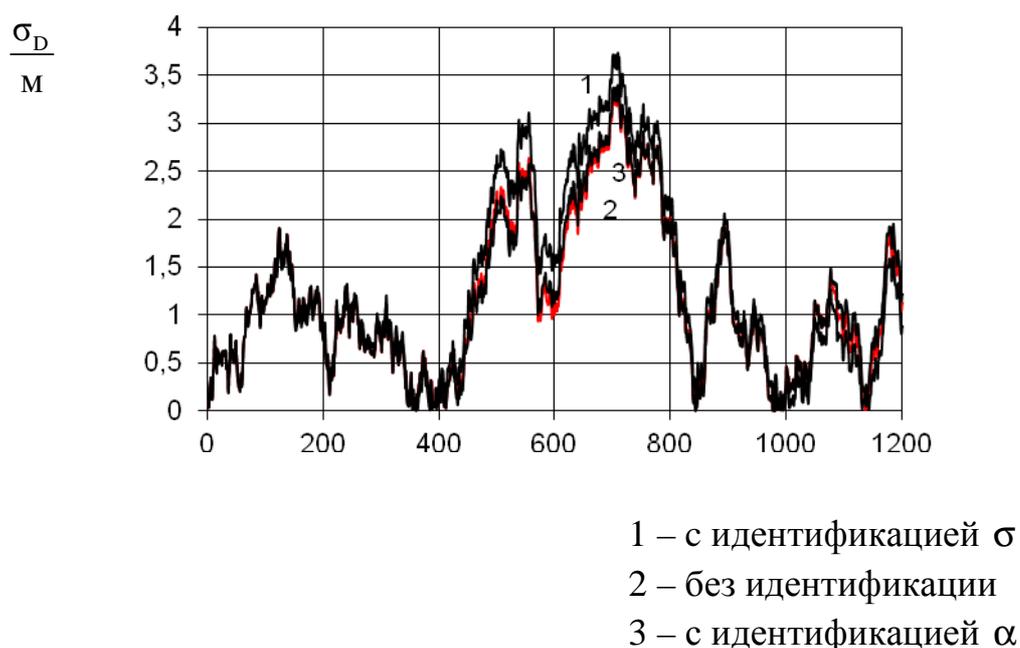
где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение формирующего шума;  $\alpha$  – интенсивность (ширина спектра) изменения измеряемого параметра;  $n_1(k)$  – гауссовский шум.

Для выбора модели сравним точностные характеристики алгоритмов, синтезированных на их основе.

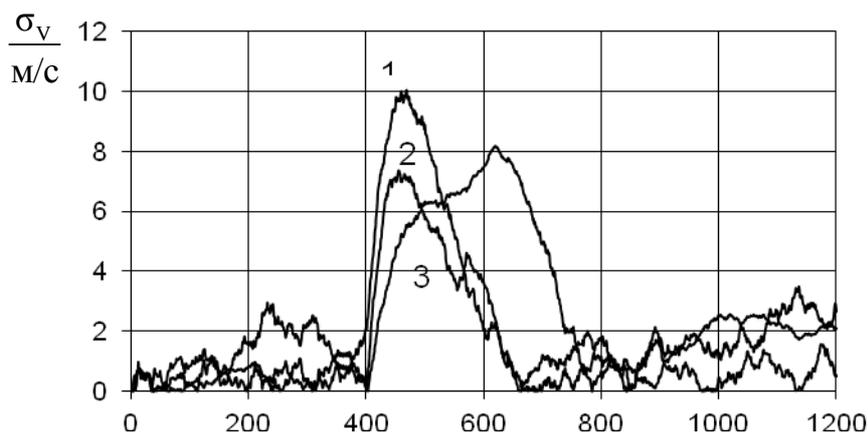
На рисунке 1 представлены графики ошибок оценивания дальности до цели, а на рис. 2 – графики ошибок оценивания скорости сближения с целью для алгоритмов с идентификацией и без идентификации с начальными условиями:  $n_D = 500$  м,  $n_V = 20$  м/с,  $D_0 = 30\ 000$  м,  $V_0 = 300$  м/с.

Как следует из графиков, при движении цели с постоянной скоростью точность слежения алгоритмов соизмерима. При ускорении алгоритмы реагируют одинаково, однако ошибки с идентификацией  $\sigma$  несколько больше. При идентификации  $\alpha$  ошибки наименьшие, так как этот параметр пропорционален  $\sigma$  и учитывает как спектральную плотность случайного процесса, так и интенсивность маневра цели.

Для учета маневров различной интенсивности требуется расширять полосу пропускания следящего фильтра. Однако при этом увеличиваются ошибки оценивания из-за влияния шумов. При узкой полосе повышается вероятность срыва сопровождения. Эта проблема решается выбором адаптивной следящей системы с идентификацией параметров модели состояния цели, имеющей переменную полосу пропускания [3].



**Рис. 1. Графики ошибок оценивания дальности до цели**



1 – с идентификацией  $\sigma$   
 2 – без идентификации  
 3 – с идентификацией  $\alpha$

**Рис. 2.** Графики ошибок оценивания скорости сближения с целью

### **Библиографический список**

1. Иванков, А. А. Спектральный анализ маневров воздушной цели / А. А. Иванков // VI Всероссийская молодежная научная конференция, посвященная дню радио : сборник трудов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – С. 186 – 190.
2. Тихонов, В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. – М. : Радио и связь, 1982. – 470 с.
3. Данилов, С. Н. Алгоритм для дальномера повышенной устойчивости сопровождения высокоманевренных целей с идентификацией дисперсии формирующего шума / С. Н. Данилов, В. А. Малышев, О. В. Орехов // Радиолокация и радиометрия. – 1999. – № 1. – С. 93 – 98.

## **АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ГРУПП УДАРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**В. Н. Гольдштейн, А. Г. Окуньков**

**Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем,  
 Россия, Москва**

**(e-mail: starwars\_98@mail.ru)**

При реализации прорыва противовоздушной обороны (ПВО) противника ударные беспилотные летательные аппараты (БЛА), как правило, действуют группами. Применение группы БЛА приводит к провоцированию контратаки со

стороны зенитного ракетного комплекса (ЗРК), и, как следствие, к быстрому исчерпанию его боевого ресурса и последующей неспособности отражать удары.

Группы БЛА по принципу построения могут быть [1]:

- упорядоченные: группа строится в соответствии с заданным ей алгоритмом управления, который реализуется внутри группы или по командам с пункта управления (ПУ);
- неупорядоченные: порядок построения определяется временем старта БЛА, индивидуальными алгоритмами функционирования и программой полета каждого БЛА.

Упорядоченные группы БЛА могут быть:

- автономными: после старта реализуется заданный при старте или формируемый в процессе полета алгоритм выполнения задачи;
- связанными: после старта реализуется алгоритм, который формируется и контролируется извне – с ПУ.

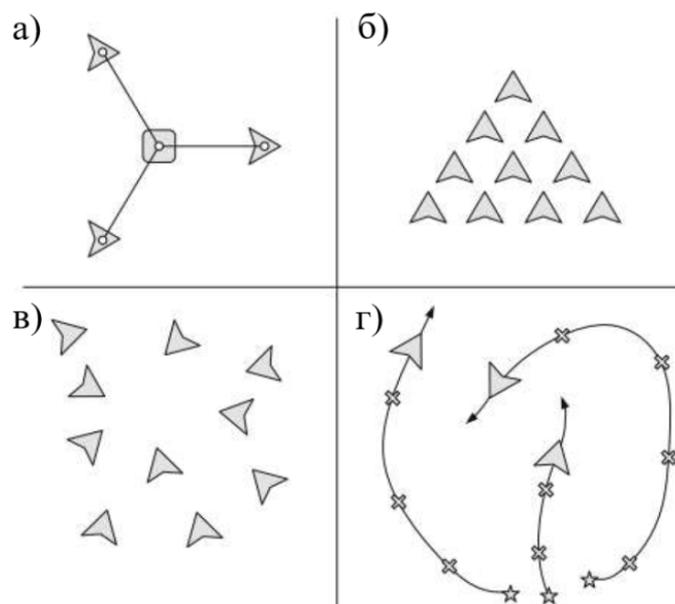
По составу группы БЛА могут быть:

- однородными: в состав группы входят БЛА одного типа и одного функционального назначения;
- неоднородными: в состав группы входят БЛА различных типов и функционального назначения.

По типу взаимодействия БЛА различаются следующие виды построения групп (рис. 1) [2]:

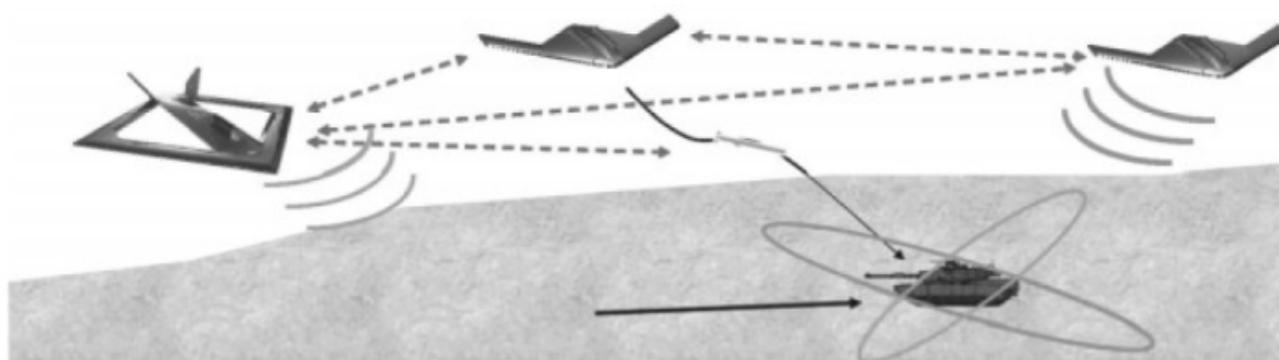
- непосредственное физическое взаимодействие: БЛА соединяются непосредственно между собой и их движение ограничено силами, которые зависят от движения других БЛА. В качестве примера можно привести подъем и транспортирование грузов несколькими БЛА;
- формация: БЛА не соединены между собой физически, но их относительные положения строго заданы для сохранения формы;
- рой: команда из множества БЛА, алгоритмы взаимодействия между которыми обеспечивают коллективное поведение. Результирующее движение группы необязательно представляет собой формацию;
- кооперация: БЛА из группы планируют свое движение в соответствии с индивидуальными задачами, которые должны быть распределены для выполнения задачи более высокого порядка в иерархии системы управления. Эти траектории обычно геометрически не взаимосвязаны, как в случае формаций.

Наиболее распространены группы ударных БЛА – рой и кооперация. Это обусловлено как спецификой решаемой задачи (уничтожение наземных объектов, способных к контратаке), так и особенностями конкретной тактической ситуации.



**Рис. 1. Виды построения группы БЛА:**

*a* – непосредственное физическое взаимодействие; *б* – формация; *в* – рой; *г* – кооперация



**Рис. 2. Совместная атака наземной цели группой БЛА**

Чем выше автономность и неоднородность группы, тем более сложные задачи она может решать.

Рассмотрим типовую схему совместной атаки наземной цели группой БЛА (рис. 2) [3].

В данном сценарии присутствуют 3 БЛА. Первый и третий БЛА оборудованы РЛС с широким сектором обзора. Второй БЛА является носителем ракет с наведением по GPS.

Наиболее сложной задачей в этом случае является точное определение координат наземной цели. Радиус эллипса рассеивания на основе информации радиолокационной станции с широким сектором обзора имеет большое значение, что обуславливает невозможность эффективного применения ракет и гарантированного поражения цели.

## **Библиографический список**

1. Макаренко, С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам : монография / С. И. Макаренко. – СПб. : Наукоемкие технологии, 2020. – 204 с.
2. Maza, I. Classification of Multi-UAV Architectures / I. Maza, A. Ollero, E. Casado // Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. – Dordrecht ; Heidelberg ; New York ; London : Springer, 2015. – P. 953 – 972.
3. Shima, T. UAV Cooperative Decision and Control / T. Shima, S. Rasmussen // Challenges and Practical Approaches. – Philadelphia : Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009. – 368 p.

## **ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА МАНЕВРЕННЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ**

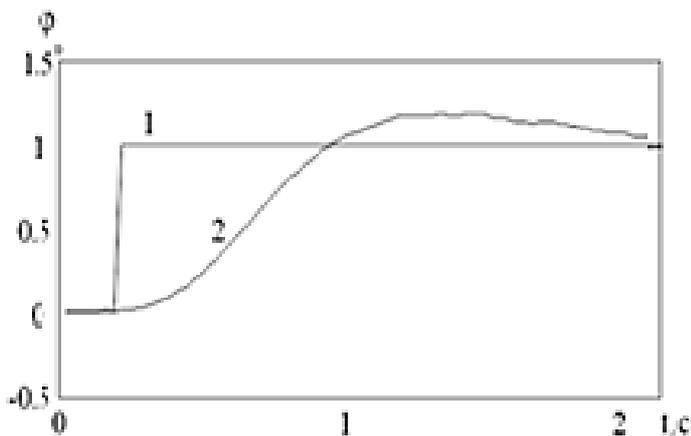
**М. В. Алексеев, В. С. Аистов**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: Alexeew41@gmail.com; Aistov.volk-vovan@mail.ru)

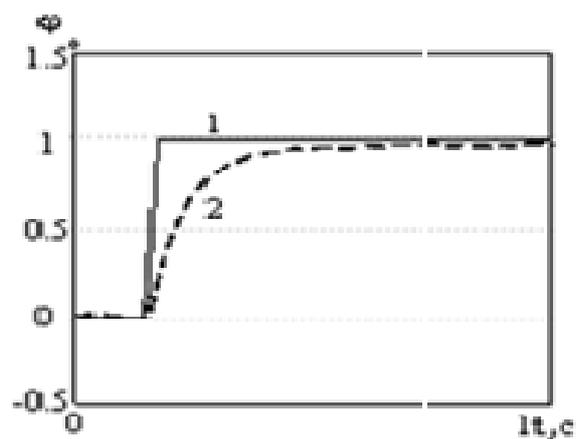
В современных реалиях наиболее остро стоит вопрос быстрого и максимально точного отслеживания координат как пилотируемых, так и беспилотных летательных аппаратов. Все чаще прибегают к использованию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как для гражданских, так и для военных нужд. Такая тенденция обусловлена, в первую очередь, тем, что при возникновении каких-либо внештатных ситуаций, экипаж, управляющий БПЛА, не подвергается опасности.

Современные нововведения в технологию БПЛА позволили сделать их более маневренными, что, в свою очередь, ставит под сомнение использование традиционных методов пеленгации без каких-либо доработок. Так как БПЛА может двигаться и плавно, и маневренно, использование одного универсального фильтра не представляется возможным. Для правильного и быстрого отслеживания как плавно летящего, так и маневренного БПЛА, необходима автоматическая система, состоящая из подсистем с различной структурой. Назначение таких подсистем заключается в обеспечении непрерывного слежения за БПЛА в условиях возможной потери сигнала.

Наиболее простой для рассмотрения является система, состоящая из двух фильтров и блока оценки показаний. Первый фильтр (он же основной) показывает высокую точность при отслеживании координат БПЛА, который движется плавно. Однако относительно большое время переходного процесса исключает



**Рис. 1. Переходная характеристика  
основного фильтра**



**Рис. 2. Переходная характеристика  
второго фильтра**

возможность его использования при отслеживании маневренного БПЛА. Второй фильтр (быстродействующая следящая система) показывает хорошие результаты при слежении за маневренным БПЛА, однако при слежении за плавно движущимся БПЛА имеет достаточно большую флуктуационную погрешность.

Переходные характеристики основного и второго фильтров при воздействии скачкообразного сигнала на входе (рис. 1, 2, кривая 1) представлены на рис. 1 и 2, соответственно (рис. 1, 2, кривая 2).

Именно одновременное использование двух фильтров с последующей оценкой ошибок фильтрации в блоке оценки позволяет увеличить точность и быстродействие системы в целом. Но такой подход не обеспечивает оптимальности алгоритма оценивания по минимуму среднеквадратической погрешности.

Другой подход – синтез следящего фильтра с реконфигурируемой структурой предполагает оптимальность оценок по тому же критерию. Но такой подход требует больших вычислительных затрат из-за необходимости расчета априорной и апостериорной ковариационных матриц погрешностей фильтрации, вероятностей структур, плотностей вероятностей невязок измерения, весовых коэффициентов.

### **Библиографический список**

1. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – Vol. 1015, Is. 3, article id. 032111 (2018).

2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, С. П. Москвитин // Journal of Physics : Conference Series. – Vol. 1015, Is. 3, article id. 032112. – P. 1.

## ЗАЩИТА ЦЕПЕЙ ИНТЕРФЕЙСА CAN

А. А. Кудря, М. И. Колоколов

Московский государственный технический университет

имени Н. Э. Баумана, Россия, Москва

(e-mail: Anton.Kudrya@gmail.com; maxkol12@mail.ru)

Интерфейс CAN используется в транспорте и промышленности для связи агрегатов друг с другом.

Интерфейс CAN подвержен большому количеству всесторонних помех: переключение индуктивных нагрузок, шум систем зажигания и реле, помехи от других агрегатов.

**Скрутка и экранирование** уменьшает наводки посторонних шумов на шине CAN. Но такая защита не обеспечивает безопасность шины CAN от высоковольтных помех [1]. В таких случаях становится целесообразным использование RC, LC цепочек, синфазных дросселей, и TVS-диодов. Пример свивки и экранирования проводов шины CAN приведен на рис. 1.

**RC- и LC-цепочки** представляют собой фильтры низких частот. Они фильтруют помехи по цепям шины CAN, но при этом не обеспечивают защиту от выбросов напряжения. Подключение RC-фильтров показано на рис. 2.

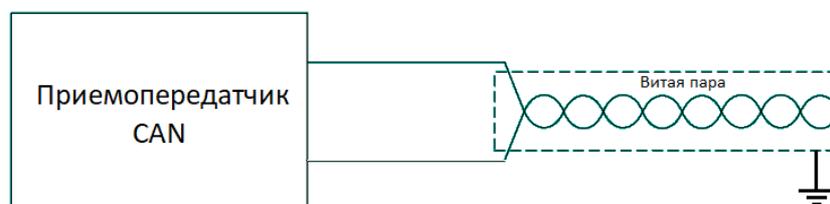


Рис. 1. Свивка и экранирование проводов шины CAN

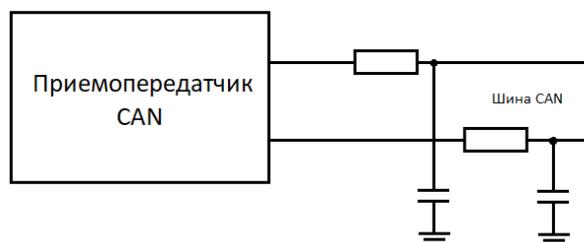
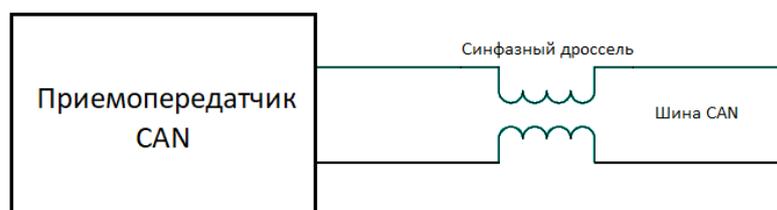
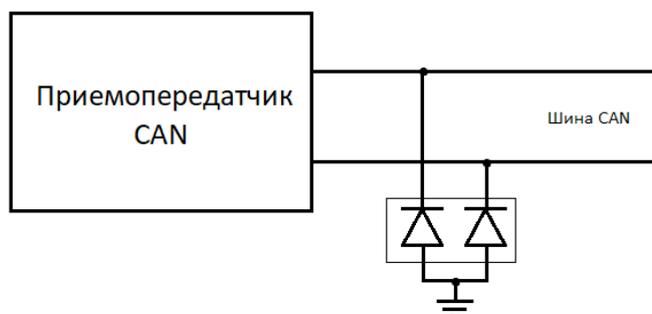


Рис. 2. Подключение RC-фильтров к шине CAN



**Рис. 3. Подключение синфазного дросселя к шине CAN**



**Рис. 4. Подключение TVS-диодов к шине CAN**

**Синфазные дроссели** увеличивают коэффициент подавления синфазного сигнала путем обеспечения высокого импеданса для синфазного сигнала [2].

Синфазные дроссели не вносят помехи в шину CAN. Любое несоответствие индуктивности катушек может привести к искажению дифференциальных сигналов. Пример подключения синфазного дросселя к шине CAN приведен на рис. 3.

**TVS-диоды** шунтируют превышающее напряжение на линиях шины CAN, тем самым защищая цепи приемопередатчиков. TVS-диоды обладают очень высокой скоростью включения, что позволяет им практически мгновенно срабатывать [3]. Часто TVS-диоды изготавливаются парами в одном корпусе, что обеспечивает идентичность их характеристик. Способ подключения TVS-диодов к шине CAN приведен на рис. 4.

Описанные выше способы защиты шины CAN могут объединяться для одновременной фильтрации синфазных помех и защиты от перенапряжения.

### **Библиографический список**

1. Кечиев, Л. Н. Экранирование радиоэлектронной аппаратуры / Л. Н. Кечиев. – 2019. – 722 с.
2. Самарин, А. Синфазные дроссели компании Sumida для поверхностного монтажа / А. Самарин // Новости электроники. – 2014. – № 5.
3. Кадуков, А. TVS-диоды – полупроводниковые приборы для ограничения опасных перенапряжений в электронных цепях / А. Кадуков // Компоненты и технологии. – 2001. – № 1.

# ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ГОРОДСКИХ ЗВУКОВ

Ю. П. Попова, Л. Г. Стаценко

Дальневосточный федеральный университет, Россия, Владивосток

(e-mail: juliya-2562@gmail.com, lu-sta@mail.ru)

*Аннотация:* статья посвящена обзору основных методов классификации городских шумов, которые в дальнейшем будут использоваться для выполнения практической части.

*Ключевые слова:* сигнал, машинное обучение.

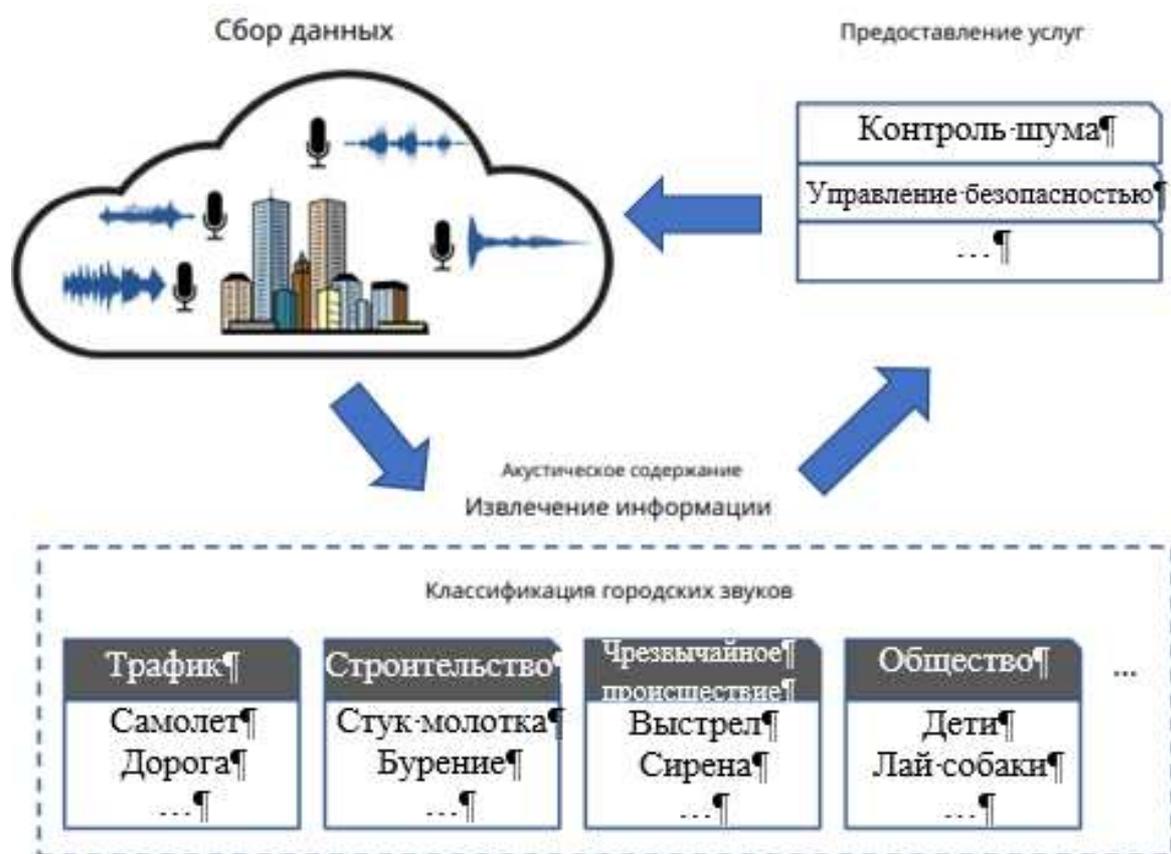
В настоящее время актуален вопрос защиты и безопасности окружающей среды. Звуки описывают контекст нашей повседневной деятельности, начиная от разговоров, которые мы ведем при взаимодействии с людьми; музыки, которую мы слушаем, и всех других звуков окружающей среды, которые мы слышим ежедневно. Распознавание городского шума играет жизненно важную роль в управлении городом и обеспечении безопасности, особенно в инженерии Умного города [1]. В городах звук является ценным источником информации, по которому можно определить как снижение шумового загрязнения, так и систему наблюдения сигналов. Метод классификации звукового содержимого может использоваться для получения информации об источнике шума, которая соответствует уровню интенсивности. Можно провести более эффективную оценку шума, принимая во внимание как уровень шума, так и его тип, что может значительно облегчить управление городским шумом. На рисунке 1 представлена общая основа, которая описывает использование звуковой классификации для удовлетворения информационных потребностей в городах.

Однако задача классификации звуков окружающей среды является сложной, поскольку городская жизнь очень неоднородна, а также существует несколько источников звука разной природы (птицы, сирена, уличная музыка, двигатель автомобиля, плач ребенка и т.д.) и они часто перекрываются.

Существует несколько методов машинного обучения, которые позволяют выполнять классификацию сигналов:

- 1)  $k$ -ближайших соседей ( $k$ -NN);
- 2) метод опорных векторов (SVM);
- 3) нейронная сеть (НС).

Традиционный алгоритм  $k$ -ближайших соседей (англ.  $k$ -Nearest Neighbors algorithm,  $k$ -NN) является одним из старейших и простейших методов классификации образов. Тем не менее он дает конкурентоспособные результаты,



**Рис. 1. Общие основы классификации городских звуков**

а в некоторых областях, при умелом сочетании с предшествующими знаниями, он значительно продвинулся вперед [2].

Метод опорных векторов (МОВ, англ. SVM) – это метод, основанный на оптимизации, разработанный Вапником в 1995 г. для решения задачи классификации [3]. Метод опорных векторов – это мощные, но гибкие алгоритмы машинного обучения с учителем, которые используются как для классификации, так и для регрессии.

Искусственная нейронная сеть (НС) – это вычислительная система, которая широко используется для классификации [4, 5]. Нейронная сеть может состоять из трех типов слоев: входных слоев, выходных слоев и скрытых слоев. Входной слой содержит все возможные признаки или значения параметров. Затем выходной слой содержит все возможные результаты модели с учетом возможных входных данных. Наконец, скрытый слой состоит из переменного количества слоев.

### **Библиографический список**

1. Smales, M. Classifying Urban sounds using Deep Learning. – URL : <https://github.com/mikesmales/Udacity-ML-Capstone/blob/master/Report/Report.pdf>

2. Bianco, M. J. Machine Learning in Acoustics: Theory and Applications 2019 / M. J. Bianco, P. Gerstoft. – URL : <https://www.researchgate.net/publication/33307756>
3. Vapnik, V. Support Vector Machines / V. Vapnik, I. Guyon, T. Hastie // Mach Learn. – 1995/ – No. 20(3). – P. 273 – 297.
4. Environment Sound Classification Using a Two-Stream CNN Based on Decision-Level Fusion / Y. Su, K. Zhang, J. Wang, K. Madani. – Sensors. – 2019.
5. Hidden Markov Model Based Drone Sound Recognition using MFCC Technique in Practical Noisy Environments / L. Shi, I. Ahmad, Y. He, K. Chang // J. Commun. Netw. – 2018. – No. 20(5). – P. 509 – 518.

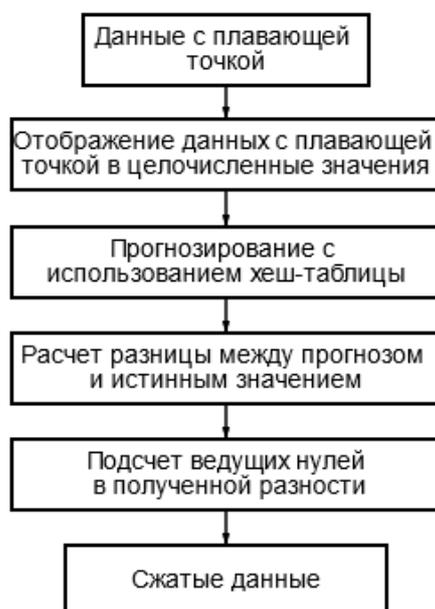
## **АЛГОРИТМ И СИСТЕМНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПРЕССИИ ПОТОКОВ ЧИСЕЛ С ПЛАВАЮЩЕЙ ТОЧКОЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ДАННЫХ**

**М. А. Копаева, А. А. Чусов**

**Дальневосточный федеральный университет, Россия, Владивосток  
(e-mail: [kopaeva.ma@students.dvfu.ru](mailto:kopaeva.ma@students.dvfu.ru))**

Формат чисел с плавающей точкой является способом записи научной информации. При обработке экспериментальных научных данных их передача в несжатом виде может иметь неприемлемо низкую производительность, например, в системах реального времени. Однако универсальные алгоритмы компрессии направлены на увеличение результативности сжатия, а не производительности, поэтому в случаях, когда предъявляются требования к оперативности или энергоэффективности инфокоммуникационных систем, необходимо разрабатывать специальные алгоритмы.

Основные этапы проектируемого алгоритма компрессии отображены на рис. 1.



**Рис. 1. Основные этапы работы алгоритма компрессии**

На первом этапе проводится отображение данных с плавающей точкой в целочисленные значения. На этапе прогнозирования используется предиктор, работа которого основана на использовании хеш-таблицы. Далее с помощью операции «исключающее ИЛИ» рассчитывается разность между прогнозом и истинным значением. Если прогноз близок к истинному значению, то количество ведущих нулей в разности будет большим. На следующем этапе проводится кодирование, результат которого содержит информацию о количестве ведущих нулей и остаточные биты разности.

Вследствие преимуществ объектно-ориентированного подхода к моделированию систем [1] он использован в настоящей работе. На рисунке 2 отображена диаграмма отношений потоков ввода для разработанного алгоритма компрессии.

Входной поток байт Input Byte Stream является основой процесса обработки потоков данных байт-ориентированной машиной (и использующей октет-ориентированные протоколы, например IP). На этой основе выполняется обработка индивидуальных бит данных. Происходит считывание байт из файла, памяти или сети, а после считывания байты необходимо интерпретировать как набор слов и затем подвергать компрессии. Постулируется эквивалентность числа с плавающей точкой двойной точности и восьмибайтового целочисленного слова; поток слов определяется потоком байт.

Буферизация позволяет обеспечить частичное или полное нахождение обрабатываемых данных в памяти с произвольным доступом.

Выходные потоки работают аналогичным образом (рис. 3).

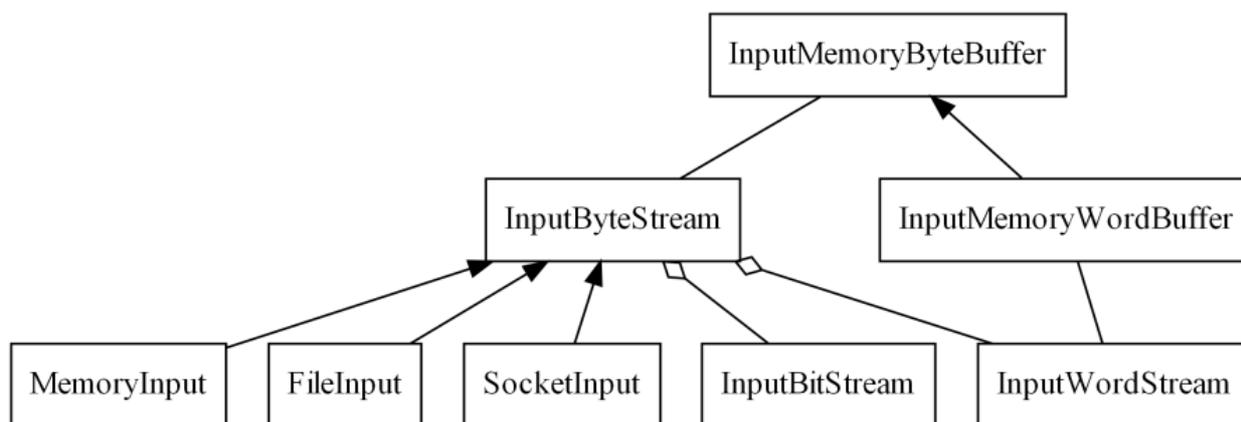
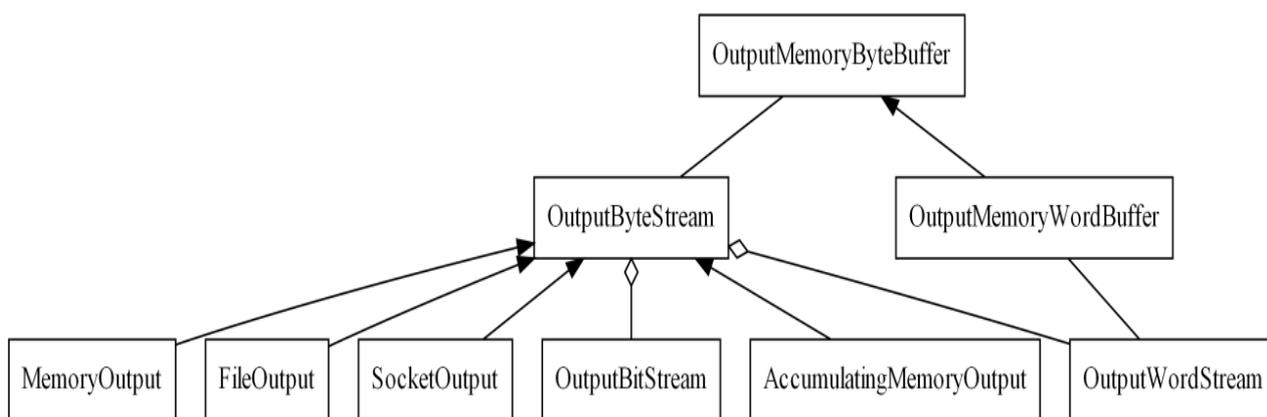


Рис. 2. Диаграмма отношений потоков ввода



**Рис. 3. Диаграмма отношений потоков вывода**

### **Библиографический список**

1. Новиков, Ф. А. Анализ и проектирование на UML : учебное пособие / Ф. А. Новиков. – СПб. : СПбГУИТМО, 2008. – 286 с.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Н. А. Кольтюков, М. А. Крушатина, В. Р. Тернавка, И. Н. Фетисов**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
 (e-mail: [plabz@mail.ru](mailto:plabz@mail.ru))

Актуальным направлением в развитии энергосберегающих технологий является разработка компактных модульных систем, реализующих функции оптимального энергосберегающего управления. Основными задачами при разработке подобных систем являются полномасштабная идентификация объекта на множестве состояний функционирования, разработка математического и программного обеспечения, проектная разработка структурной схемы управления. Анализируя парк современного технологического оборудования, можно сделать вывод, что во многих случаях энергосберегающее управляющее воздействие должно поступать не на единичный приемник энергии, а на совокупность неоднородных приемников. При этом для каждого приемника энергии во многих случаях оптимальное управляющее воздействие будет отличным от управляющего воздействия, подаваемого на другой приемник. Необходимым является также и учет взаимного влияния приемников энергии друг на друга.

Совокупность данных приемников, входящих в один объект управления, можно охарактеризовать как сложную систему, состоящую из ряда подсистем,

обладающих определенной степенью автономности, объединяемых в единую систему посредством внутрисистемных связей. Каждая из подсистем характеризуется своими локальными переменными, значениями которых требуется управлять автономно, в соответствии с локальными подсистемными целями. Вместе с тем для достижения общесистемной глобальной цели, в нашем случае – минимизации энергозатрат, должно осуществляться и некоторое глобальное управление.

В качестве примера подобной сложной системы рассмотрим два объекта – гидравлический вулканизационный пресс и смесительную машину.

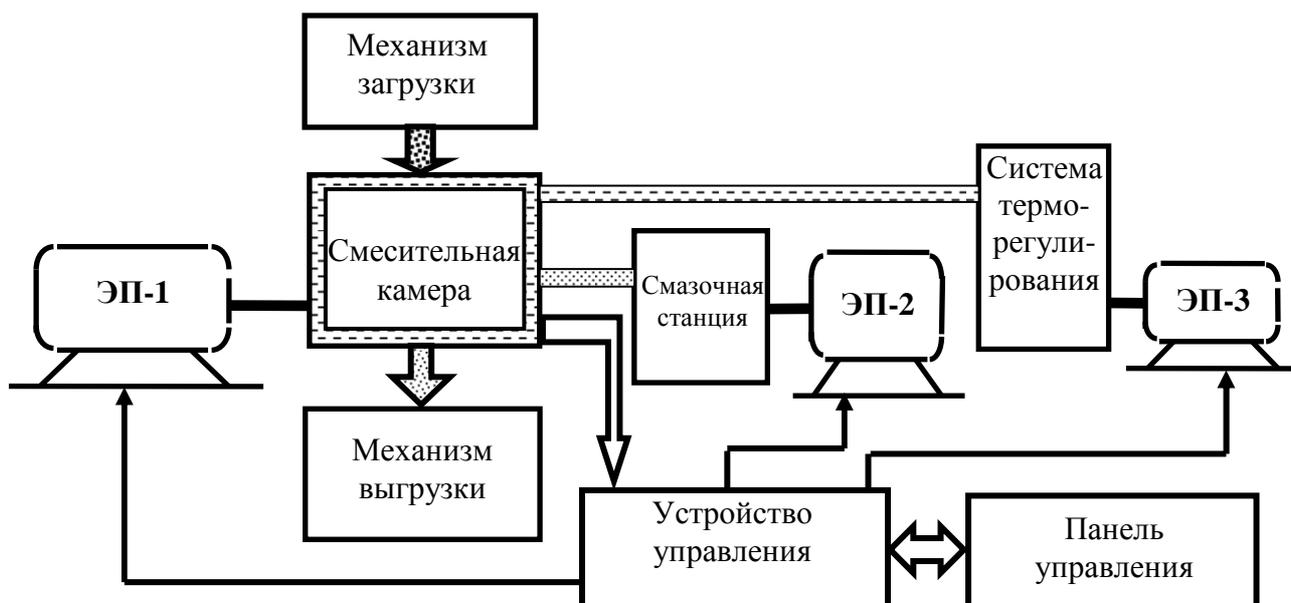
В состав пресса входят несколько нагревательных плит. Задачей энергосбережения на подобном объекте является разработка микропроцессорной системы, реализующей оптимальное энергосберегающее воздействие на каждую из плит, являющихся подсистемами сложной системы, которой является данный объект. Конечной целью является вывод плит на номинальный температурный режим с минимумом затрат энергии.

В случае со смесительными машинами задача усложняется вследствие значительной неоднородности приемников энергии. Данные машины оснащаются двумя основными видами устройств регулирования: полуавтоматическими с ручной установкой частоты вращения и поддержания нужной частоты вращения с невысокой степенью точности, автоматическими, оснащенными более современной схемой регулирования и поддержания заданного числа оборотов. Однако из указанных выше систем управления ни одна не предусматривает оптимального управления, в условиях сильно изменяющихся нагрузок, с минимумом расхода электроэнергии.

С практической точки зрения, также очень важным является определение времени достижения необходимого состояния смеси с теми или иными характеристиками степени смешения.

Однако в силу чрезвычайно сложного характера процесса смешения, когда в элементарном объеме смеси в течение небольшого промежутка времени непрерывно меняются концентрации и распределения компонентов, до настоящего времени не разработана математическая модель, описывающая процессы, протекающие в реальных смесителях. Поэтому время смешения, как правило, находят в каждом отдельном случае экспериментально.

В настоящее время существует несколько способов определения времени окончания процесса смешения. Первый – по заранее известным статистическим данным. Второй – по выходу на заданный режим кривой распорных усилий. Третий – по заданной кривой энергопотребления главного электропривода. Система оптимального управления, представленная на рис. 1, определяет время окончания процесса смешения по двум последним способам одновременно.



**Рис. 1. Схема устройства смесительной машины:**  
ЭП – электропривод

Существенное влияние на время смешения и качество смеси оказывает температура в смесительной камере при уменьшении времени смешения, за счет увеличения скорости роторов, может произойти преждевременная вулканизация и будет получена смесь низкого качества. Температура в камере может регулироваться двумя способами: изменением скорости вращения вала главного электропривода и скорости охлаждающей жидкости.

Установка устройств, реализующих алгоритмы оптимального энергосберегающего управления, на смесительном и прессовом оборудовании позволяет в зависимости от их характеристик экономить электрическую энергию на 15... 20%.

### **Библиографический список**

1. Кольтюков, Н. А. Оптимальное энергосберегающее управление смесительными машинами предприятий по производству и переработке полимерных материалов : дис. ... канд. техн. наук / Н. А. Кольтюков. – Тамбов, 2002. – 174 с.
2. Белоусов, О. А. Энергосберегающее управление группой мощных аппаратов с электронагревом / О. А. Белоусов, Н. А. Кольтюков, Ю. Т. Зырянов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2015. – № 5(65). – С. 27 – 29.
3. Данилов, С. Н. Мультимодельный алгоритм сопровождения со сниженными вычислительными затратами / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективно-

сти в технических системах : сб. тез. докл. 2-й Междунар. конф. с элементами научной школы. Тамбов, 22 – 24 апреля 2015 года. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2015. – С. 304–305.

## **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ С РАЗЛИЧНЫМИ УРОВНЯМИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ**

**Н. Т. Кунин, Р. Р. Шатовкин**

**МИРЭА – Российский технологический университет, Россия, Москва**  
(e-mail: kuninnt@gmail.com)

Развитие современных мобильных устройств (МУ), информационных технологий и пропускной способности каналов связи приводит к постоянному росту потребности в доступе к информации, независимо от того, где находится пользователь. Не являются исключением и корпоративные сети, предоставляющие доступ к инфокоммуникационным услугам и ресурсам с разными требованиями к защищенности данных.

Удаленный доступ с использованием МУ в корпоративных сетях с различными уровнями защищенности подразумевает применение соответствующих систем защиты информации.

Перспективным направлением в этом случае является обеспечение предоставления защищенного доступа абонентам к информации и услугам с разными требованиями к защищенности при использовании МУ.

К предоставляемым услугам относятся: телефонная и видеосвязь с дополнительными видами обслуживания; защищенный электронный почтовый обмен с элементами учета входящих и исходящих документов; видеоконференцсвязь; доступ к базам и банкам данных, сетевым приложениям и информационным ресурсам.

Необходимость предоставления указанного перечня услуг с использованием МУ пользователями позволяет говорить о том, что существует объективная потребность в разработке системы защиты информации, позволяющей обеспечить ее конфиденциальность при своевременном предоставлении доступа к указанному перечню услуг.

Одним из возможных решений данного вопроса выступает система виртуализации МУ – разделение мобильного оборудования на различные логические компоненты и устройства. Благодаря мобильной виртуализации персо-

нальное устройство пользователя может работать в одной операционной системе, а выпущенное компанией устройство может работать в другой, эффективно разделяя деловые и личные данные и способствуя повышению корпоративной безопасности.

Сочетания технологий виртуализации со средствами управления МУ, таких как MDM, может увеличить общий уровень защищенности информации, обрабатываемой МУ.

Научная актуальность темы исследования обусловлена отсутствием единого подхода в использовании средств виртуализации и MDM-систем в вопросе обеспечения защищенности обрабатываемой информации на МУ в рамках корпоративной сети.

Практическая актуальность заключается в разработке научно-технических предложений по практической реализации системы управления безопасностью МУ, повышению вероятности обеспечения защищенности информации при доступе к инфокоммуникационным услугам и информации корпоративных сетей с разными требованиями к защищенности информации.

Цель исследования – обеспечение требуемого уровня защищенности (по показателям доступности и конфиденциальности) информации МУ, заданного политикой безопасности корпоративной сети.

Объект исследования – система защиты информации МУ, используемого в корпоративных сетях с различными уровнями защищенности информации.

Предмет исследования – модели и алгоритмы управления системой защиты информации МУ, используемого в корпоративных сетях с различными уровнями защищенности информации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- провести анализ существующих научных исследований и технических решений по защите информации в МУ, а также способов построения систем защиты информации при доступе к сетям с разными требованиями по защищенности;
- провести анализ существующих средств виртуализации и систем управления МУ;
- разработать структурно-графовую модель противостоящих сторон (нарушитель – система защиты) при попытке несанкционированного доступа к информации, обрабатываемой МУ;
- разработать модели угроз и нарушителя информационной безопасности МУ в составе корпоративной сети;

- разработать теоретико-множественную модель управления системой защиты МУ от утечки информации;
- разработать алгоритм управления системой защиты МУ от утечки информации с использованием средств виртуализации и систем управления МУ;
- разработать систему показателей качества, позволяющую оценить эффективность защиты информации при эксплуатации системы управления безопасностью МУ в корпоративных сетях;
- сформулировать рекомендации по практической реализации и применению полученных научных результатов.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ РЕГИСТРАЦИИ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НИОКР НА ПРЕДПРИЯТИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

**А. А. Левченко, В. В. Пяткин**

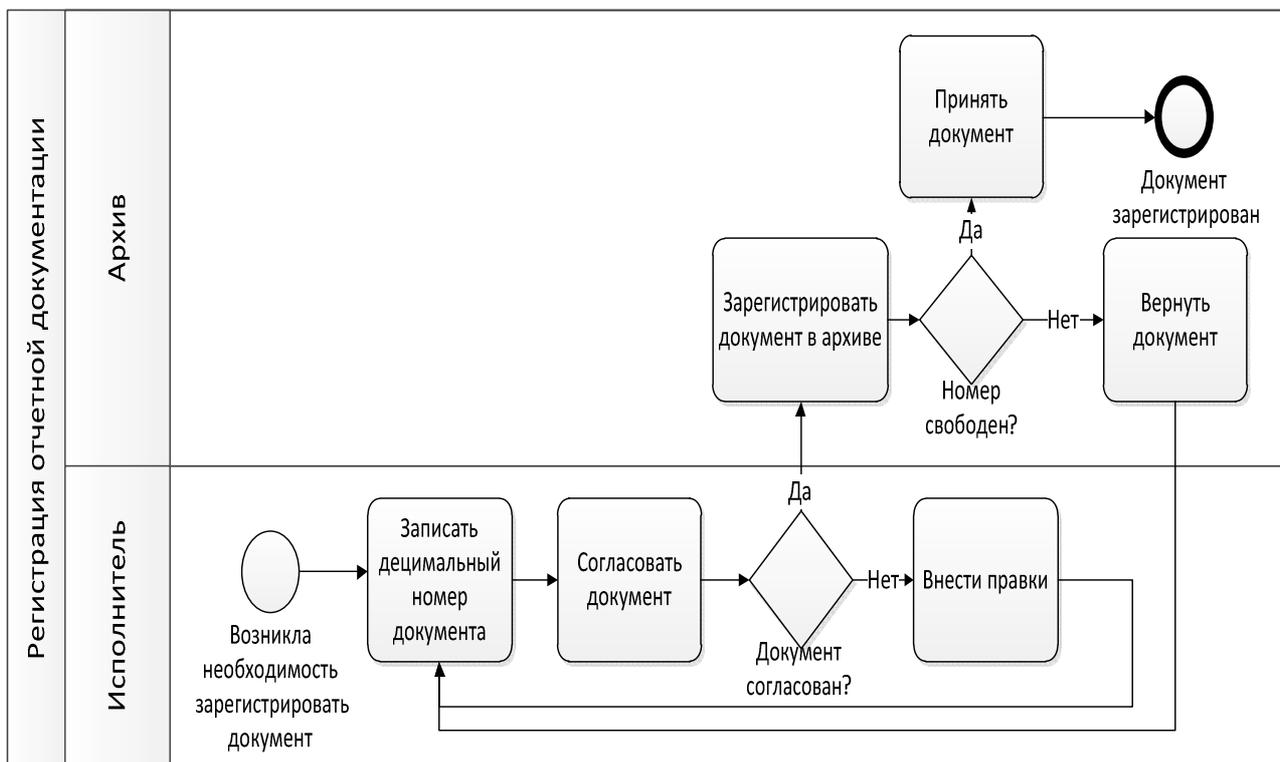
**МИРЭА – Российский технологический университет, Россия, Москва**  
(e-mail: l\_alex97@bk.ru)

Отрасль приборостроения, как сфера промышленности Российской Федерации, характеризуется высокой степенью наукоемкости и технологичности производства. Кроме того, нельзя не отметить, трудность исследовательской и опытно-конструкторской деятельности ввиду сложности конфигурации конечной продукции.

Выполнение НИОКР состоит из нескольких этапов. Под этапом здесь понимается часть работ, проводимых в рамках НИОКР, характеризующаяся определенным полученным результатом, являющаяся объектом планирования и финансирования и подлежащая обособленной приемке [1]. По завершении каждой стадии жизненного цикла продукта должен быть составлен, согласован и зарегистрирован ряд необходимых документов, указанных в ОСТ 9518–2001, а также в техническом задании (ТЗ).

Проектирование системы сопровождения отчетной документации в рамках проведения НИОКР позволит значительно увеличить производительность труда за счет повышения уровня автоматизации ряда процессов исследования и производства, к которым относятся:

- получение десятичного номера документа;
- управление регистрацией отчетной документации;
- управление поставками программной продукции.



**Рис. 1. Бизнес-процесс регистрации отчетной документации AS-IS**

На рисунке 1 приведена схема процесса регистрации отчетной документации в нотации BPMN 2.0 [2].

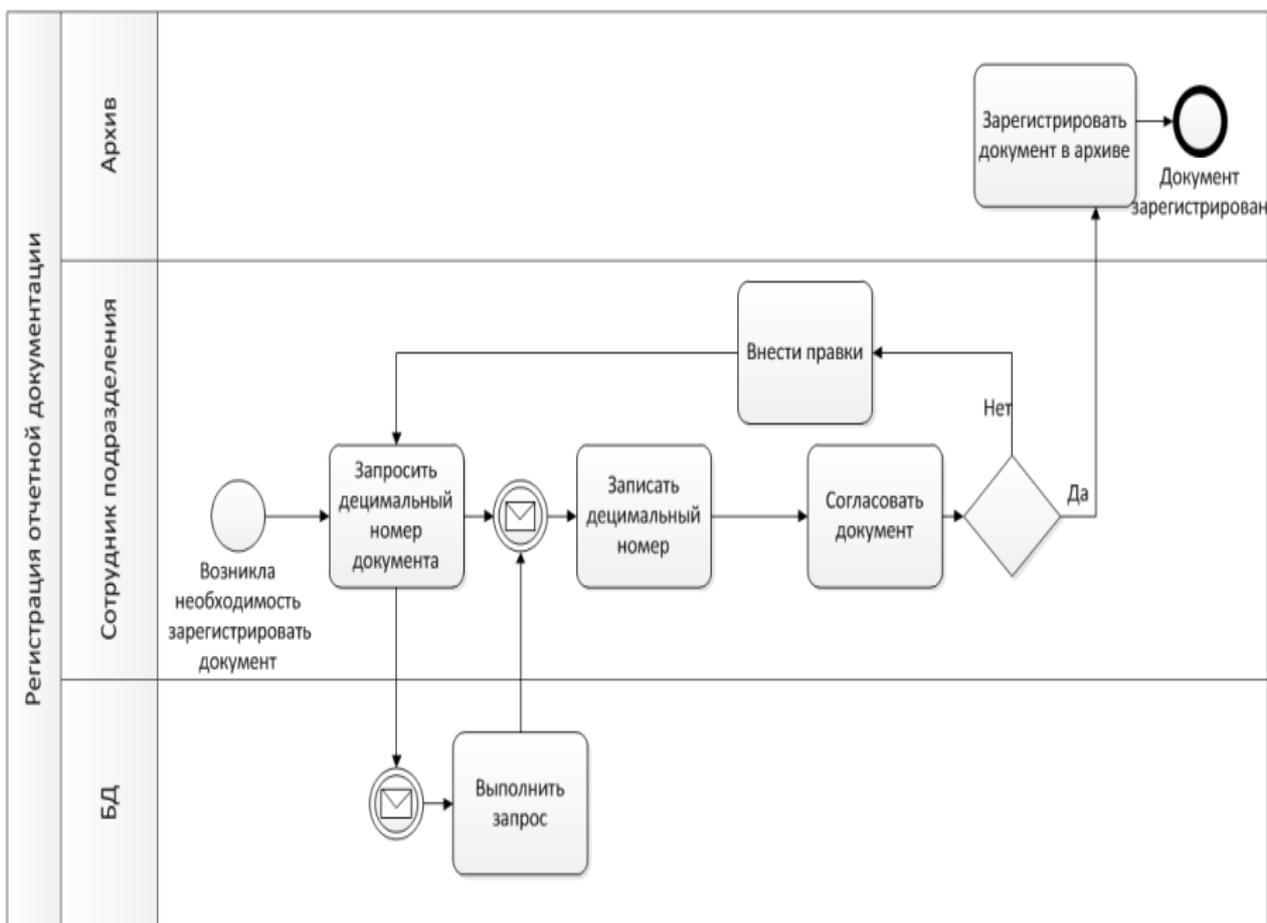
Исполнитель процесса может узнать лишь на заключительном этапе, является ли регистрируемый номер валидным или его уже занял другой сотрудник, что вынуждает его вернуться к началу процесса и проходить его повторно.

Информационная система (ИС) автоматизации регистрации отчетной документации способна решить данную проблему благодаря генерации десятичного номера документа на начальном этапе. Схема такого процесса представлена на рис. 2.

Таким образом, использование ИС позволяет убрать одну из ветвей обратной связи, что значительно увеличивает производительность на этапе регистрации отчетной документации.

На основе анализа вышеперечисленных процессов были сформулированы основные функциональные требования к проектируемой системе:

- разделение прав доступа в системе;
- автоматическое присвоение номера регистрируемому документу;
- просмотр информации о документе;
- поиск документа по заданным параметрам; учет документации в рамках одной поставки;
- учет документации и поставок в рамках одной работы.



**Рис. 2. Бизнес-процесс регистрации отчетной документации ТО-ВЕ**

### Библиографический список

1. Куркова, О. П. Организация и планирование научно-технических исследований и разработок : монография / О. П. Куркова. – СПб. : Научное издание, 2018. – 245 с.
2. Беляева, И. В. Архитектура информационных систем / И. В. Беляева. – Ульяновск : УлГТУ, 2019. – 192 с.

### АЛГОРИТМ УГЛОМЕРНОГО КАНАЛА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

**А. В. Малышева, А. М. Чепелева, И. А. Некрылов, Ю. Н. Панасюк**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
 (e-mail: anastasiya.malys@mail.ru; tchepeleva.sascha@yandex.ru)

Для разработки алгоритма угломерного канала используем модель состояния для оценки фазовых координат: азимут  $\varphi(k)$ ; угловая скорость азимута  $\omega(k)$ ; ускорение азимута  $\beta(k)$  воздушных судов (ВС), которая учитывает посто-

янную времени маневра  $\alpha_\phi$  и гауссовский шум  $\xi_a(k)$  с известной дисперсией  $D_a$  [1, 2]:

$$\left. \begin{aligned} \varphi(k) &= \varphi(k-1) + \omega(k-1)\tau + 0,5\beta(k-1)\tau^2; \\ \omega(k) &= \omega(k-1) + \beta(k-1)\tau; \\ \beta(k) &= (1 - \alpha_\phi\tau)\beta(k-1) + \xi_a(k-1). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для обеспечения оценки фазовых координат (1) должен измеряться азимут ВС  $\varphi_n$  [1, 3]. На основании модели состояния (1), измерения  $\varphi_n$  и с учетом выражений калмановской фильтрации [1, 2, 4] получен следующий алгоритм фильтрации:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_0(k) &= \varphi_3(k) + K_{\phi 11}\Delta\varphi(k); \\ \omega_0(k) &= \omega_3(k) + K_{\phi 21}\Delta\varphi(k); \\ \beta_0(k) &= \beta_3(k) + K_{\phi 31}\Delta\beta(k); \\ \varphi_3(k) &= \varphi_0(k-1) + \varphi_0(k)\tau + \beta_0(k)\tau^2 / 2; \\ \omega_3(k) &= \omega_0(k-1) + \beta_0(k)\tau; \\ \beta_3(k) &= \beta_0(k-1); \\ \Delta\varphi(k) &= \varphi_n(k) - \varphi_3(k). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В выражениях (2)  $\Delta\varphi(k)$  – невязка измерения;  $\varphi_3(k)$ ,  $\omega_3(k)$ ,  $\beta_3(k)$  – экстраполированные значения фазовых координат;  $K_{\phi 11}(k)$ ,  $K_{\phi 21}(k)$ ,  $K_{\phi 31}(k)$  – коэффициенты усиления невязок измерения.

На основании алгоритма (2) проводилось имитационное моделирование ВС для маневра «посадка». Результаты моделирования представлены на рис. 1, где представлен график изменения зависимости реальной средней квадратичной погрешности (СКП) азимута от времени.

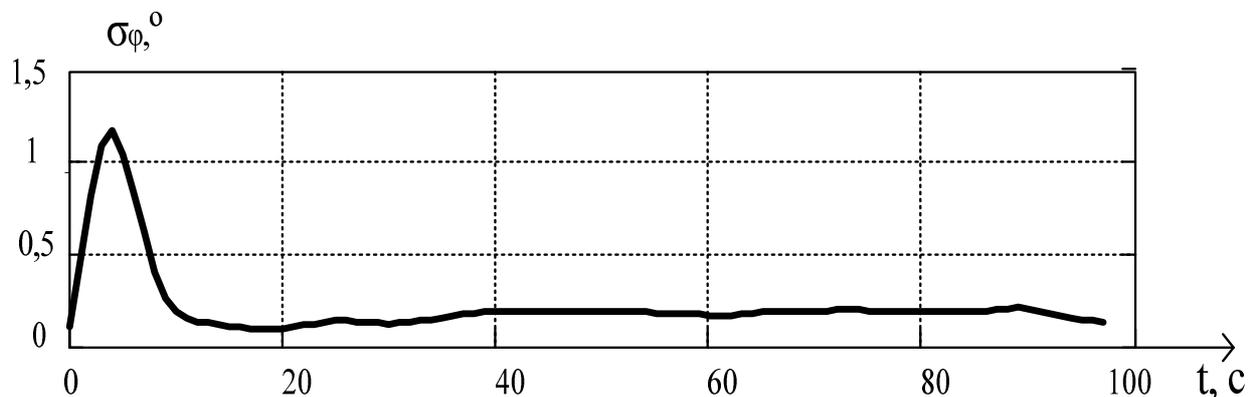


Рис. 1. Зависимость реального СКП азимута от времени

Из рисунка 1 видно, что СКП азимута имеет большие значения в интервале времени от 2 до 10 с. Это связано с тем, что в этом интервале времени производная азимута имеет значительную величину. В дальнейшем в интервале времени от 10 до 100 с СКП имеет небольшое значение по причине небольшой производной азимута.

Таким образом, трехмерную модель состояния (1) целесообразно использовать, если значения азимута ВС изменяются незначительно. Если азимут имеет большую производную, то необходимо использовать другие модели состояния для уменьшения СКП азимута.

### **Библиографический список**

1. Indication of Relative Motion Intensity of Aerodynamic Object and Meters with Different Physical Nature / S. N. Danilov, S. P. Moskvitin, Yu. N. Panasyuk, A. P. Pudovkin, R. R. Shatovkin, L. G. Varepo, I. V. Nagornova // Paper Presented at the Journal of Physics : Conference Series, 1901 – 2021.

2. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics : Conference Series. – Vol. 1015, Is. 3, article id. 032111. – 2018.

3. Чернышова, Т. И. Оценка метрологической надежности аналого-цифрового преобразователя в структуре информационно-измерительной системы на этапе проектирования / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов, М. А. Каменская // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 180 – 189.

4. Selivanova, Z. M. Simulation of Intelligent Information-Measuring Systems of Thermophysical Properties of Materials and Products / Z. M. Selivanova, D. S. Kurenkov, T. A. Hoang // Journal of Physics : Conference Series. – Vol. 1278, 012040. – 2019.

## **СИСТЕМА КОНТРОЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В РАЙОНЕ ПЕРЕКРЕСТКА**

**В. В. Маслина, С. Н. Данилов**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

**(e-mail: vika.maslina@gmail.com; plabz@mail.ru)**

В целях наблюдения и распознавания опасных ситуаций при движении транспортных средств требуется разработка различных систем обеспечения

безопасности на проезжих частях. Одной из возможных систем является информационная система, способная контролировать положение транспортных средств (ТС) на проезжей части. Следовательно, существует необходимость в разработке систем контроля движения перед пешеходным переходом, работа которых не зависит ни от времени суток, ни от погодных условий. Для решения данной проблемы можно использовать систему на основе радиолокационных датчиков. В данной работе предполагается использование СВЧ-датчика, подобного датчику НВ100.

Целью данной работы является исследование возможности использования достаточно точного фазового измерителя угловых координат в условиях обнаружения ТС на фоне отражений от земной поверхности и в окружении множества других движущихся ТС.

В рассматриваемых условиях важной задачей является устранение влияния отражений от подстилающей поверхности. Простые расчеты показывают, что эффективная площадь отражений (ЭПО) ТС составит примерно  $3 \text{ м}^2$  при ЭПО просматриваемого участка поверхности дороги  $5 \text{ м}^2$  (рис. 1).

Выход из этого положения может быть найден при использовании активного метода радиолокации. Но это потребует установки на ТС метки-транспондера. В этом случае возможна работа запросного и ответного каналов на разных частотах, что устраняет помеху от земли. Кроме того, ответный сигнал может быть кодовым, что позволит идентифицировать ТС. Это важная особенность работ, так как практика показывает, что идентификация ТС в оптическом диапазоне (камеры видеонаблюдения) в ночных условиях, условиях снегопада, дождя и тумана крайне затруднена.

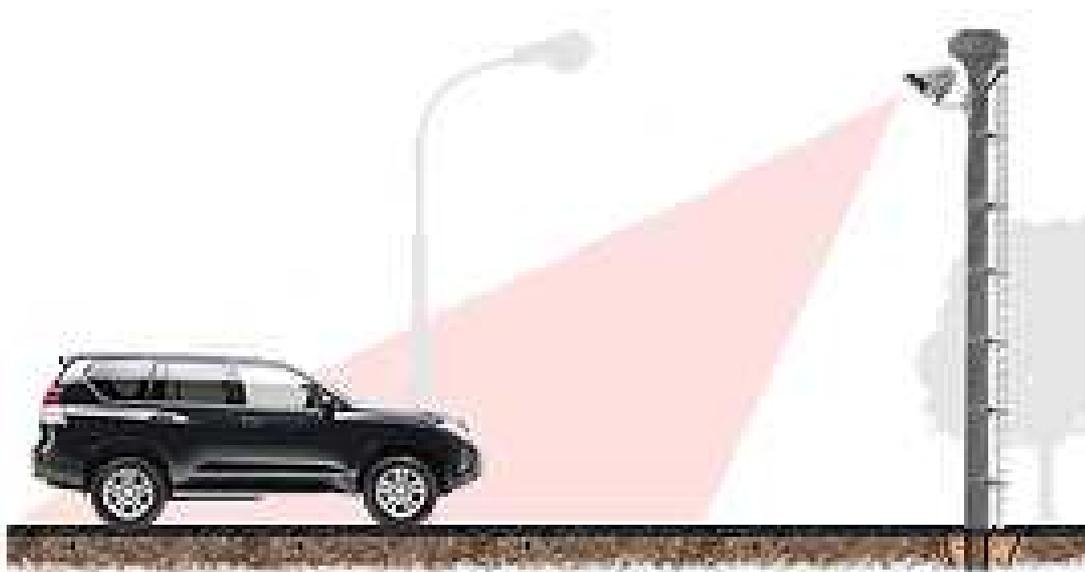


Рис. 1

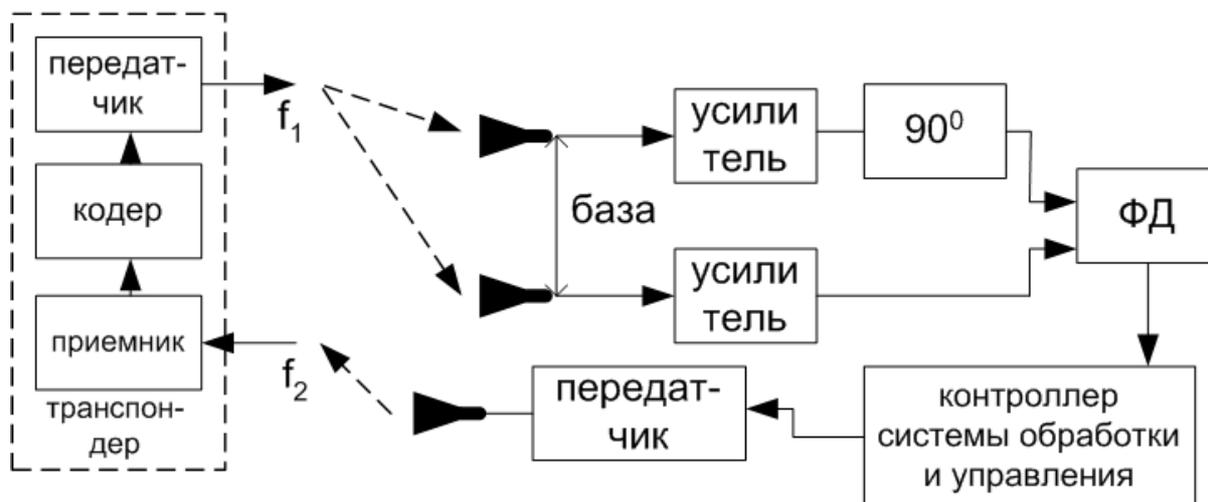


Рис. 2

Второй важной задачей является обеспечение однозначности измерения угла фазовым методом. При относительно большой базе измерителя обеспечить однозначность трудно, учитывая, что длина волны сигнала – единицы миллиметров. Кроме того, при такой длине волны малейшие вибрации антенн будут вызывать большие погрешности. Поэтому предполагается измерения производить не по фазе несущей, а по фазе специального модулирующего гармонического сигнала нужной частоты. Это дает свободу выбора размера базы, ширины диаграммы направленности и т.п.

Первичный измеритель угловых координат является по сути своей двухканальной импульсной радарной системой, подключенной к фазовому детектору (ФД).

В состав системы входят две антенны или одна антенна с двойным облучателем, передатчик, два приемника, фазовый детектор, который включает в себя также сглаживающий фильтр на выходе, после которого сглаженный сигнал проходит дальнейшую обработку с помощью алгоритма фильтрации, реализованного программно в блоке контроллера системы обработки и управления (рис. 2) [1 – 4].

### Библиографический список

1. Чернышова, Т. И. Информационная технология оценки метрологической надежности информационно-измерительных систем с учетом влияния внешних факторов / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // матер. VI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, 2019. – С. 172–173.
2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

3. Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, С. П. Москвитин // Journal of Physics : Conference Series. – Vol. 1015, Issue 3, article id. 032112. – P. 1.

4. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / И. В. Князев, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.

## АЛГОРИТМ УГЛОМЕРНОГО КАНАЛА СО СЛУЧАЙНОЙ СТРУКТУРОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

**А. А. Мжельский, В. В. Евтеев, С. В. Панфилов, Ю. Н. Панасюк**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: mzhelskiya@yandex.ru; bkush6@mail.ru; mich157a@gmail.com)

Для разработки алгоритма угломерного канала используем трехмерную и двухмерную модели состояния для оценки фазовых координат воздушных судов (ВС) [1 – 3]:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1(k) &= \varphi_1(k-1) + \omega_1(k-1)T + 0,5\beta_1(k-1)T^2; \\ \omega_1(k) &= \omega_1(k-1) + \beta_1(k-1)T; \quad \beta_1(k) = (1 - \alpha_{\varphi_1}T)\beta_1(k-1) + \xi_a(k-1); \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\varphi_2(k) = \varphi_2(k-1) + \omega_2(k-1)T; \quad \omega_2(k) = (1 - \alpha_{\varphi_2}T)\omega_2(k-1) + \xi_\omega(k-1); \quad (2)$$

$$\varphi(k) = \sum_{m=1}^2 W_m(k-1)\varphi_m(k-1), \quad m=1, 2; \quad k=1, 2, \dots, \quad (3)$$

где  $\varphi$ ,  $\omega$ ,  $\beta$  – азимут, скорость и ускорение изменения азимута;  $W_m$  – весовые коэффициенты оценки фильтрации;  $\alpha_{\varphi_1}$  и  $\alpha_{\varphi_2}$  – постоянные времени маневра;  $\xi_a(k-1)$  и  $\xi_\omega(k-1)$  – гауссовские шумы.

Для обеспечения оценки фазовых координат (1, 2, 3) должен измеряться азимут ВС  $\varphi_{и}$  [1, 4]. На основании модели состояния (1, 2, 3), измерения  $\varphi_{и}$  и с учетом выражений калмановской фильтрации [1, 2, 4] получен следующий алгоритм фильтрации:

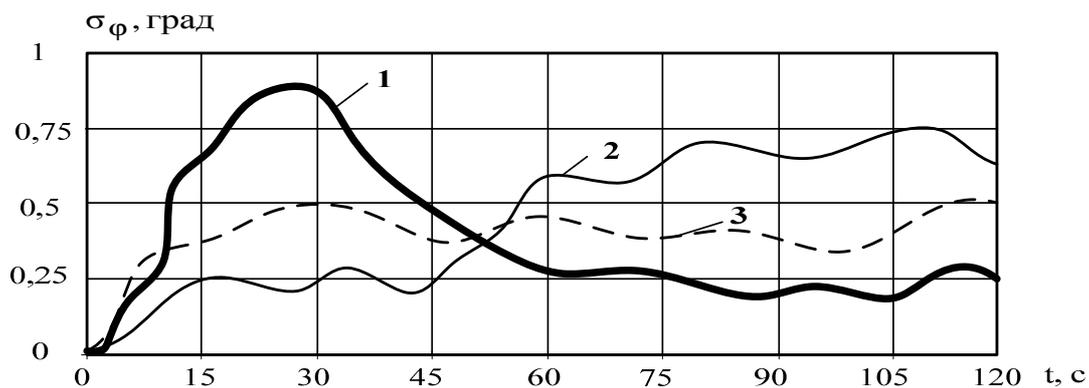
$$\left. \begin{aligned} \varphi_{10}(k) &= \varphi_{1э}(k) + K_{1\varphi_{11}}\Delta\varphi_1(k); \quad \omega_{10}(k) = \omega_{1э}(k) + K_{1\varphi_{21}}\Delta\varphi_1(k); \\ \beta_{10}(k) &= \beta_{1э}(k) + K_{1\varphi_{31}}\Delta\beta(k); \quad \Delta\varphi_1(k) = \varphi_{1и}(k) - \varphi_{1э}(k); \\ \varphi_{1э}(k) &= \varphi_{10}(k-1) + \omega_{10}(k)\tau + \beta_0(k)\tau^2 / 2; \quad \omega_{1э}(k) = \omega_{10}(k-1) + \beta_{10}(k)\tau; \\ \beta_{1э}(k) &= \beta_{10}(k-1); \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{20}(k) &= \varphi_{2\vartheta}(k) + K_{2\varphi 11} \Delta\varphi_2(k); & \omega_{20}(k) &= \omega_{2\vartheta}(k) + K_{2\varphi 21} \Delta\varphi_2(k); \\ \Delta\varphi_2(k) &= \varphi_{2и}(k) - \varphi_{2\vartheta}(k); & \varphi_{2\vartheta}(k) &= \varphi_{20}(k-1) + \omega_{20}(k)\tau; \\ \omega_{2\vartheta}(k) &= \omega_{20}(k-1); \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\varphi_0(k) = \sum_{m=1}^2 W_{0m}(k-1) \varphi_{0m}(k-1), \quad m=1, 2; \quad k=1, 2, \dots, \quad (6)$$

где  $\Delta\varphi(k)$  – невязка измерения (2);  $\varphi_s(k)$ ,  $\omega_s(k)$ ,  $\beta_s(k)$  – экстраполированные значения фазовых координат;  $K_d(k)$  – коэффициенты усиления невязок измерения.

На основании полученных алгоритмов (4, 5, 6) было проведено имитационное моделирование для маневра ВС «большая коробочка». Результаты моделирования представлены на рис. 1 – графики изменения зависимости средней квадратичной погрешности (СКП) азимута от времени: 1 – в угломерном канале использовалась модель состояния (1); 2 – в угломерном канале использовалась модель состояния (2); 3 – в угломерном канале использовалась модель состояния (1), (2), (3).



**Рис. 1. Зависимость реального СКП азимута от времени**

Таким образом, использование двух фильтров со случайной структурой угломерного канала позволяет повысить точность траекторной обработки информации обработке воздушных судов на всех этапах маневра «большая коробочка»

### Библиографический список

1. Indication of Relative Motion Intensity of Aerodynamic Object and Meters with Different Physical Nature / S. N. Danilov, S. P. Moskvitin, Yu. N. Panasyuk, A. P. Pudovkin, R. R. Shatovkin, L. G. Varepo, I. V. Nagornova // Paper Presented at the Journal of Physics : Conference Series, 1901 – 2021.

2. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics : Conference Series. – Vol. 1015, Issue 3, article id. 032111. – 2018.

3. Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics : Conference Series. – Vol. 1015, Issue 3, article id. 032112. – 2018.

4. Development and Research of the Rangefinder of the Information and Measurement System of Air Traffic Control Based on Data from on-Board Sensors of the Aircraft / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, M. P. Belyaev, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin, L. G. Varepo, I. V. Nagornova // Paper Presented at the Journal of Physics : Conference Series, 1901. – 2021.

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**А. Г. Окуньков**

**Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем,  
Россия, Москва**

(e-mail: art\_0800@gosniias.ru)

Существует несколько известных методов управления группой беспилотных летательных аппаратов (БЛА): метод «лидер-ведомые»; метод потенциального поля, метод виртуальных структур; метод на основе поведенческого подхода; метод на основе консенсуса.

**Метод «лидер-ведомые»** («ведущий-ведомые») подразумевает, что «ведомые» БЛА занимают свои положения, ориентируясь на БЛА – «лидера». При следовании по маршруту «ведомые» повторяют действия «лидера», не принимая самостоятельных решений [1].

Главным достоинством метода является его простая реализуемость. Группа может состоять из технологически простых «ведомых», которым нет необходимости самостоятельно решать задачи планирования и преодоления маршрута, и более сложного, оснащенного необходимым оборудованием «лидера».

Недостатком метода является отсутствие обратной связи от «ведомых» к «лидеру» и уязвимость строя к потере «лидера».

**Метод потенциального поля** (Potential Field Approach, Artificial Potential Approach) заключается в создании искусственного потенциального поля в про-

странстве таким образом, чтобы целевая точка оказалась в глобальном минимуме потенциала, в то время как все препятствия находились на возвышении. В этом случае БЛА в рабочем пространстве будут испытывать силы притяжения по направлению к цели и силы отталкивания со стороны препятствий (для каждого БЛА остальные БЛА в группе также являются препятствиями), при этом результирующая сила полностью определяет направление и скорость каждого БЛА [2].

Главными достоинствами метода являются его невысокая вычислительная сложность и простота реализации, а также возможность строгого математического анализа.

Недостатки: возможность появления локального минимума из-за непредсказуемого характера результирующего потенциального поля; сложность предсказания реальных траекторий БЛА, что приводит к отсутствию их оптимальности; не уделяется внимание архитектуре взаимодействия; не предполагается получение структуры группы с произвольной геометрией.

**Метод виртуальных структур** подразумевает, что группа БЛА рассматривается централизованно с точки зрения единой структуры. Для реализации управления:

- рассчитывается желаемая динамика виртуальной структуры;
- состояния виртуальной структуры преобразуются в состояния каждого БЛА;
- законы управления для каждого БЛА реализуются с учетом накапливаемой на предыдущих шагах информации [3].

Достоинства этого метода: нет единственного уязвимого звена в системе; группа обладает достаточной устойчивостью к внешним возмущениям вследствие наличия обратной связи от виртуальной структуры ко всем БЛА группы; поведение группы легко предсказуемо, что позволяет без затруднений сохранять ее структуру при полете по маршруту.

Недостатки: сложность поддержания структуры группы с одновременным отслеживанием функции желаемых состояний виртуальной структуры каждым БЛА; отсутствует обратная связь от БЛА к виртуальной структуре.

**Метод на основе поведенческого подхода** подразумевает, что законы управления для каждого БЛА определяются как взвешенное среднее различных линий поведения. Поведенческий подход дает преимущество в виде возможности действий группы в непредсказуемо меняющихся внешних условиях [4].

Достоинства метода: полностью децентрализованная архитектура взаимодействия, что обуславливает масштабируемость и возможность продолжения

выполнения задачи в случае потери БЛА; большее внимание желаемым действиям, что позволяет проще сформулировать правила планирования маршрута.

Главный недостаток – невозможность математического анализа.

**Метод на основе консенсуса** основывается на анализе архитектуры взаимодействия БЛА и предполагает полностью децентрализованную структуру [5].

Достоинства: масштабируемость, распределение ресурсов, а также сохранение устойчивости при потере БЛА.

Недостаток: использование линейных моделей без учета возмущений.

### **Библиографический список**

1. Котов, К. Ю. Децентрализованное управление квадрокоптерами в составе группы лидер-ведомые / К. Ю. Котов // Автометрия. – 2017. – Т. 53, № 1. – С. 26 – 31.
2. Ge, S. S. Dynamic Motion Planning for Mobile Robots using Potential Field Method / S. S. Ge, Y. J. Cui // Auton. Robots. – 2002. – Vol. 13. – P. 207 – 222.
3. Li, N. H. Formation UAV Flight Control using Virtual Structure and Motion Synchronization / N. H. Li, H. H. Liu // IEEE Am. Control Conf. – Vol. 2008. – P. 1782 – 1787.
4. Anderson, M. R. Formation Flight as a Cooperative Game / M. R. Anderson, A. C. Robbins // Proc. AIAA Guid. Navig. Control Conf. – 1998. – P. 244 – 251.
5. Ren, W. Consensus Strategies for Cooperative Control of Vehicle Formations / W. Ren // IET Control Theory Appl. – 2007. – Vol. 1, № 2. – P. 505 – 512.

## **АЛГОРИТМ ДАЛЬНОМЕРНОГО КАНАЛА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

**С. В. Панфилов, А. А. Мжельский, В. В. Евтеев**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: mich157a@gmail.com; mzhelskiya@yandex.ru)

Для разработки алгоритма дальномерного канала используем модель состояния для оценки фазовых координат воздушных судов (ВС) по линии визирования: дальности  $D$ , скорости сближения  $V$ , ускорения  $a$ , скорости ВС  $V_{ц}$ , ускорения ВС  $a_{ц}$ , угла наклона  $\theta$ , угловой скорости наклона  $\omega_{\theta}$ , путевого угла  $\varphi$ , скорости путевого угла  $\omega_{\varphi}$ , угла линии визирования в вертикальной плоскости  $\varepsilon_{в}$ , скорости линии визирования в вертикальной плоскости  $\omega_{в}$ , угла линии визирования в горизонтальной плоскости  $\varepsilon_{г}$ , скорости линии визирования горизонтальной плоскости  $\omega_{г}$  [1, 2]:

$$\left. \begin{aligned}
D(k+1) &= D(k) + V(k)T + 0,5a(k)\tau^2; & V(k+1) &= V(k) + a(k)\tau; \\
a(k+1) &= V_{\text{ц}}(k)(\sin\varepsilon_{\text{B}}(k)\cos\theta(k)(\omega_{\theta}(k) - \omega_{\text{B}}(k)\cos(\varphi(k) - \varepsilon_{\text{Г}}(k))) + \\
&\quad + \sin\theta(k)\cos\varepsilon_{\text{B}}(k)(\omega_{\text{B}}(k) - \omega_{\theta}(k)\cos(\varphi(k) - \varepsilon_{\text{Г}}(k)) + \\
&\quad + \cos\varepsilon_{\text{B}}(k)\cos\theta(k)\sin(\varphi(k) - \varepsilon_{\text{Г}}(k))(\omega_{\text{Г}}(k) - \omega_{\varphi}(k)) + \xi_a(k); \\
V_{\text{ц}}(k+1) &= V_{\text{ц}}(k) + a_{\text{ц}}(k)\tau; & a_{\text{ц}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\phi 1})a_{\text{ц}}(k) + \xi_{a_{\text{ц}}}(k); \\
\theta(k+1) &= \theta(k) + \omega_{\theta}(k)\tau; & \omega_{\theta}(k+1) &= (1 - \alpha_{\phi 2})\omega_{\theta}(k) + \xi_{\omega_{\theta}}(k); \\
\varphi(k+1) &= \varphi(k) + \omega_{\varphi}(k)\tau; & \omega_{\varphi}(k+1) &= (1 - \alpha_{\phi 3})\omega_{\varphi}(k) + \xi_{\omega_{\varphi}}(k); \\
\varepsilon_{\text{B}}(k+1) &= \varepsilon_{\text{B}}(k) + \omega_{\text{B}}(k)\tau; & \omega_{\text{B}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\phi 4})\omega_{\text{B}}(k) + \xi_{\omega_{\text{B}}}(k); \\
\varepsilon_{\text{Г}}(k+1) &= \varepsilon_{\text{Г}}(k) + \omega_{\text{Г}}(k)\tau; & \omega_{\text{Г}}(k+1) &= (1 - \alpha_{\phi 5})\omega_{\text{Г}}(k) + \xi_{\omega_{\text{Г}}}(k),
\end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\xi_a$ ,  $\xi_{a_{\text{ц}}}$ ,  $\xi_{\omega_{\theta}}$ ,  $\xi_{\omega_{\varphi}}$ ,  $\xi_{\omega_{\text{B}}}$ ,  $\xi_{\omega_{\text{Г}}}$ ,  $\xi_{\omega_{\text{B}}}$  и  $\xi_{\omega_{\text{Г}}}$  – центрированные гауссовские шумы;  $\alpha_{\phi 1}$ ,  $\alpha_{\phi 2}$ ,  $\alpha_{\phi 3}$ ,  $\alpha_{\phi 4}$  и  $\alpha_{\phi 5}$  – постоянные маневра ускорения цели, угловой скорости наклона, скорости путевого угла, скорости линии визирования.

Для обеспечения оценки фазовых координат (1) должны измеряться дальность  $D_{\text{ц}}$ , угол наклона  $\theta_{\text{ц}}$ , путевой угол  $\varphi_{\text{ц}}$  [3]. На основании модели состояния (1), и измерений  $D_{\text{ц}}$ ,  $V_{\text{ц}}$ ,  $\theta_{\text{ц}}$ ,  $\varphi_{\text{ц}}$  и с учетом выражений калмановской фильтрации [1, 2, 4] получен следующий алгоритм фильтрации:

$$D_{\text{о}}(k) = D_{\text{э}}(k) + K_{\text{д11}}(k)\Delta D(k) + K_{\text{д12}}(k)\Delta\theta(k) + K_{\text{д13}}(k)\Delta\varphi(k); \quad (2)$$

$$V_{\text{о}}(k) = V_{\text{э}}(k) + K_{\text{д21}}(k)\Delta D(k) + K_{\text{д22}}(k)\Delta\theta(k) + K_{\text{д23}}(k)\Delta\varphi(k); \quad (3)$$

$$a_{\text{о}}(k) = a_{\text{э}}(k+1) + K_{\text{д31}}(k)\Delta D(k) + K_{\text{д32}}(k)\Delta\theta(k) + K_{\text{д33}}(k)\Delta\varphi(k); \quad (4)$$

$$\theta_{\text{о}}(k) = \theta_{\text{э}}(k) + K_{\theta 41}(k)\Delta\theta(k) + K_{\text{д42}}(k)\Delta\theta(k) + K_{\text{д43}}(k)\Delta\varphi(k); \quad (5)$$

$$\omega_{\theta_{\text{ц0}}}(k) = \omega_{\theta_{\text{цэ}}}(k) + K_{\theta 51}(k)\Delta\theta(k) + K_{\text{д52}}(k)\Delta\theta(k) + K_{\text{д53}}(k)\Delta\varphi(k); \quad (6)$$

$$\varphi_{\text{о}}(k) = \varphi_{\text{э}}(k) + K_{\theta 61}(k)\Delta\theta(k) + K_{\text{д62}}(k)\Delta\theta(k) + K_{\text{д63}}(k)\Delta\varphi(k); \quad (7)$$

$$\omega_{\varphi_{\text{ц0}}}(k) = \omega_{\varphi_{\text{цэ}}}(k) + K_{\theta 71}(k)\Delta\theta(k) + K_{\text{д72}}(k)\Delta\theta(k) + K_{\text{д73}}(k)\Delta\varphi(k). \quad (8)$$

В выражениях [2 – 8]  $\Delta D(k)$ ,  $\Delta\theta(k)$ ,  $\Delta\varphi(k)$  – невязки измерений;  $D_{\text{э}}(k)$ ,  $V_{\text{э}}(k)$ ,  $a_{\text{э}}(k)$ ,  $\theta_{\text{э}}(k)$ ,  $\varphi_{\text{э}}(k)$ ,  $\omega_{\theta_{\text{цэ}}}(k)$ ,  $\omega_{\varphi_{\text{цэ}}}(k)$  – экстраполированные значения фазовых координат;  $K_{\text{д11}}(k) \dots K_{\text{д71}}(k)$  – коэффициенты усиления невязок измерения.

Таким образом, полученный алгоритм дальномерного канала [2 – 8] позволяет получить точность оценки фазовых координат ВС, значительно выше по сравнению с существующими алгоритмами. Применение алгоритма [2 – 8] позволит более качественно выполнять задачи организации воздушного движения по увеличению пропускной способности при заданном уровне безопасности.

### **Библиографический список**

1. Indication of Relative Motion Intensity of Aerodynamic Object and Meters with Different Physical Nature / S. N. Danilov, S. P. Moskvitin, Yu. N. Panasyuk, A. P. Pudovkin, R. R. Shatovkin, L. G. Varepo, I. V. Nagornova // Paper Presented at the Journal of Physics : Conference Series, 1901 – 2021.

2. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics : Conference Series. – Vol. 1015, Issue 3, article id. 032111. – 2018.

3. Synthesis of Channel Tracking for Random Process Parameters under Discontinuous Variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics : Conference Series. – Vol. 1015, Issue 3, article id. 032112. – 2018.

4. Development and Research of the Rangefinder of the Information and Measurement System of Air Traffic Control Based on Data from on-Board Sensors of the Aircraft / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, M. P. Belyaev, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin, L. G. Varepo, I. V. Nagornova // Paper Presented at the Journal of Physics : Conference Series, 1901 – 2021.

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОГО УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ БЕЗОШИБОЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ**

**Е. А. Антонов, К. Д. Раев**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

**(e-mail: e.a-nov98@mail.ru; faleot1998@gmail.com)**

Неидеальность современных приемников и передатчиков, их фазовые шумы ограничивают эффективность работы систем связи с технологиями OFDM. Практические аспекты реализации таких систем и анализ параметров компандирования, необходимых для обеспечения эффективной работы радио-передатчиков, а именно снижение энергетических затрат при работе передатчи-

ка за счет ограничения пик-фактора излучаемого сигнала, дают возможность провести оптимизацию этих параметров [1, 2]. Известно, что рост пик-фактора негативно сказывается на сложности конструкции высокочастотного тракта от усилителей до антенны, ведет к снижению КПД высокочастотного оборудования, приводит к увеличению нелинейных искажений [3]. Возможность такой оптимизации обусловлена соответствующим выбором значения величин коэффициентов усиления УМ и величины порога PR.

Разработанный ранее алгоритм поиска оптимальных параметров нелинейного усилителя мощности выдает массив данных, адреса нулевых и около-нулевых значений которого являются оптимальными параметрами для нелинейного УМ. Однако в ходе сбора данных была выявлена проблема, связанная с распознаванием сигнала на выходе усилителя. Она заключается в том, что при изменении некоторых значений параметров УМ, выходной сигнал сильно искажается, из-за чего становится невозможно сопоставить между собой элементы фазового созвездия входного и выходного сигналов, что приводит к ошибкам в сообщении на приемной стороне.

Для решения данной проблемы был разработан программный блок (рис. 1).

Вначале идет проверка двух условий для каждого элемента фазового созвездия:

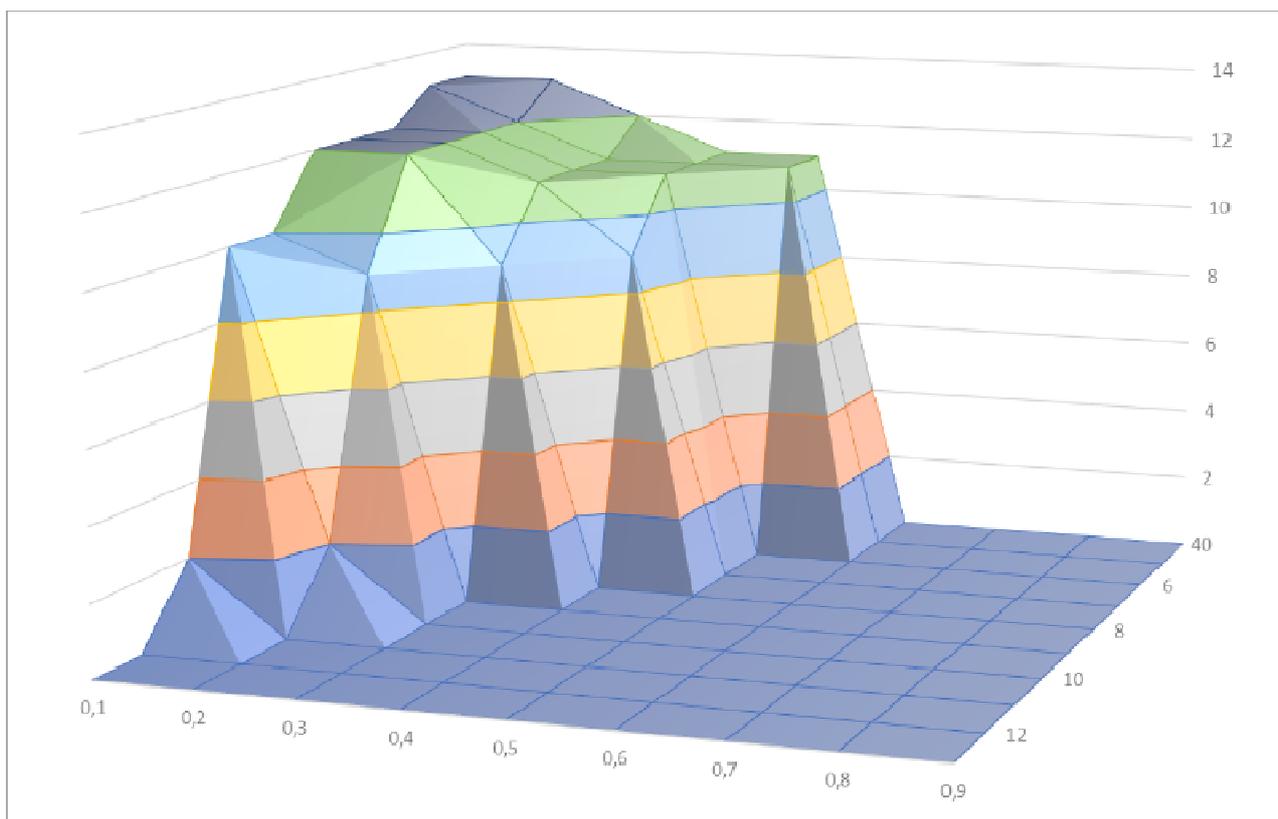
- 1) модуль разности действительных частей больше либо равен единице;
- 2) модуль разности мнимых частей больше либо равен единице.

Если оба условия не соблюдены, то для данного элемента программа подразумевает отсутствие ошибки. В противном случае, при соблюдении хотя бы одного из условий, программный блок присваивает единицу данному элементу созвездия. Далее определяется общее число ошибок для всех точек фазового созвездия путем суммирования полученных единиц.

На основе полученных данных был построен трехмерный график зависимости параметров УМ от числа ошибок фазового созвездия. Данный график представлен на рис. 2.

$$nm_j := \begin{cases} 1 & \text{if } \operatorname{Re}(X_j) - \operatorname{Re}(X_{ss,j}) \geq 1 \vee \operatorname{Im}(X_j) - \operatorname{Im}(X_{ss,j}) \geq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рис. 1. Программный блок



**Рис. 2, График зависимости**

В результате удалось выявить оптимальные значения параметров УМ для безошибочной передачи сигналов. При некоторых параметрах получилось добиться снижения пик-фактора выходного сигнала на 24,27%.

### **Библиографический список**

1. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник ТГТУ. – 2016. – № 3. – С. 374 – 380.
2. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
3. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / И. В. Князев, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 60 – 63.
4. Ivanov, A. V. Application of Fuzzy Logic for Control of the Integrity of Navigation Data of Satellite Radio Navigation Systems / A. V. Ivanov, D. V. Boykov, S. P. Moskvitin, A. P. Neguliaeva // 2<sup>nd</sup> International Conference on Control Systems. Mathematical Modeling. Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – 11 – 13 Nov. 2020, Lipetsk, Russia.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПЕЧАТНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

**К. С. Лещенко, В. П. Жалнин**

**Московский государственный технический университет**

**имени Н. Э. Баумана, Россия, Москва**

(e-mail: kirillbmst@yandex.ru; zhalnin@mail.ru)

3D-печать или «аддитивное производство» – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели. Фактически, 3D-печать является полной противоположностью таких традиционных методов механического производства и обработки, как фрезеровка или резка, где формирование облика изделия происходит за счет удаления лишнего материала (так называемое «субтрактивное производство»).

В настоящее время рынок аддитивных технологий активно развивается во всех направлениях науки и промышленности. Согласно исследованиям, рынок аддитивных технологий показывал непрерывный рост с 2017 по 2020 гг. в среднем на 22% ежегодно. По прогнозам аналитиков, к 2027 г. рынок аддитивных технологий может вырасти более чем на 300% относительно 2020 г. На рисунке 1 приведена столбчатая диаграмма состояния и прогноза рынка аддитивных технологий.

### Состояние и прогноз мирового рынка аддитивных технологий, млрд долл.

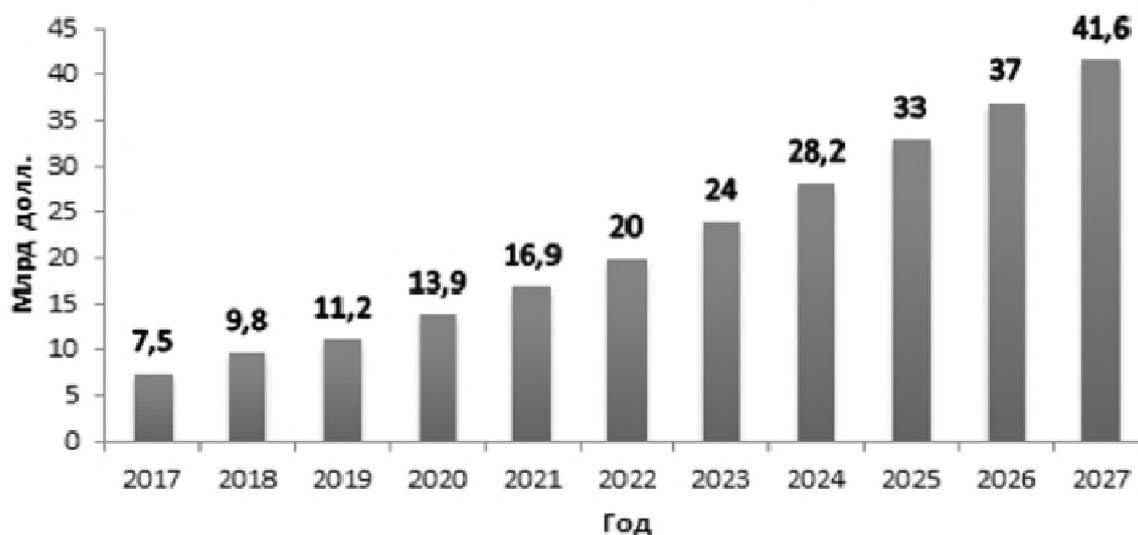


Рис. 1. Диаграмма состояния рынка аддитивных технологий

Рассмотрим с экономической точки зрения то, какие преимущества открываются перед разработчиками и производством в применении технологии 3D-печати при изготовлении печатных платы.

Как правило, в аддитивном производстве, в сравнении с традиционным производством, значительно сокращаются затраты за счет существенного сокращения производственного цикла изделий (рис. 2). Появляется возможность отказаться от необходимости разработки технологии на изготовление, а также от этапов подготовки производства (заготовительные участки, литейное производство и т.д.).

Аддитивное производство также позволяет значительно сократить затраты на изготовление продукции за счет кратного сокращения штата рабочих, экономии на производственных площадях, а также быстром производственном цикле. Однако перечисленные преимущества неминуемо приводят к снижению качества выпускаемой продукции. На рисунке 3 приведена сравнительная таблица преимуществ и недостатков двух технологий.

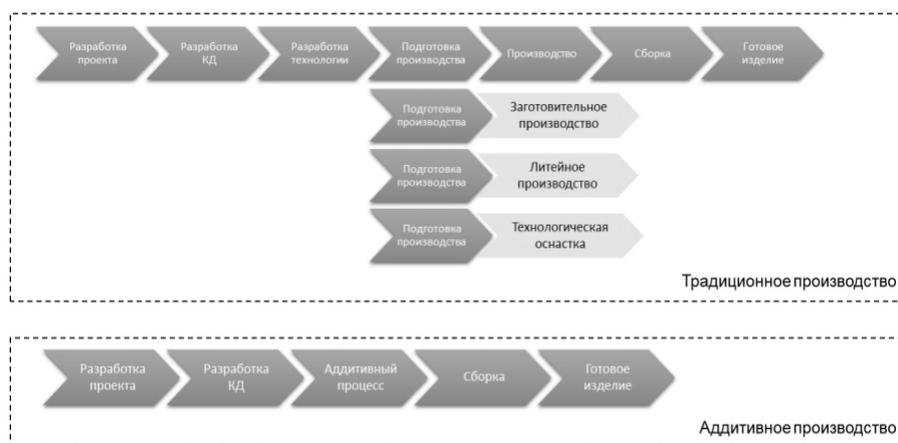


Рис. 2. Сравнение традиционного и аддитивного производства

Традиционное производство		Аддитивное производство	
+	-	+	-
Высокая степень надежности	Сравнительно долгий производственный цикл изделия (~15 дней)	Быстрый цикл производства изделий (~20 часов)	Низкая степень надежности
Отработанная годами технология	Большая производственная площадь (> 1000 м <sup>2</sup> )	Небольшая производственная площадь (< 50 м <sup>2</sup> )	«Сырая» технология
Гарантийный срок на изделия 25 лет	Большой штат сотрудников (> 50 человек)	Маленький штат сотрудников (< 5 человек)	Отсутствие гарантийного срока
Большой выбор поставщиков материалов и оборудования	Огромная стоимость оборудования (>13 млн. \$)	Возможность применения особых технологий (встроенные компоненты, монтаж с торца, заполненные отверстия и т.д.)	Невозможность применения технологии к большей части уже разработанных изделий

Рис. 3. Сравнительная таблица преимуществ и недостатков

Можно заметить, что аддитивное производство печатных плат на текущем этапе его развития позволяет существенно сэкономить производственные затраты и ускорить процесс изготовления печатных плат. Помимо этого, оно дает возможность применения особых технологий, таких как монтаж с торца печатной платы, технологии встроенных компонентов и иных технологий не доступных в рамках традиционного производства.

### **Библиографический список**

1. Концепция цифрового инструментального производства (FAB LAB) для прототипирования изделий электронной техники / Д. И. Арабов, А. И. Власов, В. Н. Гриднев, П. В. Григорьев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 5-3. – С. 23 – 34.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

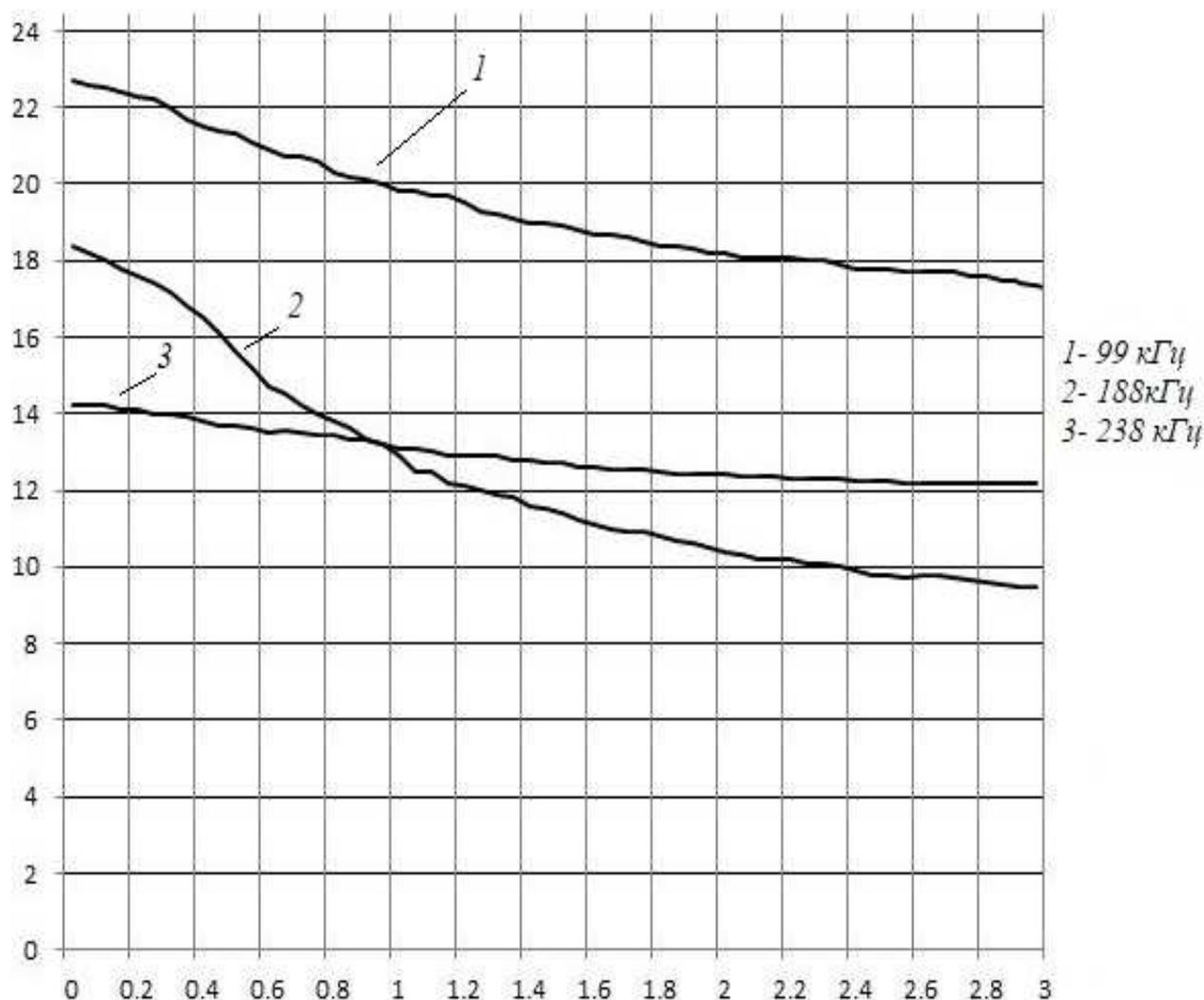
**И. В. Кулешов, А. П. Пудовкин**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: kuleschov.ilja2017@yandex.ru)

Для бесконтактного контроля толщин различных проводящих материалов одним из перспективных методов является вихретоковый, на основе которого строятся вихретоковые преобразователи (ВТП), имеющие различные конструкции [1]. Одним из примеров является накладной ВТП с одной катушкой индуктивности – абсолютный ВТП.

В публикации [2] рассматривалось устройство для исследования преобразователей, имеющих различные конструктивные особенности.

В данной работе исследовалось влияние воздушного зазора между ВТП и объектом контроля на вносимое напряжение преобразователя при различных частотах питающего напряжения. В качестве объекта контроля использовалась пластина толщиной 5 мм из сплава АМг-6. Параметры ВТП: наружный диаметр 10 мм, внутренний диаметр 4 мм, высота 3 мм, число витков 700, диаметр медного провода 0,1 мм, индуктивность 2,87 мГн. При исследовании ВТП включался в последовательный колебательный контур, резонанс которого достигался на разных значениях переменного конденсатора изменением частоты питающего напряжения при нулевом воздушном зазоре. Резонансные частоты составили 99, 188, 238 кГц при питающем напряжении 5 В. На рисунке 1 представлены графики изменения вносимого напряжения преобразователя на трех частотах в зависимости от величины зазора между ВТП и ОК.



**Рис. 1. График зависимости напряжения на датчике от величины зазора**

Анализируя полученные результаты исследований, можно сделать вывод, что разработанный вихретоковый преобразователь обладает наибольшей чувствительностью на частоте 188 кГц.

### **Библиографический список**

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий : справочник. В 2-х книгах / В. Г. Герасимов, А. К. Гурвич, А. П. Дегтерев и др. ; под ред. В. В. Клюева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.

2. Кулешов, И. В. Устройство для исследования влияния зазора между вихретоковым преобразователем и объектом контроля / И. В. Кулешов, А. П. Пудовкин // Цифровая трансформация в энергетике : матер. Третьей Всерос. науч. конф., Тамбов, 21–22 декабря 2021 г. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022. – С. 131 – 133.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОНОМНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В. Ф. Нгуен<sup>1</sup>, В. К. Нго<sup>1</sup>, К. А. Динь<sup>1</sup>, Т. Ю. Дорохова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военно-промышленный колледж, Вьетнам, Ханой

(e-mail: phientambov2016@gmail.com);

<sup>2</sup>Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов

(e-mail: tandor81@mail.ru)

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) представляет собой комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенных для преобразования энергии ветра в другие виды энергии (электрическую, механическую, тепловую и т.п.). Для бесперебойного электроснабжения потребителей в составе автономной электростанции требуется наличие гарантированного источника питания, способного обеспечить потребителя энергией в периоды ветрового затишья. В качестве такого источника в автономных ветроэлектростанциях (ВЭС) чаще всего используют аккумуляторные батареи. Структурная схема автономной ВЭС представлена на рис. 1.

Проектирование и изготовление генератора, важнейшего элемента ВЭУ, под конкретную систему является не целесообразным и дорогостоящим, сделает затруднительным его замену в случае поломки. Поэтому в разрабатываемой ВЭУ желательно использовать серийный электрический двигатель, работающий в режиме генератора. Асинхронные генераторы более надежные и простые по конструкции, чем, например, синхронные генераторы. Их стоимость, вес и габариты в 1,5–2 раза меньше, что обуславливает их широкое применение в ВЭУ.

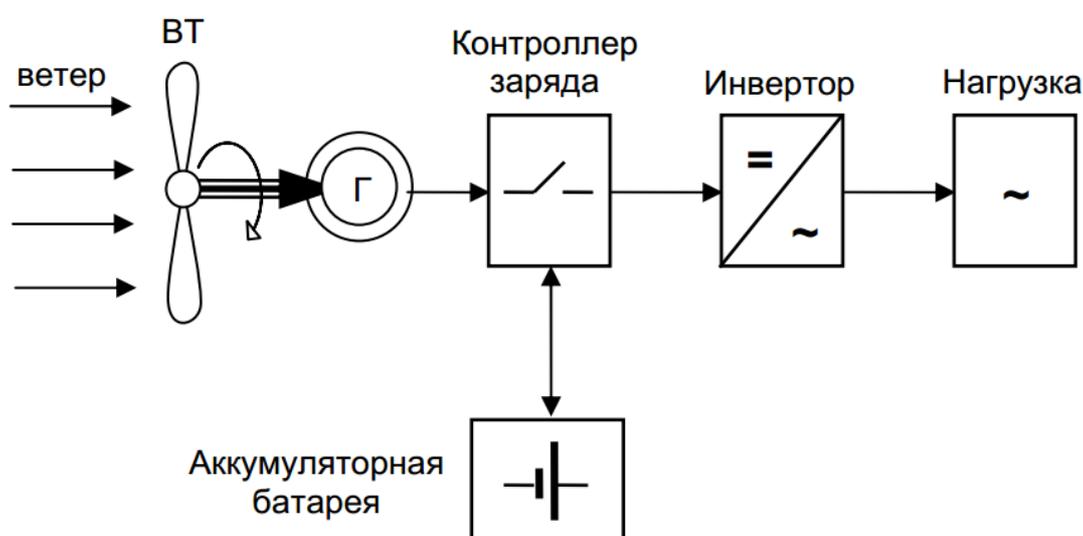


Рис. 1. Структурная схема автономной ветроэлектростанции

Суммарный момент инерции вращающихся частей ВЭУ (1) складывается из моментов инерции ротора ветрогенератора  $J_{\Gamma}$  и момента инерции ветроколеса  $J_{\text{вк}}$ :

$$J = J_{\text{вк}} + J_{\Gamma}. \quad (1)$$

Момент инерции ротора генератора определяется по следующему выражению:

$$J_{\Gamma} = G \frac{D^2}{4}, \quad (2)$$

где  $G$  – вес ротора, кг;  $D$  – диаметр ротора, м.

Момент инерции ветроколеса, представляющий собой пропеллер с горизонтальной осью вращения, определяется как сумма моментов инерции лопастей:

$$J_{\text{вк}} = iJ_{\text{лоп}}, \quad (3)$$

где  $i$  – количество лопастей ветроколеса.

Так как диаметр ветроколеса значительно превышает диаметр ротора генератора, момент инерции лопастей является определяющим в суммарном моменте инерции вращающихся масс ВЭУ и определяется выражением

$$J_{\text{лоп}} = mR_G^2, \quad (4)$$

где  $m$  – масса лопасти, кг;  $R_G$  – расстояние от оси вращения до центра тяжести лопасти, м.

Рассмотренные математические модели асинхронного генератора и ветротурбины позволяют выявить основу для дальнейших исследований различных режимов ветроэнергетических установок, например, в системе MATLAB.

### Библиографический список

1. Обухов, С. Г. Системы генерирования электрической энергии с использованием возобновляемых энергоресурсов : учебное пособие / С. Г. Обухов. – Томск : Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2008. – 140 с.
2. Нго Ван Кыонг Анализ функциональных схем оборудования ветроэнергетических установок / Нго Ван Кыонг, Г. Г. Константинов // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири : матер. Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2016. – Т. 1. – 340 с.

## НАНОСЕНСОРЫ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Д. К. Нгуен<sup>1</sup>, В. Ф. Нгуен<sup>1</sup>, Т. Ю. Дорохова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военно-промышленный колледж, Вьетнам, Ханой  
(e-mail: phientambov2016@gmail.com);

<sup>2</sup>Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: tandor81@mail.ru)

В данной работе были проанализированы результаты регистрации электрофизиологических сигналов человека наносенсорами на предмет эмоциональной реакции. Исследование проводилось на аппаратно-программном комплексе (АПК) с наносенсорами, одновременно при этом регистрировались электрокардиограммы (ЭКГ), электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и гальваническая кожная реакция (КГ). Тестирование добровольцев проходило путем нейтральных вопросов и возбуждающих [1]. Запись велась в реальном времени без усреднения и фильтрации в расширенный частотный диапазон от 0 до 10 000 Гц, уровень более 1 мкВ и частота дискретизации равна 64 кГц.

Наносенсорами без фильтрации и усреднения в измерительных каналах зарегистрированы следующие сигналы: микропотенциалы реального времени на электрокардиограмме длительностью 0,2 мс и уровнем 1 мкВ и более. Так же были зарегистрированы изменения формы и амплитуды зубца, медленные волны на ЭЭГ, высокая импульсная активность ЭЭГ и кратковременная импульсная активность на КГ при ответах на возбуждающие вопросы.

При этом были получены новые, неискаженные фильтрами, данные об амплитудных и временных параметрах электрофизиологических сигналов в диапазоне частот от 0 до 10 000 Гц, что было обусловлено высокой чувствительностью и шумом. На рисунке 1 показаны места для определения кожно-гальванической реакции. Наносенсоры накладываются на фалангу указательного и безымянного пальцев. Электрокардиограмму снимали с грудной клетки по Холтеру, земля справа. Для электроэнцефалограммы используется биполярное отведение, находящееся над лимбической системой, в точках Т3 и F7 согласно международной системе 10...20%.

При формировании опросника использовалась методика по В. А. Варламову [2], содержащая вопросы: спокойные (нейтральные) и волнующие (стрессующие), позволяющая выявить эмоциональную реакцию.

На рисунке 2 представлены импульсы на КГР, по которым видно, что вопрос 7 находится в группе «спокойные вопросы», вопрос 21 находится в группе «волнующие вопросы».

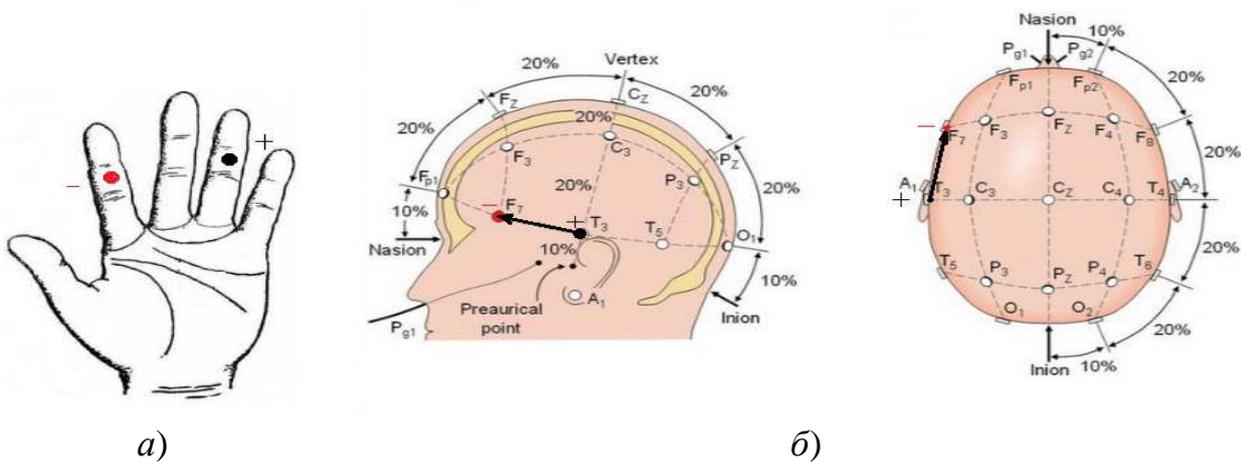


Рис. 1. Отведение КГР (а) и ЭЭГ (б)

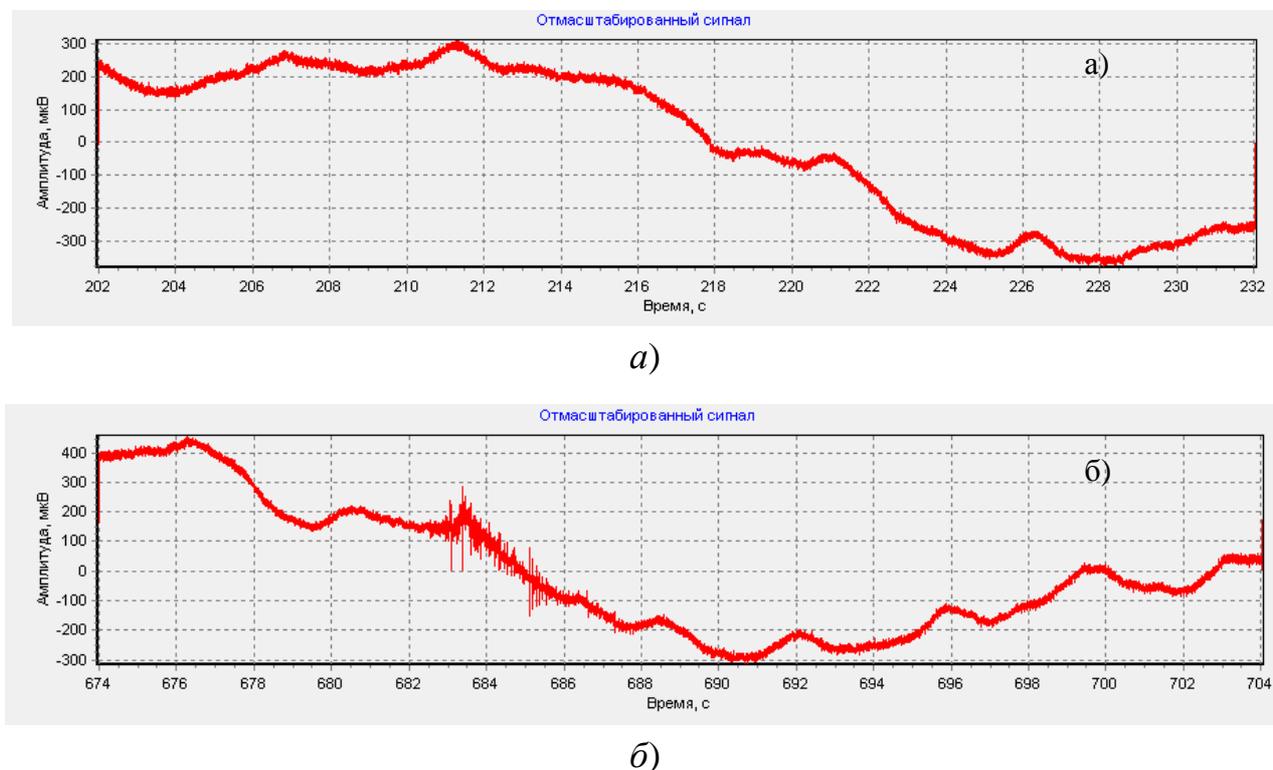


Рис. 2. Импульсы на КГР:

- а – спокойный вопрос – начало вопроса 206 с, конец 209 с, вопрос 7;
- б – волнующий вопрос – начало вопроса 677 с, конец 681 с, вопрос 21

Полученные результаты позволяют их использовать для разработки дополнительных измерительных каналов, в существующих типах аппаратуры для психофизиологических исследований.

### Библиографический список

1. Avdeeva, D. K. Advantages of Nanosensors in the Development of Interfaces for Bioelectric Prostheses / D. K. Avdeeva, E. Zakharchenko,

D. Q. Nguyen, N. V. Turushev, A. Abdrakhmanov, S. Tverdokhlebov // MATEC Web of Conferences. – 2016. – № 79. – С. 1 – 9.

2. Варламов, В. А. Детектор лжи. 2-е изд. / В. А. Варламов. – М. : ПЕР СЭ-Пресс, 2004. – 352 с.

## **ВИХРЕТОКОВОЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО**

**Н. Ю. Субботина, А. Н. Поляков**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

Контроль качества печатных плат предназначен для определения качества выпускаемой продукции, под которым понимается степень их соответствия конструктивным требованиям, техническим условиям, отраслевым и национальным стандартам. Чтобы увеличить число годных новых изделий с использованием печатных плат и при этом не допустить появления дефектов в процесс сборки, необходимо включать операции выходного контроля качества.

В практике современного производства печатных плат среди многообразия методов неразрушающего контроля находит широкое применение электромагнитный метод (метод вихревых токов) [1]. Этот метод основан на регистрации изменения вихревых токов, наводимых в объектах контроля из электропроводных материалов катушкой возбуждения вихревого преобразователя.

К преимуществам данного метода следует отнести следующее: нет физического контакта с проверяемой поверхностью, нечувствительность к изменению влажности, давления и загрязненности поверхности объектов контроля непроводящими веществами, а также способность выявления небольших по размерам дефектов, например, глубиной до 0,2 мм и протяженностью до 2 мм.

Для реализации метода вихревых токов предлагается следующее измерительное устройство, позволяющее осуществлять контроль качества печатных плат. Структурная схема измерительного устройства представлена на рис. 1, в состав которого входят: генератор 1, усилитель 2, вихретоковый преобразователь (ВТП) 3, приемный усилитель 4, пиковый детектор 5, аналогово-цифровой преобразователь 6, микроконтроллер 7, дисплей 8.

Принцип работы заключается в следующем. На ВТП 3 с генератора 1 через усилитель 2 подается гармонический сигнал. Разностное напряжение подается на приемный усилитель 4, а с него через пиковый детектор 5 напряжение поступает на аналогово-цифровой преобразователь 6. Микроконтроллер 7 обрабатывает всю информацию и выводит результат контроля на дисплей 8.

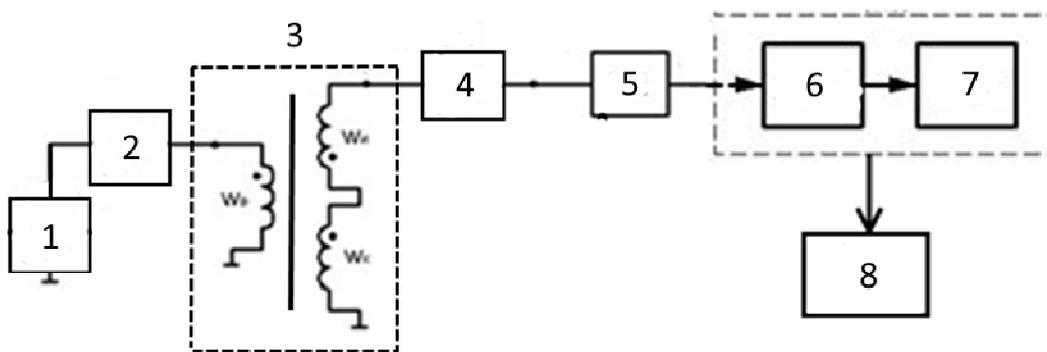


Рис. 1. Структурная схема вихретокового измерительного устройства

Данное устройство существенно повышает точность контроля глубины дефектов, а также их протяженность на проверяемой поверхности без физического контакта.

### Библиографический список

1. Брусницына, Л. А. Технология изготовления печатных плат / Л. А. Брусницына, Е. И. Степановских. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 195 с.

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора  
А. П. Пудовкина*

## АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**И. Н. Фетисов, В. Р. Тернавка, М. А. Крушатина, Н. А. Кольтюков**  
Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: vanya.fetisov2011@yandex.ru)

Предприятия, занимающиеся производством и переработкой полимерных материалов, используют в своей деятельности различные энергоемкие объекты, например, смесители и форматоры вулканизаторы.

В общем случае энергоемкий объект описывается так называемой четверкой (фреймом) из базы знаний  $\langle M, \Phi, C, O \rangle$ , где  $M$  – модель объекта,  $\Phi$  – функционал,  $C$  – стратегия управления,  $O$  – ограничения. Однако энергоемкие объекты на практике часто бывают сложными, например, в состав типового смесителя входят три электропривода – главный, системы смазки и системы

терморегулирования. Кроме того, каждый из этих электроприводов имеет свои особенности функционирования, так, главный электропривод подвержен непрерывному изменению нагрузки, момент включения электропривода системы терморегулирования зависит от температуры в смесительной камере и т.п.

Решение задачи оптимального управления таким объектом можно представить в виде совокупности решения отдельных задач, тогда постановку задачи оптимального управления энергоемким объектом на примере смесителя можно представить в следующем виде.

Для главного электропривода:

$$\dot{z} = f_1(z(t), u_{\text{гл}}(t), w(t), A, B), \quad t \in [t_1, t_4]; \quad (1)$$

$$w_j^{\text{пп}}(t + \Delta t) = \varphi(w_j(t), \psi_j), \quad j = \overline{1, m}; \quad (2)$$

$$z = (z_1, z_2)^T, \quad \forall t \in [t_1, t_4]: \quad u_{\text{гл}}(t) \in [u_{\text{н}}, u_{\text{в}}]; \quad (3)$$

$$z(t_{0i}) = z^{0i} \rightarrow z(t_{ki}) = z^{ki}, \quad i = \overline{1, m}; \quad (4)$$

$$P_{\text{м}}(t_1) \geq P_{\text{ном}}; \quad (5)$$

$$I_{\text{гл}} = \sum_{i=1}^m \int_{t_{0i}}^{t_{ki}} u^2(t) dt \rightarrow \min_{u_{\text{гл}}, t_{k_i}}, \quad (6)$$

где  $z$  – вектор фазовых координат;  $u_{\text{гл}}$  – управление (скалярное);  $A, B, \psi$  – параметры моделей;  $P_{\text{м}}$  – давление в системе смазки;  $I_{\text{гл}}$  – минимизируемый функционал.

Аналогично описываются остальные электроприводы.

Общий минимизируемый функционал для трех электроприводов равен сумме частных функционалов:

$$I_{\Sigma} = I_{\text{м}}(u_{\text{м}}; 0, t_1) + I_{\text{гл}}(u_{\text{гл}}, t_{k_j}; t_1, t_4) + I_{\text{хл}}(u_{\text{хл}}, t_2; t_2, t_3) \rightarrow \min_{u_{\text{гл}}, u_{\text{хл}}, u_{\text{м}}, t_2, t_{k_j}}. \quad (7)$$

Особенностью работы главного электропривода смесительной установки, с точки зрения энергосберегающего управления, являются частые и значительные изменения нагрузки на приводную часть, что в свою очередь ведет к повышенным энергозатратам. Для осуществления оптимального управления в таких условиях осуществляется прогнозирование изменения нагрузки.

При решении задачи (1) – (6) модель объекта, учитывающая непрерывные изменения нагрузки, представляется дифференциальным уравнением с разрывной правой частью в виде  $m$  стадий:

$$z = \begin{cases} A_1 z(t) + B_1 [u_{\text{ГЛ}}(t) + w_1(t)], & z_j \in [z_j^o, z_j^{\text{п1}}], \\ \dots \\ A_m z(t) + B_m [u_{\text{ГЛ}}(t) + w_m(t)], & z_j \in [z_j^{\text{п}m-1}, z_j^{\text{к}}], \end{cases} \quad (8)$$

и моделью прогнозирования нагрузки

$$w_j^{\text{пп}}(t) = \bar{w}_j + \Phi_{1j}(w_{t-1} - \bar{w}_j) + \Phi_{2j}(w_{t-2} - \bar{w}_j), \quad (9)$$

где  $z$  –  $n$ -вектор фазовых координат;  $z_j$  – компонента  $z$ , определяющая границы переключения стадии;  $z_j^o, z_j^{\text{к}}$  – начальное и конечное значения  $z_j$ ;  $A_j, B_j, j = \overline{1, m}$  – матрицы параметров для  $m$  стадий;  $w_j^{\text{пп}}(t)$  – нагрузка на электродвигатель на  $j$ -й стадии.

Аналогичным образом описываются другие смесители и форматоры вулканизаторы. Далее оптимизируются моменты пуска и останова смесителей и форматоров вулканизаторов для сведения времени простоя оборудования к минимуму, здесь также учитывается разнос по времени при пуске энергоемких объектов для снижения нагрузки на питающую сеть.

### Библиографический список

1. Кольтюков, Н. А. Оптимальное энергосберегающее управление смесительными машинами предприятий по производству и переработке полимерных материалов : дис. ... канд. техн. наук / Н. А. Кольтюков. – Тамбов, 2002. – 174 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ НА ТОЧНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ MULTISIM

**А. Н. Сизова, Г. Ф. Долгов**

**Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,  
Россия, Владимир  
(e-mail: asizova15@gmail.com)**

Моделирование переходных процессов – важная задача, решаемая при проектировании систем электроснабжения. Аналитический расчет переходных

процессов – трудоемкий процесс, поэтому в настоящее время широко применяют расчеты в системах автоматизированного проектирования электрических схем. Одной из таких систем является Multisim [1]. Расчет графиков токов и напряжений проводится в определенные моменты времени, отстоящие друг от друга на величину временного шага. Значение напряжения (тока), вычисляемого в текущий момент времени, зависит от значения, вычисленного в предыдущий момент времени. Большой шаг по времени приводит к недопустимым погрешностям расчета текущих значений, а малый шаг значительно увеличивает затраты машинных ресурсов (память, время и пр.). Величина шага в Multisim по умолчанию выбирается автоматически. При этом, для быстропротекающих переходных процессов результаты моделирования в Multisim значительно отличаются от реального протекания переходных процессов. Временной шаг можно устанавливать вручную, но не понятно, какое значение нужно вводить, чтобы расчет проходил при минимальных затратах времени и с достаточной точностью.

Целью работы является выработка рекомендаций по определению временного шага в системе Multisim, обеспечивающего заданную точность моделирования переходных процессов в цепях постоянного тока.

Аналитически изменяющиеся со временем значения свободной составляющей тока и напряжения находятся в виде

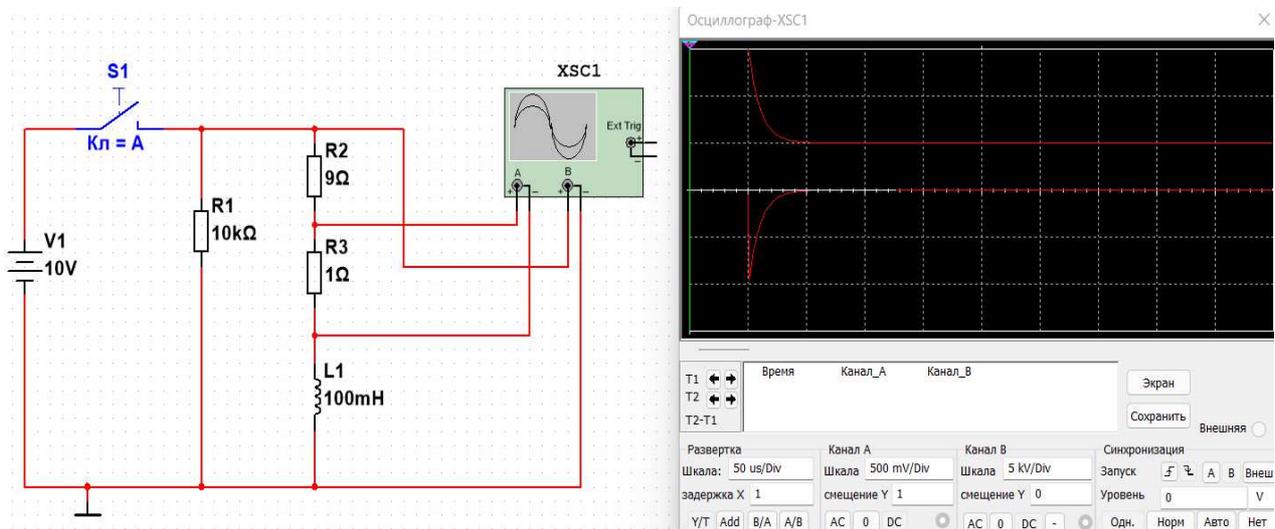
$$u(t) = \sum_{i=1}^n A_i e^{p_i t},$$

где  $n$  – количество реактивных (индуктивностей и емкостей) элементов в схеме;  $A_i, p_i$  – постоянные, определяемые при рассмотрении начальных условий [2].

При этом величина  $p_i$  – может быть вещественной отрицательной, а может быть мнимой. При вещественной величине  $p_i$  напряжение (ток) плавно изменяется по экспоненте, при мнимой величине  $p_i$  возникает колебательный процесс.

Моделирование проводилось на схеме, показанной на рис. 1, при размыкании ключа  $S1$ . Для этой схемы величина  $p_i = 10^5 \text{ с}^{-1}$ , а постоянная времени цепи  $\tau = 1/p_i = 10^{-5} \text{ с}$ .

Сравнение результатов моделирования в системе Multisim и классическим методом показало, что разность рассчитанных значений зависит от временного шага, устанавливаемого в Multisim. При шаге, равном  $10^{-6} \text{ с}$  (в 10 раз меньше  $\tau$ ), различие составило 5%, при шаге  $10^{-7} \text{ с}$  (в 100 раз меньше  $\tau$ ) – 0,5%, а при шаге  $10^{-8} \text{ с}$  – 0,05%.



**Рис. 1. Моделируемая схема**

Таким образом, выбор временного шага в системе Multisim существенно сказывается на погрешности моделирования и для снижения этой погрешности до величины не более 1% рекомендуется выбирать временной шаг на 2 порядка меньше постоянной времени цепи.

### **Библиографический список**

1. Долгов, Г. Ф. Использование MULTISIM в лабораторных работах по дисциплине «Электротехнические измерения» / Г. Ф. Долгов // Информатизация инженерного образования (ИНФОРИНО–2018). – М. : Изд-во МЭИ, 2018. – С. 476 – 479.
2. Румянцева, В. А. Расчет переходных процессов в линейных электрических цепях / В. А. Румянцева. – М. : МГГУ, 2013. – 46 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ФРАКТАЛА МИНКОВСКОГО НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ**

**М. М. Смирнова, С. В. Брылина**

**Дальневосточный федеральный университет, Россия, Владивосток**

(e-mail: smirnova.mmi@dvfu.ru; brylina.sv@dvfu.ru)

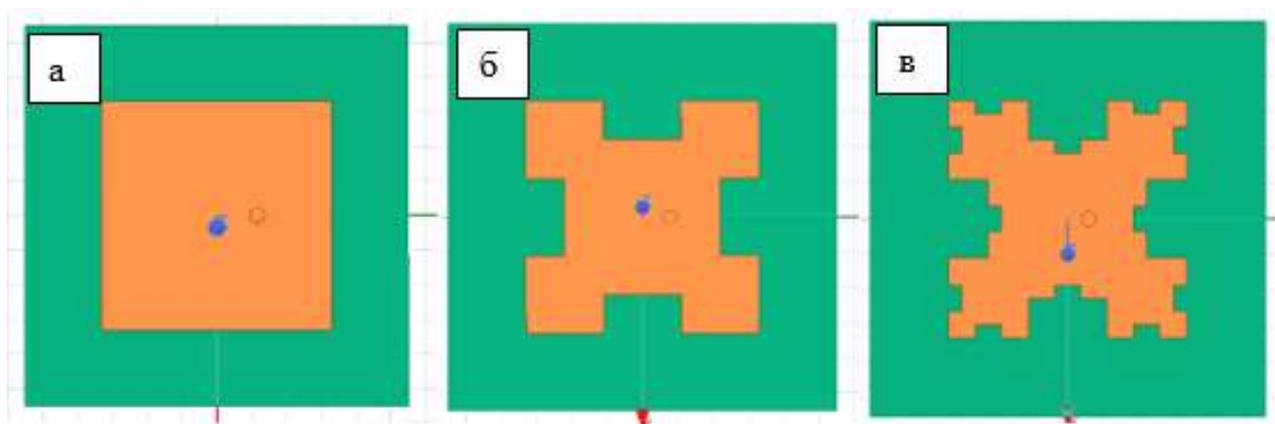
*Аннотация:* рассматривается применение фрактальной геометрии Минковского к квадратной микрополосковой антенне. Результаты анализируются с точки зрения резонансных частот, полосы пропускания, диаграмм направленности, коэффициентов усиления антенн. При расчетах и при создании графического материала использовалось программное обеспечение Ansoft HFSS.

*Ключевые слова:* фрактальная геометрия; микрополосковые антенны; кривая Минковского; диаграмма направленности.

Применение фрактальной геометрии к микрополосковой антенне позволяет добиться многодиапазонности при сохранении преимуществ исходной антенны. Рассмотренные далее фрактальные микрополосковые антенны спроектированы на основе модифицированного фрактала Минковского нулевой, первой и второй итераций (рис. 1).

Предлагаемые антенны разработаны на диэлектрической подложке из материала Rogers RO4003 с относительной диэлектрической проницаемостью 3,55 и геометрическими размерами  $55 \times 55 \times 0,81$  мм<sup>3</sup>, возбуждаются с помощью коаксиальной линии питания. Площадь излучающей квадратной пластины:  $33 \times 33$  мм<sup>2</sup>. В антенне нулевой итерации питание подается на расстоянии 10,68 мм от края пластины, в антенне первой итерации – 7,12 мм и в антенне второй итерации – на расстоянии 5,34 мм.

Патч-антенна нулевой итерации резонирует на частотах 2,33, 4,78, 6,7 и 11,99 ГГц. При этом для каждой из резонансных частот характерно значение КСВ не превышает 2. Применение фрактальной геометрии Минковского первой итерации к исходной квадратной патч-антенне (рис. 1, б) привело к увеличению числа резонансных частот. Теперь антенна резонирует на четырех частотах, первые из которых близки к резонансным частотам антенны меньшей итерации: 1,78, 4,72, 5,18 и 7,5 ГГц. При этом удалось добиться весьма высоких коэффициентов усиления: 16,4 дБ на частоте 1,78 ГГц и 16,1 дБ на частоте 7,5 ГГц. У фрактальной антенны второй итерации число резонансных частот увеличилось до пяти: 4,89, 5,39, 5,68, 6,03 и 6,32 ГГц. Сравнение характеристик полученных антенн для всех рассмотренных итераций фрактала Минковского приведено в табл. 1.



**Рис. 1. Фрактальная антенна Минковского нулевой итерации (а); первой (б) и второй итераций (в)**

## 1. Сравнение параметров исследуемых антенн

Итерация	Резонансная частота, ГГц	Коэффициент усиления, дБ	Коэффициент стоячей волны
0	2,33	6,1	1,4
	4,78	6,4	1,52
	6,7	2,8	1,26
	7,15	11,8	1,84
1	1,78	16,4	1,45
	4,72	5,3	1,77
	5,18	5,4	1,39
	7,5	16,1	1,58
2	4,89	7,7	1,86
	5,39	6,1	1,32
	5,68	5,6	1,28
	6,03	4,3	1,55
	6,32	4,1	1,68

Предлагаемые антенны на основе модифицированного фрактала Минковского имеют компактную площадь  $55 \times 55 \text{ мм}^2$ , демонстрируют высокое усиление (до 16,4 дБ на частоте 1,78 ГГц), хорошее согласование импеданса на всех резонансных частотах ( $K_{СВ} < 2$ ). Манипуляция с итерацией фрактала позволяет обеспечить многодиапазонный режим работы и добиться необходимых характеристик направленности

### Библиографический список

1. Бабичев, Д. А. Разработка и исследование микрополосковой антенны на основе фрактального подхода / Д. А. Бабичев, В. А. Тупик // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – № 9. – С. 3 – 6.
2. Банков, С. Е. Анализ и оптимизация СВЧ-структур с помощью HFSS / С. Е. Банков, А. А. Курушин, В. Д. Разевиг. – М. : СОЛОН-Пресс, 2017. – 216 с.
3. Потапов, А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации / А. А. Потапов. – М. : Логос, 2002. – 664 с.
4. Ахумян, А. А. Микрополосковая фрактальная антенна Минковского S-диапазона / А. А. Ахумян // ИРФЭ НАН РА. – 2011. – № 2. – С. 207 – 213.

5. Стрельцова, М. М. Исследование фрактальных микрополосковых антенн на основе квадратных излучателей / М. М. Стрельцова, Д. А. Кузин // Modern Science. – 2020. – № 6-2. – С. 320 – 324.

## **ТРЕБОВАНИЯ К РАДИОКАНАЛУ СВЯЗИ С ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ, НАВОДЯЩИМСЯ ПОЛУПАССИВНЫМ СПОСОБОМ**

**Т. В. Аксенова, С. Н. Калашников**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

(e-mail: akstan8686@gmail.com; snk8686@bk.ru)

Командные радиолинии связи являются неотъемлемой частью систем управления беспилотными летательными аппаратами. Особенности требования предъявляются к каналам связи с летательным аппаратом при самонаведении на цель полупассивным способом (ППС) [1].

При анализе требований к командной радиолинии наиболее близкое сравнение способа ППС целесообразно проводить с полуактивным способом самонаведения. При полуактивном способе самонаведения летательный аппарат не является носителем зондирующего сигнала, поэтому основная роль командной радиолинии связи состоит в передаче образца зондирующего сигнала от носителя для последующего сравнения в головке самонаведения с сигналом отраженным от цели. Передача данной информации проводится с высоким приоритетом, так как информация об образце зондирующего сигнала является основополагающей для эффективного целеуказания. Приемная высокочастотная аппаратура головки самонаведения ракеты при реализации способа ППС должна быть согласована с параметрами применяемого зондирующего сигнала. Конструктивно полупассивная головка самонаведения будет более простой по сравнению с аппаратурой, необходимой для реализации активного или полуактивного способов самонаведения. В то же время при ППС существенно усложняются алгоритмы обработки, которые реализуются в бортовом вычислителе ракеты. В соответствии с сущностью способа ППС летательного аппарата прямому измерению по аналогии с пассивной локацией доступны только азимут и угол места цели. Определение дальности и скорости сближения возможны только косвенными методами при реализации либо специальных маневров ракеты, либо при многопозиционной радиолокации [2].

Вышеизложенные особенности говорят об отсутствии необходимости передачи значительного объема информации по командной радиолинии от носителя зондирующего сигнала, так как образец зондирующего сигнала при ППС не используется. Наведение осуществляется исключительно на источник излучения помехового радиосигнала методом пропорциональной навигации. В соответствии с методом пропорциональной навигации на борт ракеты по радиоканалу связи передается только навигационный коэффициент (навигационная постоянная), которая представляет собой одно число [3]. Значение навигационной постоянной оказывает значительное влияние на скорость маневрирования, что в конечном счете сказывается на точности поражения цели. Информация с актуальным значением навигационного коэффициента необходимо передавать по командному радиоканалу. Оптимальная частота сообщений будет определяться инерционностью цели, поэтому в большинстве случаев необходимым и достаточным временным интервалом передачи сообщений с актуальным значением навигационной постоянной следует считать интервал в одну секунду.

Учитывая вышеупомянутые требования к каналу связи, можно сделать вывод о предпочтении широкополосных сигналов с прямым расширением спектра псевдослучайной последовательностью и двухпозиционной фазовой модуляцией, обладающих наибольшей помехоустойчивостью и скрытностью.

### **Библиографический список**

1. Патент РФ № 2181869, МПК 7F41G7/22, F42B15/01. Способ полупассивного самонаведения управляемых ракет класса «воздух–воздух» с радиолокационной головкой самонаведения / Павлов В. И., Маштак А. А., Зайцев Д. В. ; зарегистрировано в Гос. реестре изобретений РФ 27.04.2002 г. ; Бюл. № 12.

2. Меркулов, В. И. Многопозиционные радиолокационные системы управления. Возможности и ограничения / В. И. Меркулов // Радиотехника. – 2013. – № 1. – С. 69 – 72.

3. Аксенов, В. В. Применение байесовского подхода для оценки сигнально-помеховой обстановки канала передачи информации технологической системы связи / В. В. Аксенов, В. И. Павлов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 2. – С. 284 – 290.

*Статья подготовлена при поддержке РФФИ, грант № 20-08-00091*

# МОДЕМ РАДИОСВЯЗИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛУПАССИВНОГО САМОНАВЕДЕНИЯ

**С. Н. Калашников, Т. В. Аксенова**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: snk8686@bk.ru; akstan8686@gmail.com)

Самонаведение полупассивным способом [1] беспилотного летательного аппарата (БПЛА) осуществляется методом пропорциональной навигации. По каналу связи от носителя зондирующего сигнала передается только навигационная постоянная, представляющей собой одно число. Значение навигационной постоянной влияет на скорость маневрирования и сказывается на точности наведения. Достаточной периодичностью сообщений с актуальным значением навигационной постоянной составляет одну секунду. Командный канал радиосвязи при реализации самонаведения БПЛА должен обладать [6 – 10] высокими характеристиками надежности, помехоустойчивости, скрытности, криптозащищенностью от воздействия имитационных помех.

Анализ мировых тенденций индустрии систем связи для нужд БПЛА показывает перспективность режима мультиплексирования сигналов с кодируемым ортогональным частотным уплотнением COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM). Его преимущество состоит в высокой спектральной эффективности (так как сигналы имеют близкую к прямоугольной форму огибающей спектра) в относительной простоте реализации на базе методов цифровой обработки, в устойчивости к межсимвольной интерференции, в устойчивости к многолучевому распространению и в возможности использования наиболее помехоустойчивых видов модуляции [11] (таких как квадратурная фазовая модуляция QPSK (quadrature phase shift keying) и двоичная фазовая модуляция BPSK (binary phase shift keying)).

На основании вышеизложенных требований рассмотрим наиболее подходящие аппаратные платформы передачи данных (Радиомодем) для реализации ППС на борту БПЛА. Со стратегической точки зрения, предпочтение предоставим образцам модемов отечественного производства.

Одним из достойных образцов модема является АПД БЛА компании ООО «Каскад» (г. Зеленоград), представляющий собой модем, выполненный на кристалле «Каскад-1» [11] собственного производства.

Модемом данного производителя оснащен вертолетный БПЛА радиоразведки «Ворон-120».

Другим достойным образцом модемов является аппаратура связи БПЛА АО «НПФ «Микран» (г. Томск) [12]. Аппаратура связи БПЛА функционирует в

частотном диапазоне 390...645 МГц. В зависимости от программного обеспечения аппаратура поддерживает два режима работы: либо режим OFDM, ориентированный на множественный доступ, со скоростью передачи данных до 35,2 Мбит/с, либо режим DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), ориентированный на максимальную энергетику радиоканала и большую дальность связи (до 300 км).

Проведя сравнение рассматриваемых образцов радиомодемов в плане реализации ППС, можно сделать вывод о предпочтении модема от производителя АО «НПФ «Микран» ввиду большей универсальности, обусловленной поддержкой режимов OFDM и DSSS, а главное, более низким частотным диапазоном функционирования, обеспечивающим меньшее затухание передаваемых сигналов и большую дальность связи. Данная аппаратура может стать основой перспективной системы связи БПЛА, наводящегося на цель полупассивным способом.

### **Библиографический список**

1. Патент № 2181869 Российская Федерация, МПК F41G 7/22, F42B 15/01. Способ полупассивного самонаведения управляемых ракет класса «воздух– воздух» с радиолокационной головкой самонаведения / Павлов В. И., Маштак А. А., Зайцев Д. В. ; заявитель и патентообладатель Тамбовский военный авиационный инженерный институт. – № 2000100556/02 ; заявл. 10.01.2000 ; опубл. 27.04.2002 ; Бюл. № 12. – 3 с.

2. URL: [https://671b5e99-c97b-4521-adcd-b8a70cda0896.filesusr.com/ugd/ea2e27\\_b5a2fa0556b64aeda7151d2b6efa3957.pdf](https://671b5e99-c97b-4521-adcd-b8a70cda0896.filesusr.com/ugd/ea2e27_b5a2fa0556b64aeda7151d2b6efa3957.pdf) (дата обращения: 11.04.2022).

3. URL : <https://micrannpf.nt-rt.ru/images/manuals/1-13.pdf> (дата обращения: 11.04.2022).

*Статья подготовлена при поддержке РФФИ, грант № 20-08-00091*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕВОЖНО-ФОБИЧЕСКИХ РАССТРОЙСТВ ПРИ ПОГРУЖЕНИИ В ВИРТУАЛЬНУЮ РЕАЛЬНОСТЬ**

**А. Ю. Тычков, Д. С. Чернышов, Н. С. Бофанова**  
**Пензенский государственный университет, Россия, Пенза**  
(e-mail: [tychkov-a@mail.ru](mailto:tychkov-a@mail.ru))

На современном этапе развития общества наблюдается тенденция к развитию тревожно-фобических расстройств. Согласно статистике, всего 34% людей земного шара признают и осознают наличие у них конкретной фобии,

а 60% понимают, что чего-то боятся, однако понимание конкретной фобии отсутствует, и непонятно, как в случае внезапного возникновении ситуации, вызывающей фобический страх, человек себя поведет и сможет ли он удержать себя в руках. Как правило, переживая страх в провоцирующей обстановке, ситуации, пациенты пытаются сопротивляться ему, ослаблять его интенсивность, искать способы борьбы с ним, используя различные приемы и отвлечения [1].

Выделяется следующая классификация тревожно-фобических расстройств [2].

1. Агорафобия – синдром измененного пространственного восприятия, когнитивных искажений относительно безопасного передвижения, вызванных страхом ограничений подвижности. Людям с агорафобией свойственна боязнь и избегание общественных мест и больших скоплений людей.

2. Социальные фобии – наиболее распространенное тревожное расстройство, ему свойственно крайнее избегание и постоянный страх перед большинством социальных ситуаций.

3. Специфические фобии – навязчивый страх определенных животных (например, собак, кошек, пауков, змей), людей (например, клоунов, дантистов, врачей), окружающей среды (например, темных мест, гроз, высоких мест) или ситуаций (таких как летать на самом самолете, ехать на поезде, находиться в очень замкнутом пространстве, страх лифтов).

Для постановки диагноза и оценки тяжести состояния пациентов врачами применяется субъективный сбор анамнеза, а также интерпретация психометрических шкал, которые также имеют субъективный характер. В настоящее время отсутствие объективной инструментальной диагностики тревожно-фобических расстройств может приводить к необъективной интерпретации результатов и, как следствие, неправильной постановке диагноза. На современном этапе рынок VR для медицины неуклонно растет, но несмотря на значительное количество готовых программно-аппаратных решений, существует явный пробел в области исследований, посвященных вопросу применения технологии виртуальной реальности в лечении пациентов с тревожно-фобическими расстройствами; работы, в которых виртуальную среду используют как диагностический инструмент, – единичны [3].

Авторами настоящей статьи выдвинута гипотеза о наличии объективных электрофизиологических маркеров, которые ассоциированы с уровнем тревоги у пользователя, их можно использовать для диагностики тревожно-фобических расстройств у человека, находящегося в среде виртуальной реальности непосредственно в момент регистрации физиологических данных. Это позволит отойти от субъективной оценки по шкалам психоэмоционального состояния

человека (ответы на вопросы могут быть даны необъективно), заменив их оценкой объективных электрофизиологических маркеров, зарегистрированных в среде виртуальной реальности [4].

Для эффективной и оперативной постановки диагностических заключений о наличии тревожно-фобических расстройств необходимо совершенствование существующих и разработка новых способов диагностики и лечения, в том числе с применением ВР.

### **Библиографический список**

1. Virtual Reality Implementation for Assessment and Treatment of Phobic Anxiety Disorders / A. Yu. Tychkov, D. S. Chernyshov, N. S. Bofanova, A. K. Alimuradov, D. L. Ovchinnikov, A. M. Sotnikov // 5th Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA), Sept. 13 – 15, 2021, Kaliningrad, Russia. – P. 202 – 205. – DOI: 10.1109/DCNA53427.2021.9587127

2. Клинические рекомендации «Тревожно-фобические расстройства». Российское общество психиатров.

3. Технология виртуальной реальности как современное направление в реабилитации пациентов с фантомной болью / Н. С. Бофанова, А. А. Буланов, А. С. Яворский, Е. В. Алехина // Российский журнал боли. – 2021. – № 19(2). – С. 33 – 37.

4. Применение VR для контроля и коррекции фобических тревожных расстройств / А. Ю. Тычков, Д. С. Чернышов, Н. С. Бофанова, А. К. Алимуратов, Д. Л. Овчинников, А. М. Сотников // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2021. – № 4(38). – С. 84 – 92.

## **АЛГОРИТМ ДАЛЬНОМЕРНОГО КАНАЛА С АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИЕЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

**В. В. Терехов, Д. О. Жалнин, Ю. Н. Панасюк**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

**(e-mail: Vladimir98.98@mail.ru; zhalnin10@mail.ru)**

Для разработки алгоритма дальномерного канала с адаптивной фильтрацией используем трехмерную модель для оценки фазовых координат воздушных судов (ВС) [1 – 3]:

$$\left. \begin{aligned} D(k) &= D(k-1) + V(k-1)T + 0,5a(k-1)T^2; \\ V(k) &= V(k-1) + a(k-1)T; \quad a(k) = (1 - \alpha_\phi T)a(k-1) + \xi_a(k-1), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

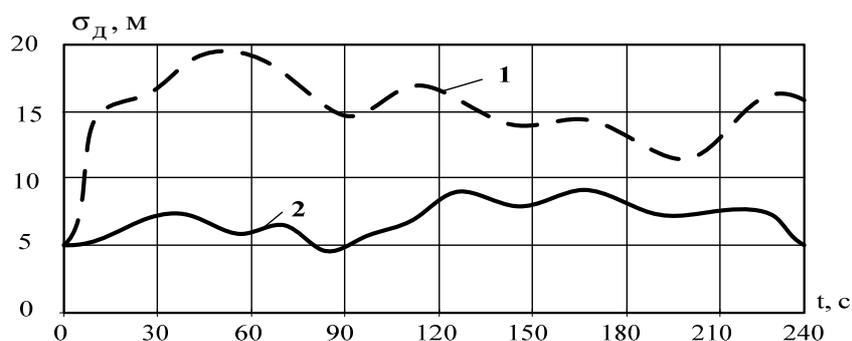
где  $D$ ,  $V$ ,  $a$  – дальность, скорость, ускорение ВС по линии визирования соответственно;  $\alpha_\phi$  – постоянная времени маневра;  $\xi_a(k)$  – гауссовский шум.

Для повышения точности оценки  $D$ ,  $V$ ,  $a$  целесообразно в алгоритме дальномерного канала проводить оценки ковариационной матрицы невязок  $R_o(k)$  и ковариационной матрицы вектора состояния  $P_{\phi_0}(k)$ . На основании модели состояния (1), измерения  $D_{\text{и}}$  и с учетом выражений калмановской фильтрации [1, 2, 4] получен следующий алгоритм фильтрации дальномерного канала:

$$\left. \begin{aligned} D_o(k) &= D_\phi(k) + K_{\phi 11}(k)\Delta D; \quad V_o(k) = V_\phi(k) + K_{\phi 21}(k)\Delta D(k); \\ a_o(k) &= a_\phi(k) + K_{\phi 31}(k)\Delta D; \quad \Delta D(k) = D_{\text{и}}(k) - D_\phi(k); \\ D_\phi(k) &= D_o(k-1) + V_o(k)T + a_o(k)T^2 / 2; \\ V_\phi(k) &= V_o(k-1) + a_o(k-1)\tau; \quad a_\phi(k) = (1 - \alpha_\phi T)a_o(k-1); \\ R_o(k) &= \frac{1}{N} \sum_{i=i_0}^k \Delta D(k)\Delta D^T(k) - HP_\phi(k)H^T; \\ P_{\phi_0}(k) &= \lambda(k)\Phi(k)P_o(k-1)\Phi^T(k) + Q_x(k); \\ \lambda(k) &= \max \left\{ 1, \frac{\text{tr} \left[ C_o(k) - R_o(k) - HQ_x(k)(k)H^T \right]}{\text{tr} \left[ H\Phi P_o(k)\Phi^T H \right]} \right\}; \\ C_o(k) &= \frac{\lambda(k-1)\Delta z(k-1)\Delta z^T(k-1)}{1 + \lambda(k-1)}; \\ K_\phi(k) &= P_{\phi_0}(k)H^T \left\{ HP_{\phi_0\phi}(k) \cdot H^T(k) + R_o(k) \right\}^{-1}; \\ P_o(k) &= P_{\phi_0}(k) - K_\phi(k) \cdot HP_{\phi_0}(k). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

На основании полученного алгоритма (2) было проведено имитационное моделирование для маневра ВС «большая коробочка». Результаты моделирования представлены на рис. 1 – графики изменения зависимости средней квадратичной погрешности (СКП) дальности от времени: 1 – в дальномерном канале использовался алгоритм без адаптации фильтра [1]; 2 – в дальномерном канале использовался алгоритм с адаптацией фильтра (2).

Таким образом, использование алгоритма дальномерного канала с адаптивной фильтрацией позволяет повысить точность оценки дальности в 1,4 раза, по сравнению с таким же фильтром без адаптации.



**Рис. 1. Зависимость СКП дальности от времени**

### **Библиографический список**

1. Indication of Relative Motion Intensity of Aerodynamic Object and Meters with Different Physical Nature / S. N. Danilov, S. P. Moskvitin, Yu. N. Panasyuk, A. P. Pudovkin, R. R. Shatovkin, L. G. Varepo, I. V. Nagornova // Paper presented at the Journal of Physics : Conference Series, 1901 – 2021.

2. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics : Conference Series. – Vol. 1015, Issue 3, article id. 032111. – 2018.

3. Ivanov, A. V. Quasi-Optimal Algorithms for Detection, Identification, and Adaptive Estimation for Information Processing in Navigation Systems of Mobile Ground Objects Based on Satellite Radio Navigation Systems / A. V. Ivanov, V. O. Surkov, D. V. Komrakov // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2020. – № 6(65). – P. 609 – 618.

4. Ivanov, A. V. Adaptive Algorithms for Information Processing in Navigation Complexes of Mobile Ground Objects / A. V. Ivanov, V. Yu. Shishkin, D. V. Boikov, A. A. Ivanov, N. A. Lezhneva // Journal of Communications Technology and Electronics – 2021. – № 8(66). – P. 926 – 937.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Н. А. Кольтюков, В. Р. Тернавка, М. А. Крушатина, И. Н. Фетисов**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: [ternavkalera@yandex.ru](mailto:ternavkalera@yandex.ru))

Любое предприятие, занимающееся производством и переработкой полимерных материалов, использует в своей деятельности различное энергоёмкое оборудование.

Рассмотрим обобщенную структуру системы энергосберегающего управления сложным объектом. В качестве примера подобной сложной системы возьмем два объекта – гидравлический вулканизационный пресс и смесительную машину. На рисунке 1 показана структурная схема управления единичным приемником энергии.

Код управления в соответствии с оптимальной программой поступает на управляющий преобразователь, согласующий работу цифрового выхода контроллера и аналогового управляющего входа симистора. В зависимости от поступившего кода изменяется угол открытия симистора и регулируется мощность приемника энергии.

На вход АЦП контроллера подается как информация с датчиков приемника энергии, так и информация о величине сетевого напряжения. Последняя необходима для обеспечения работоспособности оптимальных управляющих программ в случаях отклонения сетевого напряжения от номинального значения. Обобщенная структурная схема энергосберегающего управления объектом, представляющим сложную систему, показана на рис. 2.

Код управляющего воздействия по каналам 3 поступает на устройство согласования с объектом (УСО). УСО в соответствии с полученным кодом вырабатывает управляющее воздействие, которое по каналам 1 поступает на управляющие электроды симметричных тиристоров, установленных непосредственно в самом объекте и осуществляющих подачу питания на приемники энергии.

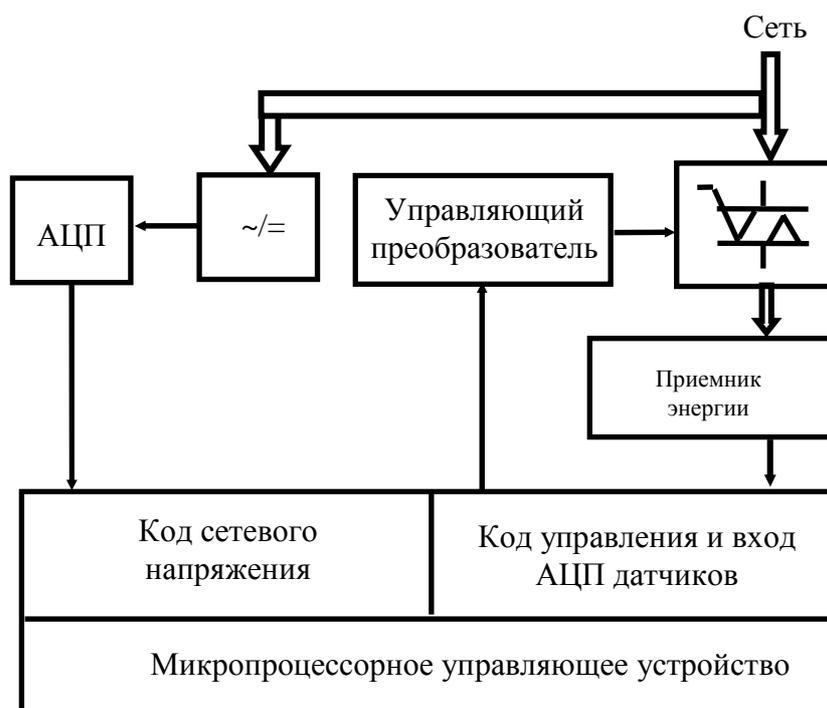


Рис. 1

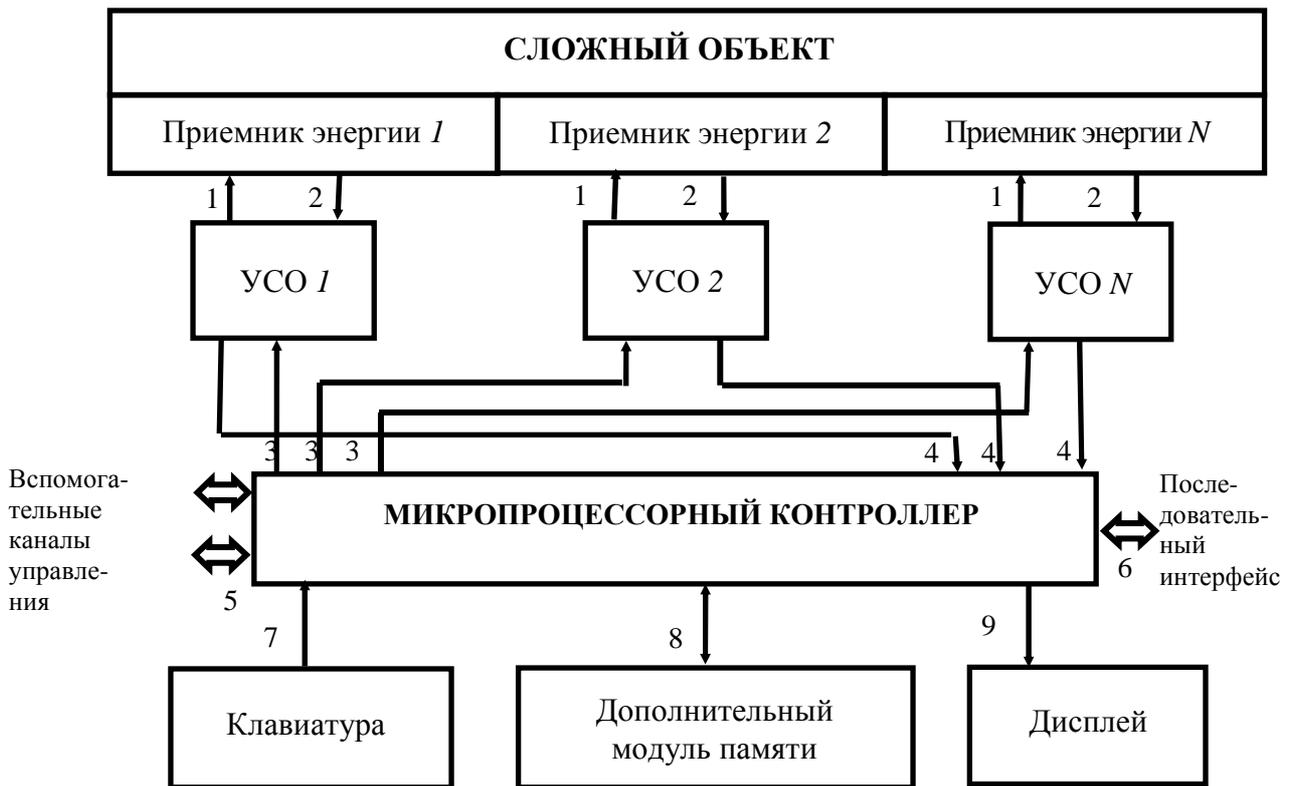


Рис. 2

Код управляющего воздействия по каналам 3 поступает на устройство согласования с объектом (УСО). УСО в соответствии с полученным кодом вырабатывает управляющее воздействие, которое по каналам 1 поступает на управляющие электроды симметричных тиристоров, установленных непосредственно в самом объекте и осуществляющих подачу питания на приемники энергии. Сигналы с датчиков, установленных на объекте, поступают по каналам 2 в УСО, где усиливаются и подаются по каналам 4 на многоканальный АЦП контроллера. На этом этапе контроллер проводит как управление подсистемами, так и осуществляет анализ и глобальное управление. Посредством вспомогательных каналов 5, в случае необходимости, осуществляется дополнительное управление системой оптимального управления, например, в составе АСУ ТП. С помощью последовательного интерфейса 6 возможно подключение системы к контрольно-отладочным устройствам, информационным системам, средствам АСУ ТП и другим устройствам. Клавиатура, подключаемая каналом 7 к микропроцессорному контроллеру, предназначена для ввода корректив, смены алгоритмов управления и других отладочных операций. Дополнительный модуль памяти может быть подключен к системе в случае необходимости реализации значительного количества оптимальных программ, и в том числе, если эти программы невозможно разместить полностью в элементах памяти, установленных непосредственно на плате контроллера.

Реализация энергосберегающего управления на сложном объекте существенно повышает требования к разработке математического, алгоритмического, программного обеспечения. Это обусловлено как реализацией энергосберегающего управления на нескольких приемниках энергии, так и внутрисистемными связями в объекте [3, 4].

Решение задач энергосберегающего управления сложными системами является крайне сложной, но вместе с тем и необычайно актуальной задачей, решение которой позволит значительно снизить необоснованные затраты энергии на производство и одновременно перевести технологические процессы в более жесткие качественные рамки.

### **Библиографический список**

1. Белоусов, О. А. Энергосберегающее управление группой мощных аппаратов с электронагревом / О. А. Белоусов, Н. А. Кольтюков, Ю. Т. Зырянов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2015. – № 5(65). – С. 27 – 29.

2. Данилов, С. Н. Алгоритм сопровождения с реконfigurацией модели / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Вестник ТГТУ. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 418 – 423.

3. Данилов, С. Н. Мультиmodelный алгоритм сопровождения со сниженными вычислительными затратами / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Р. А. Ефремов // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах : тез. докл. 2-й Междунар. конф. с элементами научной школы. Тамбов, 22–24 апреля 2015 года. – Тамбов, 2015. – С. 304–305.

## **РАЗРАБОТКА МЕМРИСТОРНЫХ ОПТОДАТЧИКОВ**

**И. А. Филин, В. П. Жалнин**

**Московский государственный технический университет**

**имени Н. Э. Баумана, Россия, Москва**

**(e-mail: [filinia@student.bmstu.ru](mailto:filinia@student.bmstu.ru))**

Основными вычислительными мощностями электронных устройств в настоящее время являются изделия, выполненные на основе технологии интегральной кремниевой электроники. Данная технология достигла своего пика в максимальной тактовой частоте, которая равняется 10 ГГц. Для преодоления данного значения и, как следствие, увеличения вычислительных мощностей, обратим взгляд в сторону ОИС (оптических интегральных схем), на основе

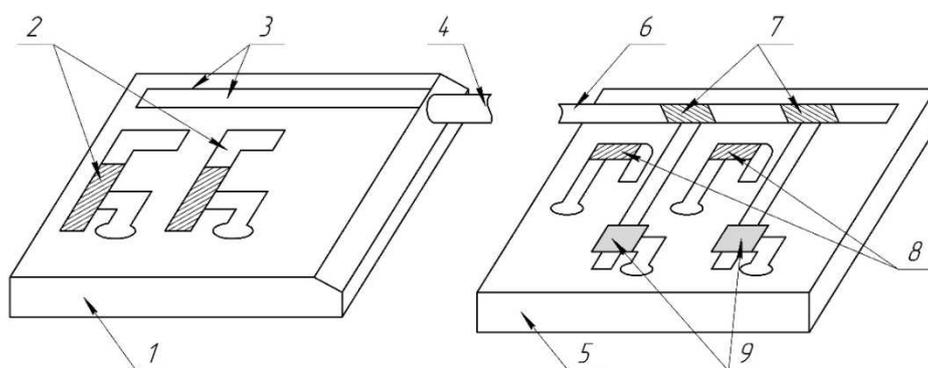
которых в перспективе можно реализовать терагерцовую вычислительную систему [1].

Основные преимущества волокно-оптических соединений в электронике и, в частности, в проектировании микросхем [2].

1. Невосприимчивость к электромагнитным помехам (ЕМП).
2. Отсутствие риска «короткого» замыкания.
3. Безопасность, связанная с радиоперехватом или прослушиванием.
4. Малые потери при передаче.
5. Большая пропускная способность (возможна реализация мультиплексирования).
6. Малый вес и габариты.

Передача информации между блоками внутри ОИС и между двумя различными микросхемами идентична. На основе схемы монолитной системы ОИС будет продемонстрирован состав основных частей ОИС и логика передачи информации, схема представлена на рис. 1. На данной схеме представлено несколько передатчиков, которые работают на разных частотах.

При помощи интегральных детекторов осуществляется прием информации. Детекторы, используемые в ОИС, должны обладать высокой чувствительностью, коротким временем отклика, большой квантовой эффективностью и малым энергопотреблением. Немаловажной характеристикой детектора является частота, на которой он работает. При проектировании детекторов, на текущий момент, частоту приема устанавливают физически при проектировании, и изменить ее при эксплуатации не представляется возможным. Но что, если спроектировать фотоприемник на основе мемристорной структуры, которая может запоминать длину волны?



**Рис. 1. Схема монолитной системы ОИС:**

- 1 – чип передатчика; 2 – излучатели с распределенной обратной связью;  
3 – пассивные направленные ответвители; 4, 6 – элемент связи (оптическое оптоволокно);  
5 – чип приемника; 7 – селективные частотные фильтры; 8 – местные излучатели с распределенной обратной связью; 9 – интегральные детекторы

В компании Hewlett Packard Labs был спроектирован лазер, на основе мемристорной структуры, который мог «запоминать» длину волны, требуемой для его использования [3]. После снятия питания с устройства, «настройка» данного лазера осталась прежней.

Принципы разработки в HP Labs можно перенести на разработку фотоприемника для ОИС. Устройство будет представлять собой мемристор, верхний электрод которого прозрачный, далее идет слой из тонкого диэлектрика, представляющего собой фоточувствительный слой, нижний электрод будет коммутироваться с электрической цепью. При подаче потенциала на электроды можно изменять оптические характеристики диэлектрика и тем самым менять длину принимаемой волны. Преимуществом мемристорной структуры является сохранение последнего состояния после снятия потенциала с электродов. Таким образом, можно создать мемристорный оптодатчик с изменяемым спектром фоточувствительности.

### **Библиографический список**

1. Тамир, Т. Волноводная оптоэлектроника / Т. Тамир. – М. : Мир, 1991.
2. Хансперджер, Р. Интегральная оптика / Р. Хансперджер. – М. : Мир, 1985.
3. HPE Invents First Memristor Laser [Электронный ресурс]. – URL : <https://spectrum.ieee.org/hpe-invents-first-memristor-laser>

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЯЧЕЕК**

**А. А. Фирсов**

**Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана, Россия, Москва  
(e-mail: firsov1998@yandex.ru)**

Печатные платы, являющиеся основой большинства электронных устройств, предназначены для обеспечения электропроводности и передачи аналоговых и цифровых сигналов между компонентами, размещенными на данных платах. Электрический ток, перемещаясь по проводникам печатной платы, выделяет тепло. Кроме этого, тепло выделяют и силовые компоненты, такие как МОП-транзисторы, IGBT-транзисторы, преобразователи и т.п. Хотя напряжение питания высокоинтегрированных логических устройств постепенно снижается, данные устройства также выделяют значительное количество тепла как

из-за высоких рабочих частот, так и из-за интенсивного использования очень сложных алгоритмов [1].

Температура *p-n*-перехода современных компонентов на основе кремния может при работе достигать 120...130 °С. Однако необходимо избегать достижения этого значения, в противном случае, остаточный срок службы компонента будет быстро сокращаться. Фактически подсчитано, что повышение рабочей температуры на 20 °С из-за неэффективного управления температурой может сократить срок службы компонентов до 50%. Например, светодиоды высокой яркости преобразуют более 60% поглощаемой мощности в тепло и поэтому требуют специальных печатных плат, способных выдерживать высокие температуры без повреждения компонентов. Растущая популярность полупроводников с широкой запрещенной зоной (WBG), таких как нитрид галлия (GaN) и карбид кремния (SiC), позволила компонентам достигать более высоких рабочих температур, чем технология на основе кремния. Однако это не устранило необходимость в точном тепловом управлении, способном равномерно распределять вырабатываемое тепло, избегать образования опасных точек накопления тепла (горячих точек) и минимизировать потери электроэнергии.

На стадии проектирования печатных плат термография может быть использована для визуализации чрезмерного нагрева определенных компонентов [2, 3]. Это может быть вызвано целым рядом дефектов, в том числе короткими замыканиями, неправильно установленными компонентами и недостаточным количеством олова во время пайки.

Тепловизионная съемка играет важную роль в одновременном контроле большого количества установленных печатных плат, а также может способствовать немедленному обнаружению широкого спектра проблем после установки печатных плат. Если, например, какой-либо компонент установлен неправильно, другие компоненты могут подвергнуться значительному нагреву. На первом этапе традиционного тестирования оборудования такого рода дефекты часто остаются незамеченными. Однако при длительной эксплуатации устройства компоненты могут перестать функционировать из-за высоких температур, вследствие чего устройство может перестать работать. Обозначенные проблемы могут быть обнаружены с помощью тепловизионной камеры сразу после монтажа и активации печатной платы без какой-либо необходимости в функциональном тестировании. Оператор обнаружит любое отклонение от нормы, сравнив тепловые изображения функциональной печатной платы с тестируемой печатной платой, даже если он ничего не знает о конструкции печатной платы.

В целом, термография в настоящее время заняла прочное место в разработке, а также в тестировании электроники и электротехники как метод неразрушающего контроля, позволяющий исследовать динамические и статические тепловые процессы, а также обеспечивающего возможность не только контроля, но и прогнозирования качества материалов и изделия, высокое быстродействие и производительность.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ Р 56511–2015. Контроль неразрушающий. методы теплового вида. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200122219> (дата обращения: 22.04.2022).

2. ГОСТ Р ИСО 18434-1–2013. Контроль состояния и диагностика машин. термография. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200107555> (дата обращения: 22.04.2022).

3. Инфракрасные датчики длинноволнового диапазона на квантовых ямах / С. Смук, Ю. Кочанов, М. Петрошенко, Д. Соломицкий // Компоненты и технологии. – 2014. – № 1. – URL : <https://kit-e.ru/wp-content/uploads/15020.pdf> (дата обращения: 18.04.2022).

## **АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОТ ДРОНОВ**

**А. А. Худяков**

**МИРЭА – Российский технологический университет, Россия, Москва**  
(e-mail: [hudyakov@mirea.ru](mailto:hudyakov@mirea.ru))

Из российских систем защиты от дронов – беспилотных летательных аппаратов (БЛА) следует отметить ряд наиболее распространенных на практике комплексов и систем.

Системы обнаружения «Соловей-2» (рис. 1) и «Снегирь» (рис. 2) с дальностью действия до 1500 м предназначены для автоматического обнаружения и идентификации радиосигналов БЛА, а также передачи сигнала тревоги на пост охраны. Они обеспечивают обнаружение как профессиональных БЛА, так и БЛА нижнего ценового сегмента на основе выявления поступающего с видеокамеры сигнала оператору БЛА.

Комплексы обнаружения и защиты от БЛА «Стриж-3» (рис. 3) и «Скворец» (рис. 4) обеспечивают создание пространственного барьера от проникновения БЛА на территорию охраняемого объекта путем обнаружения радиосиг-



Рис. 1. Система обнаружения БЛА «Соловей-2»



Рис. 2. Мобильная система обнаружения БЛА «Снегирь»



Рис. 3. Комплекс обнаружения и защиты от БЛА «Стриж-3»



Рис. 4. Мобильный комплекс обнаружения и защиты от БЛА «Скворец»



Рис. 5. Система обнаружения дронов (детектор дронов) Aeronia

налов БЛА и последующей постановкой помех в диапазонах частот каналов управления и/или (на выбор оператора) сигналов навигации: Beidou/Galileo/Glonass/GPS.

Система обнаружения дронов (детектор дронов) Aeronia (рис. 5) предназначена для обнаружения несанкционированного вторжения БЛА и основана на направленном измерении электромагнитного излучения дронов в реальном времени. Детектор дронов не имеет ограничений по дальности применения – обычно дальность равна или превышает расстояние между дроном и оператором и всегда зависит от мощности приемопередатчиков оператора и дрона. В зависимости от типа БЛА, это расстояние может превышать несколько километров.

Радар обнаружения БЛА «Стопдрон-Горизонт» предназначен для дальнего (до 10 км) обнаружения малозаметных воздушных целей (ВЦ). Благодаря

специализированной обработке отраженного сигнала происходит ее распознавание в качестве дрона. Радар выполняет функцию раннего обнаружения БЛА за пределами объекта на больших дистанциях, а также позволяет распознать дроны со слабовыраженными разведпризнаками: следующие автономно по полетному заданию, работающие на нетипичных радиочастотах.

Комплекс оптического распознавания и направленного прерывания сигнала БЛА «Стопдрон-Импульс» наводится на ВЦ по координатам, получаемым от радара. После этого происходит подтверждение ВЦ в качестве БЛА по визуальным параметрам.

Система направленного/триангуляционного радиочастотного обнаружения БЛА «Стопдрон-Пеленг» позволяет обнаруживать источники радиосигнала на объекте и вокруг него. Благодаря специализированной базе данных определяется принадлежность радиосигнала к цели класса «БЛА», происходит идентификация марки и протокола БЛА.

Все три элемента могут быть сведены в единый комплекс защиты от БЛА «Стопдрон-Арсенал» (рис. 6), который предназначен для обнаружения и противодействия БЛА путем многофакторного мониторинга воздушного пространства и направленного прерывания сигнала дронов. Элементы комплекса размещаются таким образом, чтобы сформировалась область эшелонированной защиты от БЛА.



Рис. 6. Интегрированный комплекс защиты от БЛА «Стопдрон-Арсенал»

## ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОПРОВОЖДЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ РАСПОЗНАВАНИЯ ЕГО ТИПА

А. А. Худяков, Р. Р. Шатовкин

МИРЭА – Российский технологический университет, Россия, Москва

(e-mail: hudyakov@mirea.ru)

Решение задачи сопровождения беспилотного летательного аппарата (БЛА) с учетом распознавания его типа подразумевает реализацию следующих этапов.

1. Выбор критериев оптимальности обработки информации.
2. Обоснование объема и конкретного вида априорной информации: условий применения алгоритмов и ограничений; моделей движения БЛА и используемых измерителей; законов распределения и статистических характеристик возмущений.
3. Разработка алгоритмов обработки информации, оптимальных по выбранным критериям с учетом всех накладываемых ограничений.

При сопровождении БЛА целесообразно использовать критерий минимума среднеквадратического отклонения (СКО):  $\sigma_{\hat{D}} \rightarrow \min$ ,  $\sigma_{\hat{V}} \rightarrow \min$ ; а при распознавании типа БЛА – критерий максимума апостериорной вероятности.

Для реализации успешного сопровождения БЛА точность выходных данных алгоритма обработки информации должна обеспечивать постоянное нахождение БЛА в стробе сопровождения, т.е. СКО оценок дальности и радиальной скорости не должны превышать СКО первичных измерителей этих параметров:  $\sigma_{\hat{D}} \leq \sigma_{Du}$ ,  $\sigma_{\hat{V}} \leq \sigma_{Vu}$ .

Для реализации успешного распознавания типа БЛА необходимо использовать критерий распознавания « $n$  из  $n$ », позволяющий гарантированно правильно определить тип БЛА.

Процесс изменения дальности и скорости БЛА является динамичным и охватывает все типы движения (для БЛА-самолета), так и зависание (для коптера). Поэтому в разрабатываемых алгоритмах сопровождения и распознавания типа БЛА следует использовать обобщенную математическую модель движения, включающую в качестве состояний частные модели, описывающие каждый тип движения БЛА.

Изменение дальности и скорости БЛА в общем виде можно описать уравнением [1]

$$x_k + 1 = \varphi(x_k, s_k) + \xi(s_k); \quad k = \overline{0, K}, \quad (1)$$

где  $x_k$  – вектор фазовых координат;  $\varphi(x_k, s_k)$  – известная векторная функция;  $\xi(s_k)$  – формирующий шум, не зависящий от вектора фазовых координат в начальный момент времени  $x_0$  и описываемый заданной плотностью распределения вероятностей;  $s_k$  – индекс структуры состояния модели, имеющий в рассматриваемом случае три возможных состояния  $s_k = \overline{1, 3}$  (наличие маневра, отсутствие маневра и зависание БЛА).

Модель измерителя в общем виде можно описать уравнением [1]

$$z_k = h(x_k) + \eta_k, \quad (2)$$

где  $z_k$  – вектор наблюдений;  $h(x_k)$  – известная векторная функция;  $\eta_k$  – шум наблюдения, описываемый заданной плотностью распределения вероятностей.

В общем случае формирующий шум модели представляется белым гауссовским, а шум наблюдения – гауссовским.

Решение задачи сопровождения БЛА с учетом распознавания его типа приводит к необходимости иметь автоматическую систему, состоящую из трех подсистем с различными структурами, основанными на частных моделях движения БЛА и предназначенных для обеспечения устойчивого к срыву сопровождения БЛА. Следовательно, движение БЛА можно описать как динамический объект со случайной скачкообразной структурой (ССС), а соответствующие алгоритмы сопровождения – как динамические системы (ДС) со СССР [1].

Процесс смены структуры ДС описывается в общем случае условной марковской цепью  $s_k$ , состояния которой  $s_k$  являются индексами структуры ДС – мгновенными значениями случайного процесса, имеющего конечное число возможных состояний ( $s_k = \overline{1, 3}$ ), сменяющих друг друга в случайные моменты времени с некоторой вероятностью. Каждое состояние  $s_k$  цепи связано с некоторыми характеристиками, определяющими структуру ДС – состояние обобщенной модели движения БЛА. Следовательно, структура ДС в каждый  $k$ -й момент времени случайна и в процессе функционирования системы меняется в соответствии с вероятностным механизмом, определяемым цепью  $s_k$ .

В общем виде ДС можно описать уравнениями (1) и (2), причем  $x_k$  и  $s_k$  образуют смешанную марковскую последовательность с заданным вероятностным описанием в виде начальных вероятностей  $p(s_0)$ , условных переходных вероятностей  $\mu(s_{k+1}|s_k)$ , а также условных начальных плотностей распределения вероятностей  $f(x_0|s_0)$  и условных переходных плотностей распределения вероятностей  $f(x_{k+1}|s_{k+1}, x_k, s_k)$ .

Таким образом, задача сводится к оцениванию вектора фазовых координат  $\mathbf{x}_k$  и индекса структуры  $s_k$  по наблюдениям  $z_k$ .

### **Библиографический список**

1. Бухалев, В. А. Распознавание, оценивание и управление в системах со случайной скачкообразной структурой / В. А. Бухалев. – М. : Наука. Физматлит, 1996. – 288 с.

## **ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЕ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА**

**Д. Д. Мельникова, С. П. Москвитин**

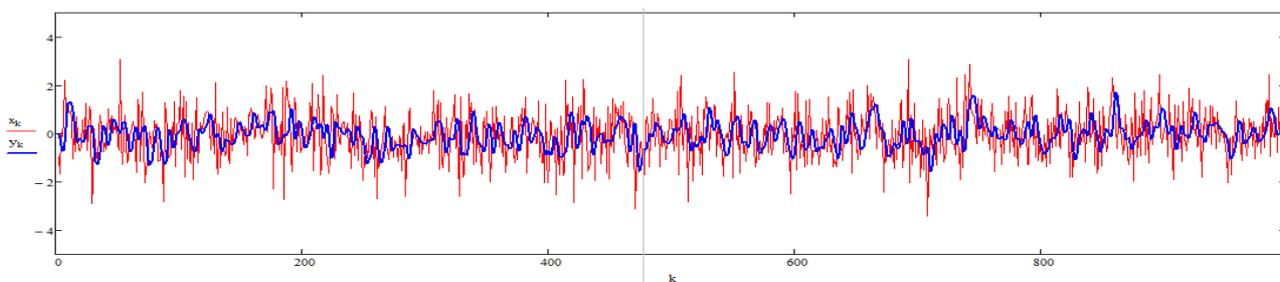
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

При современном уровне развития цифровой техники все большее распространение получает беспроводная связь. Она имеет множество важных достоинств перед проводными, такие как быстрота и надежность организации сети в труднодоступных местах, оперативное управление структурой сети, возможность быстрого добавления новых устройств и т.д. Но беспроводная передача данных накладывает также и ряд недостатков, в первую очередь – это возрастающее число помех, которое стремительно растет вместе с загруженностью частотного диапазона. Скорость и надежность работы сети становится определяющей для работы всего предприятия. Поэтому актуальными становятся задачи помехозащищенной передачи данных и оптимальной фильтрации сигналов.

В данной работе рассматривается вариант использования цифрового фильтра для систем удаленного мониторинга. Цифровой фильтр – в электронике – это любой фильтр, обрабатывающий цифровой сигнал в целях выделения и подавления определенных частот этого сигнала. В наше время цифровые фильтры намного лучше по своим свойствам, чем аналоговые. Благодаря цифровым фильтрам мы можем получать данные практически без искажений. Рассмотрим, как работает цифровой фильтр.

Для организации беспроводной сети используются маломощные радиочастотные передатчики стандарта IEEE 802.15.4 нелицензируемого диапазона 2,4 ГГц. Дальность связи между соседними узлами определяется условиями распространения сигналов и может достигать нескольких десятков метров.

Беспроводные сенсорные узлы с заданным периодом выполняют нормализацию и аналого-цифровое преобразование сигналов с подключенных к ним внешних датчиков, а также первичную обработку. Далее полученные результаты в виде пакета с цифровыми данными передаются в точку сбора по радиоканалу.



**Рис. 1. Шумовой сигнал, пропущенный через фильтр нижних частот**

Для большей наглядности было выполнено моделирование в MathCAD с использованием шумового сигнала и преобразования Фурье. Шумовой сигнал  $x_k$ , пропущенный через фильтр нижних частот, представлен на рис. 1.

В результате всех преобразований на выходе фильтра мы получили более плавный сигнал, который не содержит высокочастотных составляющих. Символы сигнала, проходя через фильтр, не искажаются. Из этого следует, что данная модель цифрового фильтра подходит по всем параметрам и может быть использована.

Таким образом, цифровая фильтрация используется как в проводных системах, так и в беспроводных, и обеспечивает высокую точность передачи и приема данных.

### **Библиографический список**

1. Пудовкин, А. П. Распространение радиоволн [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 180 с.
2. Макаренко, А. А. Расчет цифровых фильтров [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. А. Макаренко, М. Ю. Плотников. – СПб. : НИУИТМО, 2014. – 50 с.
3. Коберниченко, В. Г. Расчет и проектирование цифровых фильтров [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / В. Г. Коберниченко. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 64 с.

**Секция 2**  
**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ, ИНФОРМАЦИОННО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**  
**В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СВЯЗИ**

---

**ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ  
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ  
С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносков, П. А. Карелин**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: [pavel.karelin.74@yandex.ru](mailto:pavel.karelin.74@yandex.ru))

Среди различных групп электронных измерительных средств (ИС) широкое распространение имеют информационно-измерительные системы, позволяющие реализовать различные модели и алгоритмы измерений. Сложность и ответственность выполняемых такими ИС функций требует обеспечения необходимого уровня их метрологической надежности, которая должна закладываться при проектировании информационно-измерительных систем (ИИС) и обеспечиваться на этапе их эксплуатации.

Как показывают теоретические и практические исследования, метрологическая надежность ИИС однозначно определяется метрологической надежностью входящих в состав их измерительных каналов аналоговых блоков (АБ). Следовательно, для обеспечения требуемого уровня метрологической надежности ИИС в целом необходимо решить задачу обеспечения метрологической надежности составляющих АБ.

На этапе эксплуатации ИИС подвергается воздействию внешних факторов окружающей среды, таких как температура, влажность, давление и радиационное воздействие. При отклонении этих факторов от нормальных значений ускоряются необратимые процессы, возникающие в элементной базе ИИС и вызывающие изменения их параметров, что в свою очередь вызывает изменения метрологических свойств ИИС и сокращает время метрологической исправной работы исследуемых электронных ИС.

В связи с этим при оценке метрологической надежности ИИС методами аналитико-вероятного прогнозирования [1] необходимо учесть влияния условий эксплуатации при проведении процедуры математического моделирования метрологических характеристик АБ и ИИС в целом. Основным количествен-

ным показателем метрологической надежности является метрологический ресурс, определяемый временем пересечения реализаций нестационарного случайного процесса изменения во времени метрологических характеристик границ поля допуска [2, 3].

Алгоритм оценки МН в этом случае состоит из следующих этапов.

1. Формирование априорной информации (схема АБ ИИС, значения параметров элементной базы, начальные значения условий эксплуатации и др.).
2. Математическое моделирование АБ ИИС.
3. Статистическое моделирование метрологической характеристики исследуемого АБ с использованием построенных в п. 2 математических моделей.
4. Построение многофакторной математической модели изменения во времени метрологической характеристики с углом изменения параметров элементов и условий эксплуатации.
5. Определение метрологического ресурса АБ по построенной многофакторной модели.

Данный алгоритм может быть реализован в соответствующей информационно-аналитической системе, что позволит оперативно решить задачу оценки метрологической надежности каждого из составляющих аналоговых блоков и ИИС в целом.

### **Библиографический список**

1. Третьяков, В. В. Применение математического моделирования при анализе метрологической надежности проектируемых радиоэлектронных измерительных средств / В. В. Третьяков // Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнического обеспечения в управлении авиацией : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. курсантов, слушателей, молодых ученых, посвященный Дню образования войск связи. – Воронеж, 2013. – С. 207 – 209.
2. Чернышова, Т. И. Оценка эффективности прогнозирования показателей метрологической надежности информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносков, М. А. Каменская, П. А. Карелин // Цифровая трансформация в энергетике : сб. матер. Всерос. науч. конф. Тамбов, 17–18 декабря 2020. – Тамбов, 2020. – С. 209 – 212.
3. Чернышова, Т. И. Повышение метрологической надежности проектируемых аналоговых блоков информационно-измерительных систем с учетом условий эксплуатации / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Проблемы и перспективы развития науки и образования в XXI веке : матер. Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. А. И. Вострецова. – София; Нефтекамск, 2017. – С. 42 – 47.

# АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЭКРАНИРОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

О. П. Калашникова, П. Г. Андреев, Н. К. Юрков, Е. А. Данилова,  
А. К. Гришко

Пензенский государственный университет, Россия, Пенза

*Аннотация:* обеспечение электромагнитной совместимости, как средство защиты от электромагнитного излучения, эффективно при правильно подобранном способе защиты, а также при использовании экранов, материала. Расчет эффективности экранирования зависит от импеданса среды и материала, частоты поля, размеров и вида экрана.

*Ключевые слова:* РЭС; экранирование; экран; электромагнитное излучение; эффективное экранирование; электромагнитная совместимость.

## Введение

Для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) самым эффективным методом является экранирование.

Принцип действия экранирования заключается в размещении защитного экрана между источником излучения и защищаемым объектом.

При экранировании уменьшаются значения напряженности электромагнитного поля. Процесс защиты происходит при создании на поверхности экрана индуцированного тока или заряда, которые являются противодействующими источниками полей, присущими электромагнитным полям.

## Способы экранирования

Главными показателями при выборе сложности экранирования являются:

- характеристики излучения (частота, мощность и тип);
- требования к уровню излучения за пределами контролируемой зоны и размеров зоны;
- наличие или отсутствие других методов защиты;
- минимизация затрат.

Эффективностью экранирования (и фильтрации или развязки) называется отношение напряжений, токов, напряженностей электрического и магнитного полей в экранируемом пространстве или на конце фильтруемого провода при отсутствии и наличии экрана:

$$\mathcal{E} = U/U' = I/I' = E/E' = H/H'. \quad (1)$$

Для параметров  $\hat{k}$ ,  $Z_2$  данные уточняют по справочнику в зависимости от состава и условий применения материала.

Эффективность экранирования экранов с отверстиями и щелями (как несовершенства или технология изготовления) ниже, чем целостных (или идеальных) и рассчитывается следующим образом:

$$\mathcal{E} = 10 \lg \left| \frac{\sqrt{2} Z_1}{Z_2} \right| + A + 8,686B. \quad (2)$$

Вторым способом можно считать обеспечение плотного, без зазоров, прилегания всех частей корпуса друг с другом.

Для нужного обеспечения связи между металлическими составляющими корпуса могут понадобиться уплотнители или другие средства.

Третий способ обеспечения экранирования заключается в проведении силовых кабелей или кабели ввода/вывода сквозь корпус без создания утечки синфазных токов (токи, текущие в одном направлении по нескольким проводникам). Кабели являются одним из основных источников электромагнитного излучения из-за отсутствия соответствующей защиты – экрана, обеспечивающего надежное соединение с металлическим корпусом или без фильтрации синфазных помех на силовом разъеме либо разъеме ввода/вывода.

### **Вывод**

Таким образом, можно отметить важность обеспечения электромагнитной совместимости как внутри, так и снаружи устройства, как меру защиты от внешних воздействий. Рассмотрены основные способы ее обеспечения, а также экраны, применяемые для обеспечения защиты устройств от электромагнитных излучений.

### **Библиографический список**

1. Акбашев, Б. Б. Защита объектов телекоммуникаций от электромагнитных воздействий / Б. Б. Акбашев, Н. В. Балюк, Л. Н. Кечиев. – М. : Грифон, 2014. – 472 с.
2. Газизов, Т. Р. Электромагнитная совместимость и безопасность радиоэлектронной аппаратуры : учебное пособие / Т. Р. Газизов. – Томск : ТМЛ-Пресс, 2007. – 256 с.
3. Комнатнов, М. Е. Оценка эффективности экранирования корпуса соединителя бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / М. Е. Комнатнов, Т. Р. Газизов // Авиакосмическое приборостроение. – 2013. – № 4. – С. 37 – 42.

4. Комнатнов, М. Е. Эффективность экранирования унифицированных электронных модулей / М. Е. Комнатнов, Т. Р. Газизов, А. С. Дементьев // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Т. 55, № 7. – С. 89 – 92.

## **ОБЗОР ПЛИС. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**К. С. Катаев, С. Д. Кузнецов, Н. В. Горячев, А. В. Лысенко, И. И. Кочегаров**  
**Пензенский государственный университет, Россия, Пенза**

*Аннотация:* статья охватывает область, связанную с программируемыми логическими интегральными схемами (ПЛИС), в ней рассказывается об основных типах и архитектурах ПЛИС, а также затрагиваются перспективы развития ПЛИС и сферы их применения. Рассказана история появления ПЛИС, отечественных и иностранных языков описания аппаратуры.

*Ключевые слова:* ПЛИС; *HDL*; логические вентили; архитектура; языки описания аппаратуры.

### **Введение**

ПЛИС представляют собой цифровые интегральные схемы (ИС), которые состоят из программируемых логических блоков и программируемых соединений между этими блоками.

В настоящее время развитие микропроцессорных систем характеризуется применением комбинированных схем, расположенных на микроконтроллерах и больших программируемых интегральных схем (БИС) программируемой логики.

### **Архитектуры и типы ПЛИС**

В основном случае ПЛИС делятся на мелко модульные и крупномодульные. Это деление зависит от главной особенности ПЛИС – внутренняя структура, которая состоит из большого числа простых программируемых логических блоков.

Для ПЛИС, имеющих «мелкомодульную» архитектуру, характерно большое количество соединений внутри блоков и между ними.

Существуют различные типы ПЛИС. К наиболее актуальным из них относятся *CPLD* и *FPGA*.

ПЛИС (Программируемая Логическая Интегральная Схема) или же на английском языке *CPLD* (*Complex Programmable Logic Device*). ПЛИСы содержат в себе встроенную память – она содержит в себе инструкции (прошивку) при отключении питания. ПЛИС в основном строятся на матрицах макроячеек.

ППВМ (Программируемая Пользователем Вентильная Матрица) или же *FPGA* (*Field-Programmable Gate Array*) является следующей ступенью развития ПЛИС. Этот тип ПЛИС построен на логических блоках (вентильях), которые обладают гибкой коммутацией.

### **Перспективы развития ПЛИС и их применения**

В будущем Китай станет страной, которая будет получать большую прибыль с рынка *FPGA*. Опираясь на надежные инвестиции правительства и местных технологических компаний, страна уже является одним из ведущих разработчиков технологий искусственного интеллекта. В данный момент китайские разработчики сосредоточены на разработке чипсетов и ускорителей *AI* на основе *FPGA*.

Спрос на чипсеты *FPGA* для автомобилей, по прогнозам, может вырасти в среднем на 12% в ближайшие годы. Концепция внедрения электромобилей получила значительный импульс в европейских странах.

Ожидается то, что фабрики все больше будут переходить на Умные технологии для обеспечения качества и точности производимой продукции, в результате чего будут появляться все более продвинутые ПЛИС.

### **Заключение**

В настоящее время ПЛИС оказывает значительное влияние на разные сферы применения и в различных вычислительных системах. Основной особенностью ПЛИС является то, что ее можно менять, быстро адаптируя систему для решения новых типов задач. Разработки на ПЛИС можно делать защищенными от попыток кражи информации, данная особенность хорошо применяется в таких сферах, как, например, авиакосмической и военной, в них свое применение находит защита информации специализированных систем.

### **Библиографический список**

1. Максвилд, К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца / К. Максвилд. – М. : Додэка–XXI, 2007. – 408 с.
2. Бродин, В. Б. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики / В. Б. Бродин, А. В. Калинин. – М. : Изд-во ЭКОМ, 2002. – 400 с.
3. Реута, Н. С. Технология и области применения программируемых логических интегральных схем / Н. С. Реута, Н. В. Горячев, В. А. Трусков // Молодой ученый. – 2015. – № 2(82). – С. 190 – 192.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ВЫВОДА ИНФОРМАЦИИ

**Р. Д. Бараев, С. А. Бростилов, И. М. Рыбаков,  
А. В. Григорьев, А. Д. Цуприк**

**Пензенский государственный университет, Россия, Пенза**

*Аннотация:* статья посвящена рассмотрению конструкции устройства для отображения информации. Актуальность исследования обусловлена прогрессивным характером совершенствования технологий, в результате которого качественно меняется работа с информацией. Цель исследования заключается в определении и описании конструкции и компонентов устройства отображения информации. Проведенный анализ позволил автору сделать следующий вывод: на сегодняшний день наиболее прогрессивными и перспективными являются устройства, управление которых основано на цифровых принципах.

*Ключевые слова:* отображение информации; цифровые технологии; конструкция устройства; ЖК-матрица; органические светодиоды.

## **Введение**

В настоящее время особую актуальность получают вопросы, связанные с цифровым отображением информации, обусловленным спецификой обработки изображения (распознавание, классификация, анализ), а также повышением качества изображения, т.е. «усовершенствования зрительного восприятия наблюдателем». Для удобного восприятия человеком обработанной информации существуют технические средства, называемые устройствами изображения информации. Стоит задача совершенствования устройств отображения информации для корректного отображения полученного и обработанного сигналов.

Однако у подобных устройств существовал ряд недостатков, в частности, большие габариты (устройство занимало много места), а также «масса, чувствительность приборов на основе ЭЛТ к тряске, электромагнитное излучение». ЭЛТ является основным элементом многих мониторов и состоит из стеклянной герметичной колбы, один из концов которой – горловина – узкий и длинный. Для отображения информации в мониторах на основе электронно-лучевой трубки применялась электронная пушка, выдающая поток электронов под действием электростатического поля. Проходя через металлическую решетку/маску, электроны поступали на стеклянный экран с внутренней стороны, попадая на люминофоры и заставляя их светиться.

Жидкокристаллический дисплей представляет собой устройство отображения, состоящее из некоторого количества цветных/монохромных пикселей, расположенных перед зеркалом/источником света. Экран жидкокристаллических мониторов состоит из цианофенила, находящегося в жидком состоянии, однако это вещество обладает качествами, присущими кристаллическим телам. Среди преимуществ ЖК-мониторов: они не мерцают, в отличие от электронно-лучевых устройств отображения, имеют гораздо меньшие и удобные для повсеместного использования габариты, низкое энергопотребление (возможно использование в устройствах, работающих от батареек), слабое электромагнитное излучение.

Газоразрядный экран (плазменная панель) работает по принципу явления электрического разряда в газе, возбуждающего свечение люминофора. Электрический разряд в газе протекает между электродами сканирования и подсветки на лицевой стороне, а также электродом адресации на задней стороне экрана.

Таким образом, в ходе рассмотрения конструкции наиболее распространенных устройств отображения информации (в частности, мониторов) было выявлено, что в настоящее время более прогрессивными и перспективными являются устройства, управление которых основано на цифровых принципах. Кроме того, важно отметить, что на распространение УОТ влияют и физические параметры: так, на смену устройствам на основе электронно-лучевой трубки, отличающимся высоким качеством цветопередачи, но обладающим большими габаритами и массой, пришел новый тип мониторов (ЖК, LED и т.д.).

### **Библиографический список**

1. Волков, Д. А. Модель, метод и нейросетевое оптико-электронное вычислительное устройство распознавания изображений : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 / Д. А. Волков. – Курск : ФГБОУ ВО «Юго-Западный гос. ун-т», 2020. – 100 с.
2. Мирошниченко, С. П. Методическое пособие по курсу «Персональная электроника». Жидкокристаллические мониторы / С. П. Мирошниченко, П. В. Серба. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2005. – 24 с.
3. Мухин, И. А. Принципы развертки изображения и модуляция яркости свечения ячейки плазменной панели / И. А. Мухин // Труды учебных заведений связи № 168. – СПбГУТ, 2002. – С. 134 – 140.

# МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛГОРИТМОВ СТЕРЕОЗРЕНИЯ НА HLS В СРЕДЕ ПЛИС

**О. В. Зобов**

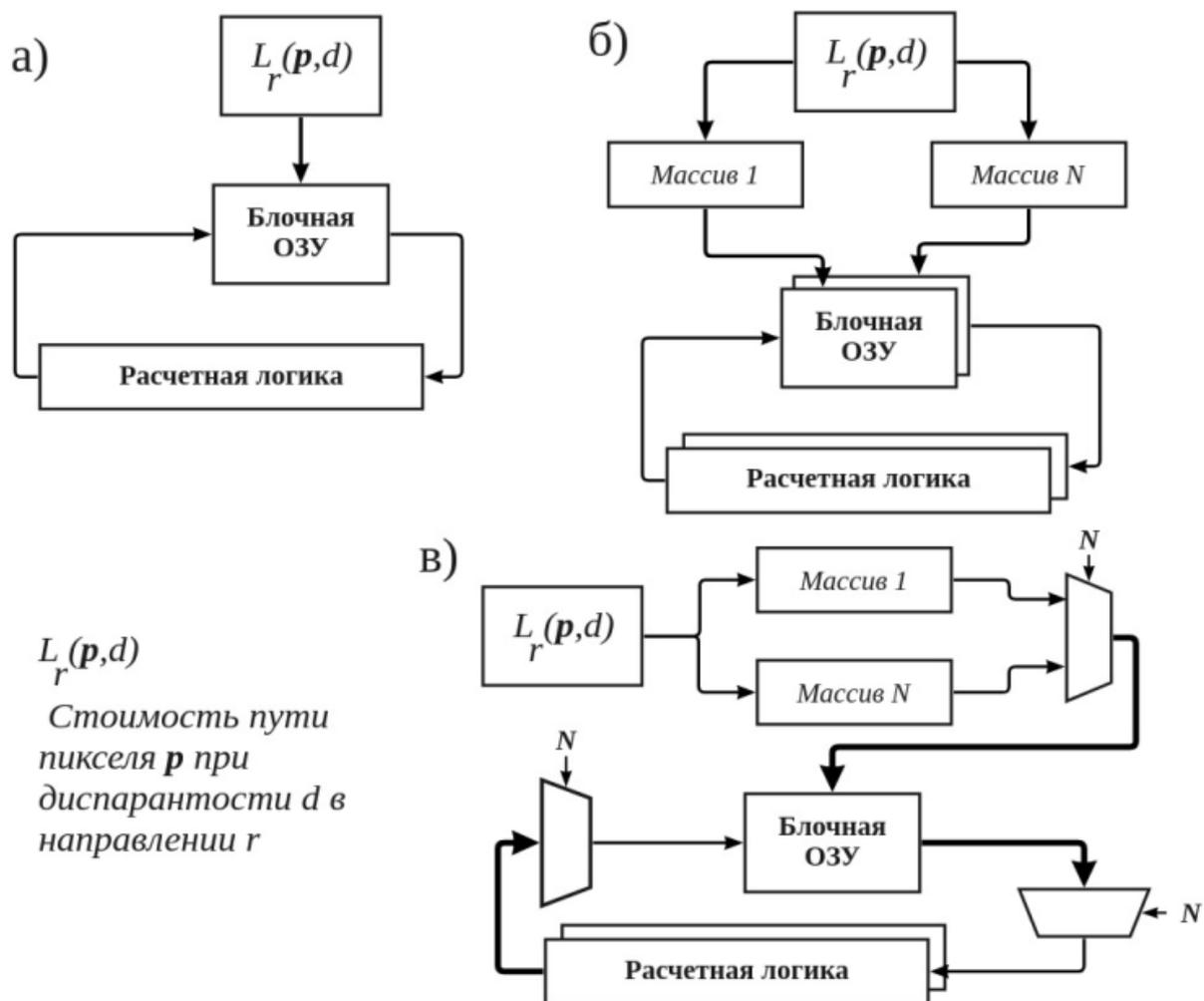
**Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана, Россия, Москва  
(e-mail: zobov.o.v@gmail.com)**

## **Введение**

Быстрая и точная оценка глубины пространства, что также называется стереозрением, необходима во встроенных системах различного назначения, начиная от автономных мобильных роботов [1] и заканчивая беспилотными летательными аппаратами, что требует значительных усилий при проектировании для достижения соответствующего баланса между производительностью, энергопотреблением и стоимостью систем стереозрения.

Приборы стереозрения получают на вход пару изображений от двух монокулярных видеокамер и генерируют карту диспаратности для оценки глубины. Типичные алгоритмы стереозрения можно разделить на две категории: локальные и глобальные.

Локальные методы объединяют затраты на сопоставление в локальной области, достигая высокой скорости, но страдая от отсутствия текстуры и разрывов. Глобальные методы оценивают карту неравенства путем минимизации глобальной энергетической функции, используя разрезание графа [3], которые обеспечивают высокую точность, но являются вычислительно малоэффективными. Полуглобальное соответствие (SGM) приближается к глобальной оптимизации путем минимизации функции энергии пути и агрегирования затрат на соответствие по нескольким направлениям, а не по всему изображению. Благодаря отличному компромиссу между точностью и скоростью, SGM стал одним из наиболее широко используемых алгоритмов стереосопоставления, особенно в реальных встроенных приложениях. Большинство существующих проектов SGM на ПЛИС были реализованы на уровне RTL, и их трудно воспроизвести и модифицировать. Опираясь на высокоуровневый синтез (HLS), который автоматически синтезирует C-код в RTL-проекты, можно значительно сократить время разработки. Для повышения производительности алгоритмов стереозрения, реализованных на HLS возможно использовать оптимизации доступа к памяти в среде ПЛИС (рис. 1).



**Рис. 1. Метод оптимизации использования памяти в ПЛИС:**  
*а* – без разделения данных; *б* – с разделением данных на массивы;  
*в* – с упаковкой данных

Одновременный доступ к памяти очень важен для параллельных вычислений, но он не может быть обеспечен встроенной памятью ПЛИС (блочной ОЗУ – BRAM) из-за ограниченного количества портов чтения и записи.

Данные хранятся в массиве, который отображается на блочную ОЗУ. Когда цикл разворачивается, для обеспечения параллельного чтения и записи, требуемых копий расчетной логики, массив разделяется на несколько частей, каждый из которых хранится в разных экземплярах блочной ОЗУ, увеличивая параллелизм. Для экономии ресурсов памяти возможно применить упаковку данных и хранить их в одном экземпляре памяти. Доступ к необходимым данным по-прежнему можно получить быстро, извлекая упакованные данные и подавая выделенные элементы на соответствующую расчетную логику. Благодаря упаковке данных, память на кристалле ПЛИС может быть более полно использована, а использование памяти сокращается на 50% по сравнению с разделением массива.

## Библиографический список

1. Single- and Multi FPGA Acceleration of Dense Stereo Vision for Planetary Rovers / G. Lentaris, K. Maragos, D. Soudris, X. Zabulis, M. Lourakis // ACM Transactions on Embedded Computing Systems. – 2019. – Vol. 18, № 2. – P. 1 – 25.
2. Zha, D. A Real-Time Global Stereo-Matching on FPGA / D. Zha, X. Jin, T. Xiang // Microprocessors and Microsystems. – 2016. – P. 1 – 10.

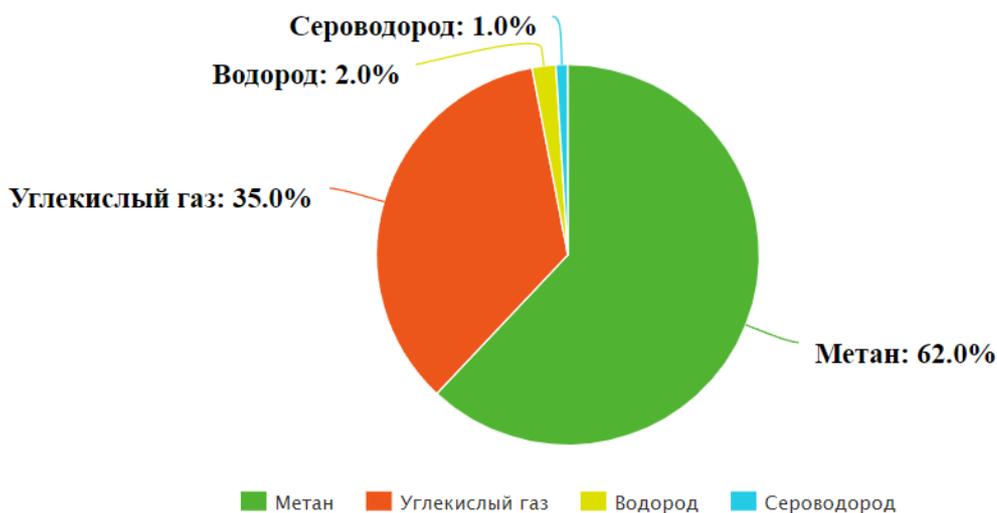
## СРЕДСТВО ОТСЛЕЖИВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

**А. А. Белкин**

**Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана, Россия, Москва  
(e-mail: canon\_ball@mail.ru)**

Современная жизнедеятельность человека невозможна без существования большой вспомогательной инфраструктуры, которая обеспечивает бесперебойную работу необходимых для жизни структур. Данная инфраструктура состоит из большого числа закрытых пространств. В качестве примера можно привести водопроводную систему, которая состоит из сетей труб, поставляющих чистую воду, и канализационную сеть, которая отводит использованную воду. Эти сети в силу своего размера и специфики находятся под землей. Так, во многих домах обустроены подвалы, в которых располагаются узлы водопроводной сети. Канализационная сеть является еще более очевидным примером большого изолированного и нежилого пространства – она состоит из сети труб, коллекторов и стоков, которые проходят под всеми улицами современных городов. В качестве других примеров можно привести котельные с большим количеством служебных помещений, производства с большим количеством отходов, свалки и мусоропроводы, колодцы.

Все вышеперечисленные объекты достаточно разные и служат разным целям. Тем не менее, есть аспект, который их объединяет – это нежилые пространства, в которых отсутствует стандартная вентиляция и в которых могут копиться различные отходы. Как следствие, возникает серьезный риск загазованности: превышения нормального уровня концентрации вредных и взрывоопасных газов. В то же время всегда присутствует необходимость проводить профилактические или ремонтные работы в подобных помещениях. Существует риск для здоровья людей, которые будут проводить данные работы, а также риск для нормального функционирования данных систем. Таким образом, возникает потребность в своевременном и точном определении загазованности [1].



**Рис. 1. Состав канализационных газов**

Устройства, способные определять концентрацию тех или иных газов в воздухе, существуют давно. Однако многие из существующих рыночных предложений являются либо крупногабаритными, либо слишком узкоспециализированным. Существует потребность в наличии небольшого универсального средства, которое позволит быстро и точно определять загазованность воздуха.

Разработано средство отслеживания загрязнения воздуха, которое интегрировано в современные системы коммуникаций благодаря тому, что оно передает информацию напрямую пользователям ПК, используя протокол MQTT и сети NB IoT. В этом заключается наиболее сильная сторона средства в сравнении с аналогами: оно не требует присутствия рабочего в непосредственной близости, и оно работает автономно. Таким образом, предложенное средство сможет заменить собой крупный сегмент рынка.

В целях сбережения энергии в разработанной модели встроена функция сна, так, что устройство включается каждые четыре часа, чтобы собрать данные и отослать их на удаленный сервер, а затем погружается в состояние сна с минимальным потреблением энергии.

Устройство отслеживания загрязнения воздуха газами решает проблему безопасности людей, которым необходимо работать в условиях закрытых, лишенных нормальной концентрации кислорода, помещений.

### **Библиографический список**

1. Буторин, П. С. Применение Physical Web в концепции Умного города / П. С. Буторин, Л. В. Журавлева, С. А. Милешин // Материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2017. – С. 386.

# ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСОВ ПРИБОРОВ

П. Н. Жуков, М. С. Калистратов

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов

(e-mail: pashkzstu@mail.ru; kalistratov.98@mail.ru)

Гидроабразивная резка широко применяется на приборостроительных заводах при изготовлении деталей корпусов выпускаемых изделий. Одним из основных этапов процесса гидроабразивной резки является этап «Выбор режимов резания и тестирование на холостом ходу». Функциональная диаграмма этого этапа в формате IDEF0 представлена на рис. 1.

Информационные потоки:  $S_1$  – параметры листа (габариты, марка материала, толщина);  $I_0$  – CNC – код движения режущей головки;  $I_1$  – загруженный код CNC;  $I_2$  – параметры резания;  $I_3$  – CNC – программа для изготовления партии деталей;  $I_{31}$  – информация о проблемах при тестировании;  $P$  – параметры станка.

Функциональное представление  $FM$  описывает преобразование входного информационного потока в выходной с использованием информационной модели  $IM$ , его запишем в виде

$$FM : S_1 \cup I_0 \cup P \xrightarrow{IM} I_3,$$

где  $FM = \langle FM_1, FM_2, FM_3 \rangle$  – функциональные модели этапов, представленных на рис. 1;  $IM = \langle IM_1, IM_2, IM_3 \rangle$  – информационные модели этапов, представленных на рис. 1.

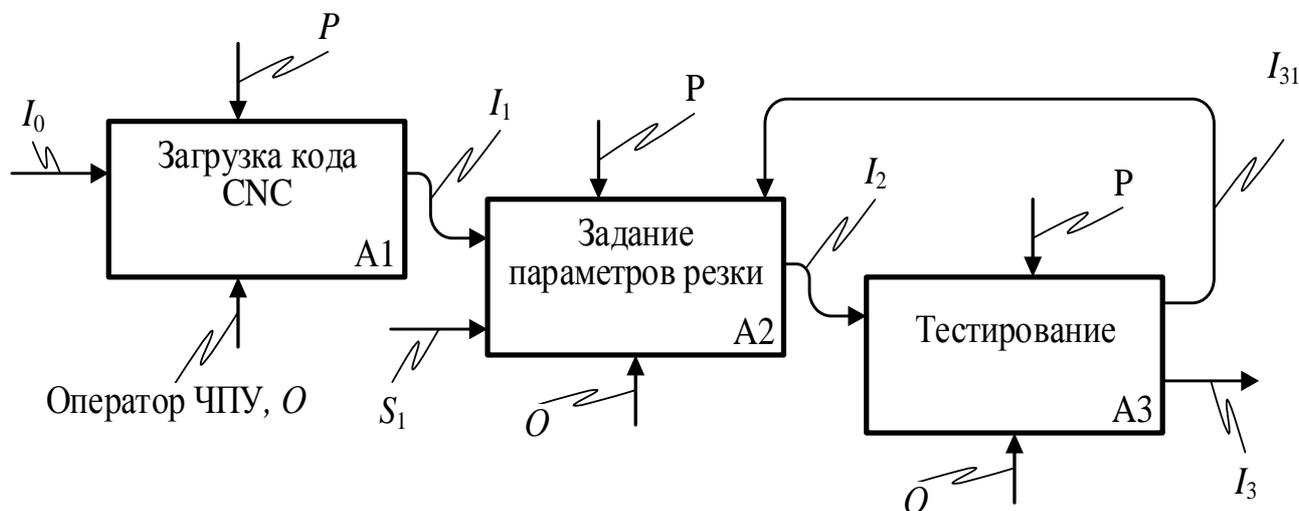


Рис. 1. Функциональная модель обработки деталей на гидроабразивном станке

$$FM1: I_0 \cup P \xrightarrow{IM1} I_1;$$

$$FM2: S_1 \cup I_1 \cup P \xrightarrow{IM2} I_2;$$

$$FM3: I_2 \cup I_{31} \cup P \xrightarrow{IM3} I_3.$$

В основе информационной модели  $IM_2$ , задание параметров резки, лежат правила вида «Если ..., то ...». Обозначим:  $t$  – толщина листа, мм;  $s$  – скорость движения режущей головки, мм;  $q$  – расход абразивного песка, г/мин;  $m$  – материал.

Примеры правил.

**Правило 1.** Если  $m =$  «Пластина 1Ф-ТМКЩ-М» и  $t = 1$ , то  $s = 650$  и  $q = 40$ .

**Правило 2.** Если  $m =$  «Пластина МБС-С» и  $t = 1$ , то  $s = 650$  и  $q = 30$ .

**Правило 3.** Если  $m =$  «Полиуретан» и  $t = 20$ , то  $s = 120$  и  $q = 280$ .

**Правило 4.** Если  $m =$  «Стеклотекстолит СТЭФ» и  $t = 0,5$ , то  $s = 500$  и  $q = 70$ .

Представленное описание используется при создании виртуального кабинета проектирования технологического оборудования [1 – 5].

### Библиографический список

1. Мокрозуб, В. Г. База данных стандартных и типовых элементов технических объектов / В. Г. Мокрозуб // Радиотехника. – 2010. – № 12. – С. 29 – 32.
2. Мокрозуб, В. Г. Интеллектуальная автоматизированная информационная система проектирования химического оборудования / В. Г. Мокрозуб // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 4-2(30). – С. 264 – 267.
3. Мокрозуб, В. Г. Создание виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» в Тамбовском государственном техническом университете / В. Г. Мокрозуб // САПР и графика. – 2015. – № 1(219). – С. 38–39.
4. Мокрозуб, В. Г. Интеллектуализация механических расчетов в виртуальном кабинете «Конструирование технологического оборудования» / В. Г. Мокрозуб // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2014. – № 2. – С. 34 – 40.
5. Mokrozub, V. G. Procedural model for designing multiproduct chemical plants / V. G. Mokrozub // Chemical and Petroleum Engineering. – 2017. – Т. 53, № 5-6. – С. 326 – 331.

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф.  
В. Г. Мокрозуба*

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСОВ ПРИБОРОВ

П. Н. Жуков, М. С. Калистратов

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов

(e-mail: pashkzstu@mail.ru; kalistratov.98@mail.ru)

Гидроабразивная резка широко применяется при изготовлении деталей корпусов приборов, так как позволяет получать детали, не требующие дальнейшей механической обработки. Для автоматизации процесса принятия решений при подготовке к резанию, настройке станка и выполнения резания необходимо построить функциональную модель, которая должна показать этапы резания, входную и выходную информацию каждого этапа, информационные модели, описывающие преобразование входной информации в выходную.

Функциональная диаграмма А0 представлена на рис. 1.

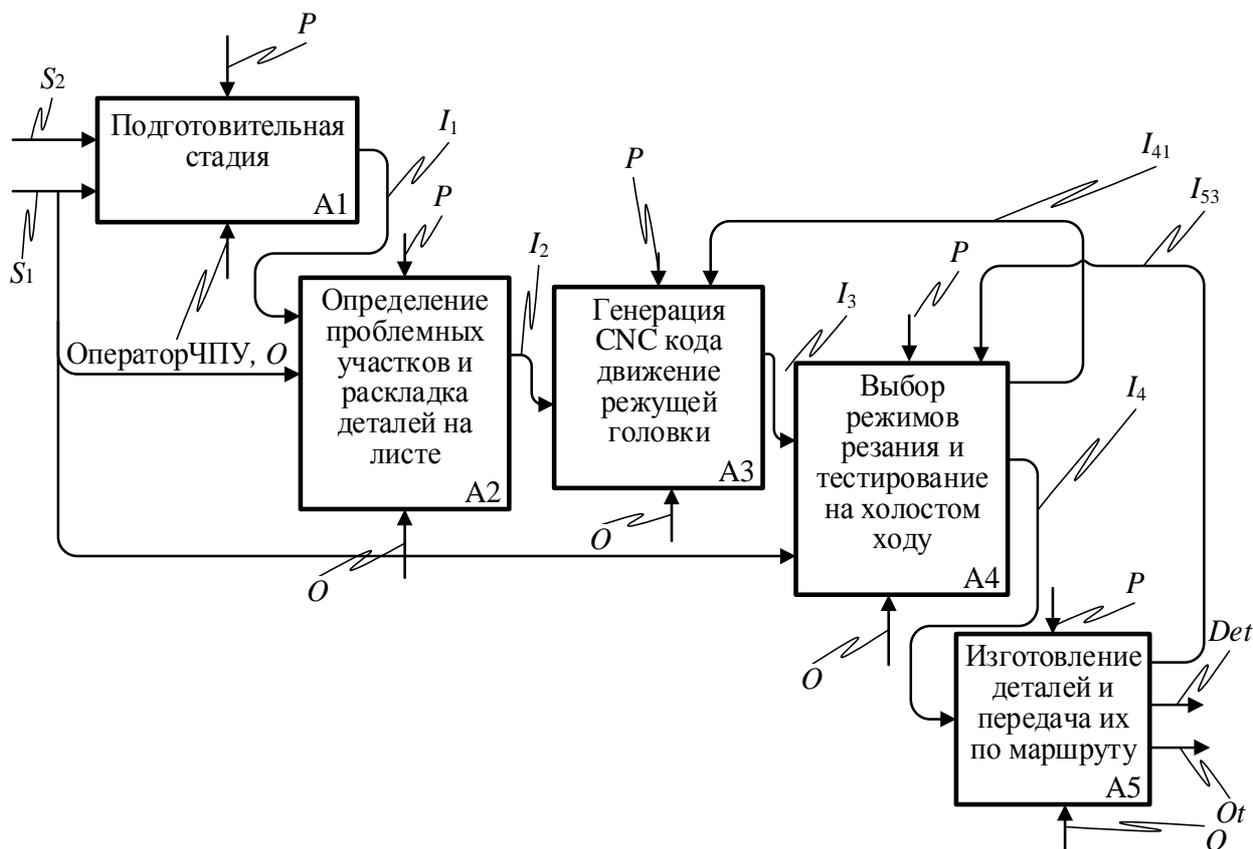


Рис. 1. Функциональная модель обработки деталей на гидроабразивном станке:

Информационные потоки:  $S_1$  – параметры листа (габариты, марка материала, толщина);  $S_2$  – задание на изготовление деталей (чертежи, количество деталей);  $P$  – параметры станка;

$Det$  – готовые детали;  $Ot$  – отходы;  $I_1$  – отсортированные по материалам детали;

$I_2$  – раскладка деталей одного материала, проблемные участки;  $I_3$  – CNC-код движения режущей головки;  $I_4$  – CNC-программа для изготовления партии деталей;

$I_{53}$  – несоответствие режимов резания;  $I_{41}$  – несоответствие траектории резания

Функциональное представление  $FM$ , описывающее преобразование входного информационного потока в выходной с использованием информационной модели  $IM$ , запишем в виде

$$FM : S_1 \cup S_2 \cup P \xrightarrow{IM} Det \cup Ot,$$

где  $FM = \langle FM1, FM2, FM3, FM4, FM5 \rangle$  – функциональные модели этапов, представленных на рис. 1;  $IM = \langle IM1, IM2, IM3, IM4, IM5 \rangle$  – информационные модели этапов, представленных на рис. 1.

$$FM1 : S_1 \cup S_2 \cup P \xrightarrow{IM1} I_1;$$

$$FM2 : S_1 \cup I_2 \cup P \xrightarrow{IM2} I_2;$$

$$FM3 : I_2 \cup I_{41} \cup P \xrightarrow{IM3} I_3;$$

$$FM4 : I_3 \cup S_1 \cup P \cup I_{51} \xrightarrow{IM4} I_4;$$

$$FM5 : I_4 \cup P \xrightarrow{IM5} Det \cup Ot.$$

Представленное описание используется при создании виртуального кабинета проектирования технологического оборудования [1 – 5].

### Библиографический список

1. Мокрозуб, В. Г. База данных стандартных и типовых элементов технических объектов / В. Г. Мокрозуб // Радиотехника. – 2010. – № 12. – С. 29 – 32.
2. Мокрозуб, В. Г. Интеллектуальная автоматизированная информационная система проектирования химического оборудования / В. Г. Мокрозуб // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 4-2(30). – С. 264 – 267.
3. Мокрозуб, В. Г. Создание виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» в Тамбовском государственном техническом университете / В. Г. Мокрозуб // САПР и графика. – 2015. – № 1(219). – С. 38–39.
4. Мокрозуб, В. Г. Интеллектуализация механических расчетов в виртуальном кабинете «Конструирование технологического оборудования» / В. Г. Мокрозуб // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2014. – № 2. – С. 34 – 40.
5. Mokrozub, V. G. Procedural model for designing multiproduct chemical plants / V. G. Mokrozub // Chemical and Petroleum Engineering. – 2017. – Т. 53, № 5-6. – С. 326 – 331.

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф.  
В. Г. Мокрозуба*

## ИСТОРИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ WI-FI

**А. Н. Куратов, П. В. Чернов, Т. Ю. Дорохова**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

(e-mail: artem5248@mail.ru; brs-211@mail.ru; tandor81@mail.ru)

Главным технологическим достижением в начале третьего тысячелетия является технология беспроводной передачи данных между устройствами посредством их подключения к сети Интернет. Рассмотрим историю зарождения технологии Wi-Fi. Большинство источников утверждает, что появление технологии Wi-Fi связано с лабораторией радиоастрономии CSIRO австралийского города Канберра. Протокол для обмена данными «по воздуху» был создан инженером Джоном О`Салливаном. Им же в 1991 году была разработана первая версия протокола Wi-Fi, которая была фундаментом для дальнейшего совершенствования первого беспроводного оборудования. Однако мало кто знает, что основа изобретения технологии Wi-Fi была положена голливудской актрисой Хеди Ламарр, наука у нее была еще одним способом самовыражения. В свободное от съемок время она работала над различными проектами, главным ее научным достижением совместно с Джорджем Антейлом является патент на изобретение «Секретная система связи» (1942 г.), описывающий передачу ложных каналов на разных частотах. Это изобретение позже легло в основу спутниковой системы глобального позиционирования GPS, основу современных сотовых телефонов, беспроводной широкополосной связи и телекоммуникаций.

В 40-е годы XX века одной из основных проблем было обеспечение точности военных радиоуправляемых ракет. Противники могли легко нарушить наведение торпеды, обнаружив ее несущую частоту. Хеди Ламарр совместно с Джорджем Антейлом придумали, как достичь защищенного управления торпедой при помощи радио.

Ранее, Джорджем Антейлом был придуман способ синхронизации различных источников при помощи перфорированной ленты. Теперь стояла задача скорректировать траекторию торпеды, которая уже запущена. Идея пришла во время игры на фортепиано в четыре руки: 1 клавиша = 1 канал = 1 частота, всего клавиш 88 и играть можно не только в 4 руки, а и в 16. Используя до 88 частот, переключение каналов возможно осуществлять по принципу механической музыкальной шкатулки, при помощи валиков со штырьками, вращающихся посредством перфорированной ленты, идеи, ранее придуманной Дж. Антейлом. Взломать такую систему скачкообразной перестройки частоты практически невозможно.

Идея важного изобретения была проста: если управляемой торпедой сообщать координаты цели дистанционно только на одной контрольной частоте, то враг легко перехватывает сигнал, более того, он может заглушать его или перенаправить торпеду. Изобретение состояло в том, чтобы синхронно, в соответствии с определенным алгоритмом, менялась несущая частота передатчика ракеты и приемника. Противник в такой канал связи «вклиниться» не сможет. На передатчике необходимо использовать случайный код, который изменяет канал передачи. Смена каналов связи обеспечивает безопасную передачу сигнала. Для синхронизации изменения частоты использовались ленты с дырочками – такие, как бумажная лента в механическом пианино. На тот момент псевдослучайные коды применялись при шифровке информации, передаваемой по постоянным (неменяющимся) открытым каналам связи. Хеди Ламар и Джордж Антейл сделали шаг вперед: стали использовать секретный ключ для быстрой смены каналов передачи информации, по сути, предложили создать управляемые торпеды и дистанционное управление военной техникой. В августе 1942 года на данное изобретение был получен патент. Эта разработка впоследствии стала основой развития широкополосной связи, которая сегодня повсеместно используется в сотовой связи, GPS, современной технологии Wi-Fi.

Однако изобретение так и не было реализовано из-за ненадежности механических компонентов, применяемых в приемниках и передатчиках. Чиновники не специалисты, читая суть патента, восклицали: «Вы хотите в торпеду засунуть пианино?». Об изобретении вспомнили только в конце 50-х гг. XX века, когда перешли на электронные компоненты. В 1960 году появился термин *spread spectrum* (система с расширенным спектром), развивающий идею, описанную в патенте. Далее успешно внедряется система секретной связи расширенного спектра, в 1962 г. ее применяют даже во время Карибского кризиса. В начале 1980-х годов технологию начали использовать в гражданских целях, а до тех пор она долгие годы была засекречена.

Сегодня технологии широкополосного спектра находятся на пике своей популярности, активно применяются в различных сферах, без которых жизнь человека сегодня немислима.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ**

**А. В. Верченнов, О. С. Данилкин, А. В. Иноземцева, А. Г. Жулькин**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: verchenov90@mail.ru; danilkin361@mail.ru; vlad19571@mail.ru;  
nchtamb@yandex.ru)

Если массовый рынок потребления пока еще сдержанно настроен к эволюционному процессу перехода на оптоволокно, то передовые мировые корпорации уже заглядывают в будущее, которое открывают технологии оптиковолоконной связи в самых разных сферах. На текущий момент наиболее перспективными направлениями можно назвать распределенные сенсорные системы и волоконные оптические лазеры. Первая технология позволит осуществлять неразрушающий контроль строительных и инженерных сооружений с широким комплексом выходных данных анализа – в частности, с точными показателями температуры, давления и деформационных процессов объекта. Что касается оптиковолоконных лазеров, то их свойства и характеристики излучаемой волны могут обеспечить беспрецедентные возможности при физической обработке твердотельных материалов.

Весьма перспективно применение оптических систем в кабельном телевидении, которое обеспечивает высокое качество изображения и существенно расширяет возможности информационного обслуживания индивидуальных абонентов. В этом случае обеспечивается заказная система приема и предоставляется возможность абонентам получать на экранах своих телевизоров изображения газетных полос, журнальных страниц и справочных данных из библиотек, учебных центров, специальных центров хранения информации. Развитие получит видеотелефонная связь, при которой абоненты смогут не только слышать, но и видеть друг друга. За последнее время появилось новое направление в развитии волоконно-оптической техники – использование среднего инфракрасного диапазона волн 2...10 мкм. Ожидается, что потери в этом диапазоне не будут превышать 0,2 дБ/км. Это позволит осуществить связь на большие расстояния с участками регенерации до 100 км. Исследование фтористых и халькогенидных стекол с добавками циркония, бария, а также других соединений, обладающих сверхпрозрачностью в инфракрасном диапазоне волн, позволит еще больше увеличить длину регенерационного участка.

Следует отметить, что если раньше в основном применялись ступенчатые многомодовые волокна, то сейчас развитие идет по пути внедрения градиентных и одномодовых волокон. Изготовление последних сложнее (диаметр сердечника 6...8 мм), однако они обладают широкой информационно-пропускной

способностью и дальностью передачи. Оптические кабели с одномодовыми волокнами получили развитие на междугородных линиях связи большой протяженности и на подводных магистралах. Несмотря на то, что технология FTTH сейчас считается уже достаточно зрелой, отрасль по-прежнему продолжает выдвигать новейшие решения и эволюционные технологии передачи по оптоволокну на первый план. Очень важно, чтобы проектировщики, разработчики и менеджеры знали, что это за эволюционные решения и как перейти от существующих технологий передачи по волокну к следующему поколению FTTH для пользователей сетей.

### Библиографический список

1. Approximation of Distribution Law of Experimental Test Data to Assess Reliability of Information-Measuring and Control Systems / Yu. T. Zyryanov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova, D. Yu. Muromtsev, N. G. Chernyshov, E. V. Trapeznikov // Journal of Physics : Conference Series. XIII International Scientific and Technical Conference «Applied Mechanics and Systems Dynamics». – 2020. – С 1441:012081. – P. 1 – 8. – doi: 10.1088/1742-6596/1441/1/012081

2. Application of Generalized Distribution Laws for the Reliability Assessment of Information and Measuring Systems of Energy Saving Control / Y. T. Zyryanov, N. G. Chernyshov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova, M. F. Dioumessy // IOP Conf. Series: Journal of Physics : Conf. Series 1172 (2019) 012108, 2019, March. – Vol. 1172, No. 1. – Doi: 10.1088/1742-6596/1172/1/012108

3. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белосусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762. – DOI: 10.15827/0236-235X.031

4. Селиванова, З. М. Интеллектуальная информационно-измерительная система дистанционного контроля качественных параметров теплоизоляционных материалов в условиях воздействия дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Д. С. Куренков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 6 – 19. – DOI: 10.17277/vestnik.2020.01.pp.006-019

5. Metrological Analysis of Analog-to-Digital Conversion Measurement Procedure in Information-Measuring and Control Systems / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov, M. A. Kamenskaya // Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020. – 2020. – Pp. 61 – 64.

# РЕГУЛИРУЕМЫЕ ПО СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЕ КВАДРОКОПТЕРОВ

**В. В. Слепцов, Динь Ба Фыонг**

**МИРЭА – Российский технологический университет, Россия, Москва**

(e-mail: sleptsov@mirea.ru; nhoht\_ck49@yahoo.com)

Квадрокоптеры (КК) в настоящее время очень широко применяются во многих областях и стали перспективой. Тем не менее, управление ими является сложной. Повышение качества управления КК осуществляется путем разработки и совершенствования информационно-измерительной и управляющей системы квадрокоптеров (ИИУС КК) [1, 2]. Одним из важных элементов ИИУС КК являются регулируемые по скорости электроприводы (РЭП), которые предназначены для регулировки скорости вращения двигателей. РЭП получает сигнал от полетного контроллера и управляют бесколлекторными двигателями.

РЭП для КК должны быть, с одной стороны, как можно компактнее и легче, а с другой стороны обладать высоким быстродействием и точностью, чтобы обеспечивать качественное управление скоростями вращения винтов квадрокоптера, несмотря на ветровые нагрузки.

Наиболее распространенной схемой РЭП с ВД является схема РЭП с тремя контурами тока, которая обладает хорошими техническими характеристиками, соответствует требованиям ГОСТ 27803–91, однако достаточно сложна в изготовлении и наладке из-за наличия датчиков и регуляторов тока [1]. Простое исключение датчиков тока невозможно, потому что это вызовет перегрузку по току. В работе разработаны РЭП без датчиков тока, которые имеют более простую структуру, представленную на рис. 1. В целях определения качества такого РЭП проведем математическое моделирование всех структурной схемы для входных сигналов типа «ступенька» амплитудой 0,1 В. Полученные расчеты приведены на рис. 2.

Полученные переходные процессы РЭП без контура тока на рис. 2 имеют более выраженный колебательный характер по сравнению с РЭП с тремя контурами тока, однако также свидетельствуют о соответствии разработанного РЭП без контуров тока требованиям ГОСТ 27803–91.

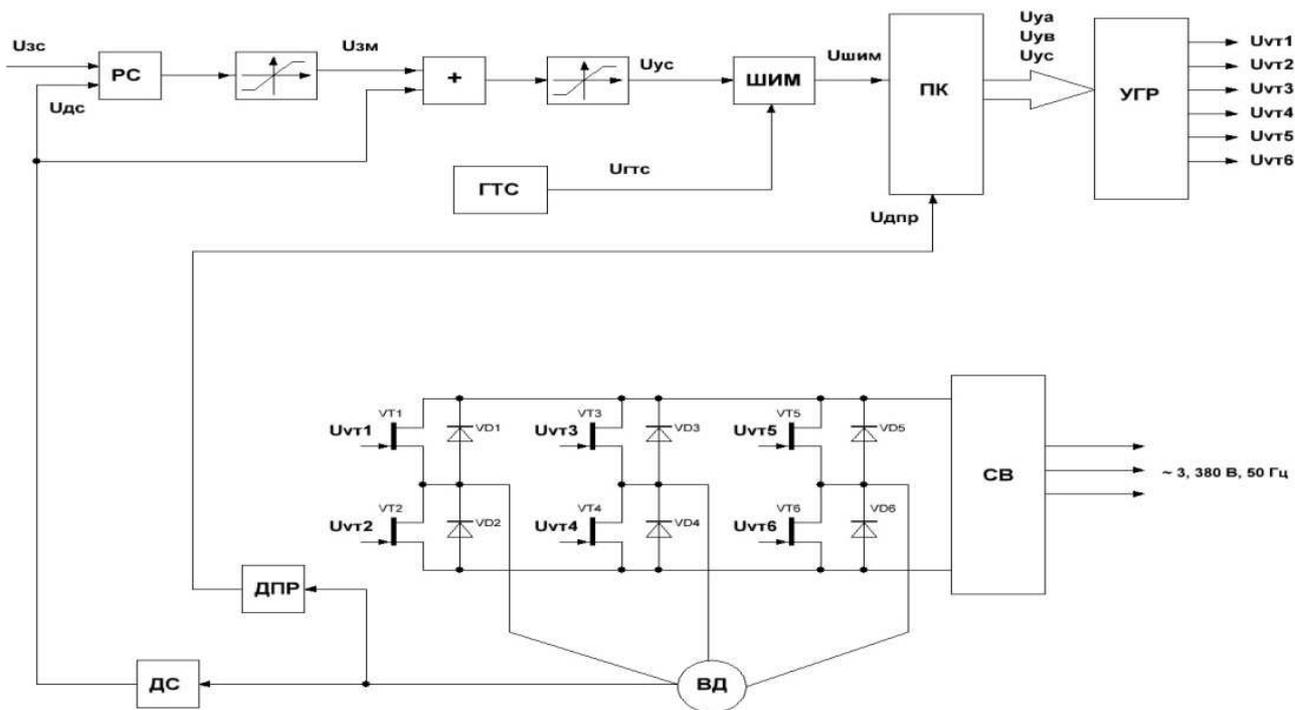
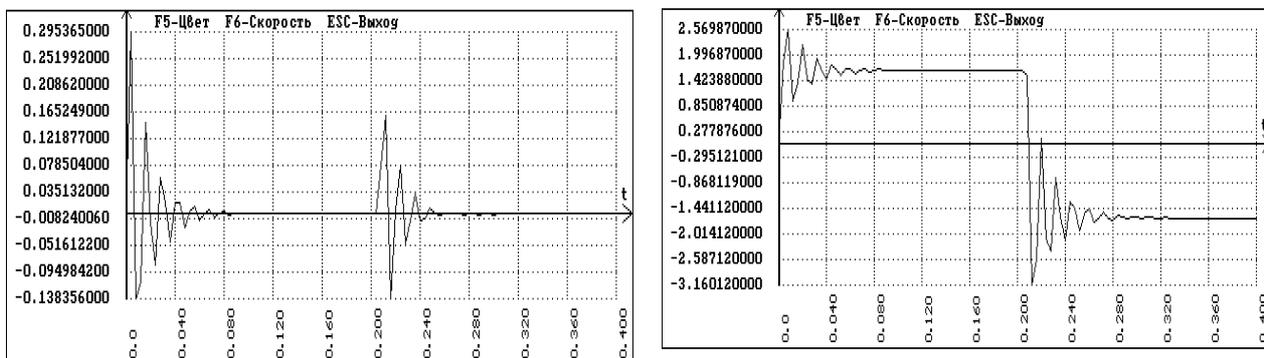


Рис. 1. Функциональная схема РЭП без контуров тока



а) момент

б) скорость

Рис. 2. Переходные процессы РЭП без контуров тока при  $U_{зс} = \pm 0,1$  В

### Библиографический список

1. Разработка информационно-измерительной и управляющей системы квадрокоптера / В. В. Слепцов, В. Л. Афонин, А. Е. Аблаева, Б. Динь // Russian Technological Journal. – 2021. – No. 9(6). – P. 26 – 36. – URL : <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-6-26-36>
2. Разработка и анализ информационно-измерительных и управляющих систем квадрокоптеров / В. В. Слепцов, А. Д. Лагунова, А. Е. Аблаева, Б. Ф. Динь // Журнал Приборы. – 2021. – № 9. – С. 20 – 27.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ

Я. Э. Нгуба

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов

(e-mail: ngoubayann@gmail.com)

На производственных предприятиях по выпуску различных видов материалов достаточно часто необходимо проведение теплофизических измерений в цехах предприятий, а представление измерительной информации о параметрах выпускаемой продукции в производственную научно-исследовательскую лабораторию осуществляется по каналам радиосвязи. Теплофизические свойства изготавливаемых на предприятии материалов контролируются дистанционно с использованием телеизмерительной системы (рис. 1).

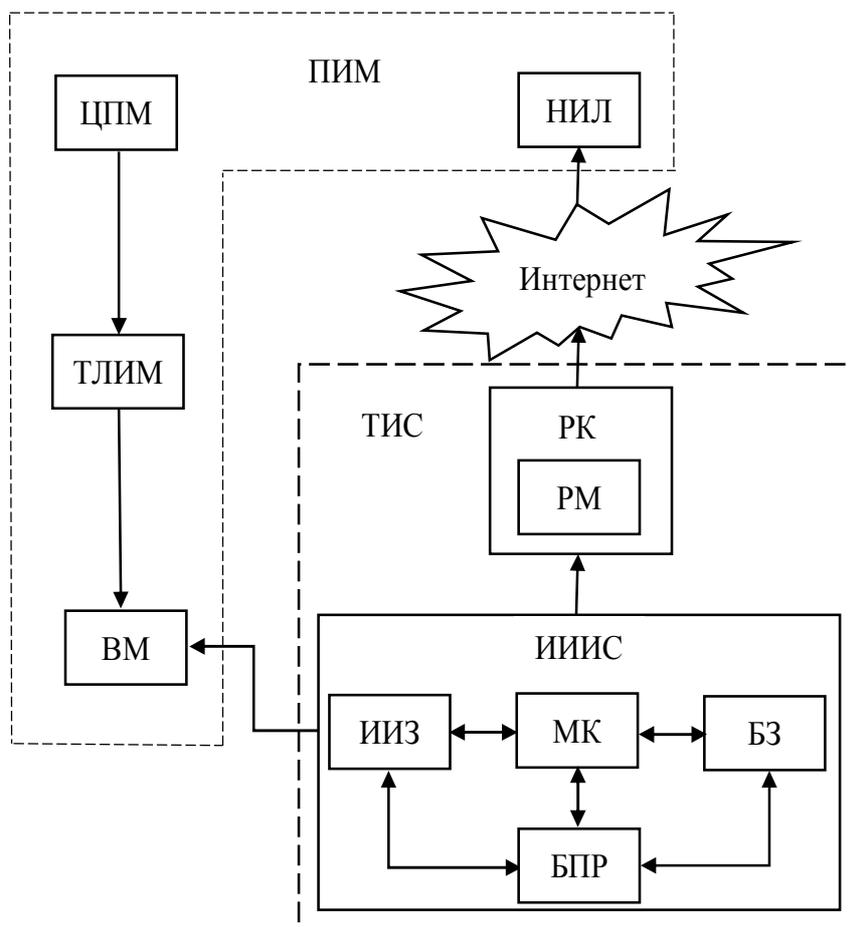


Рис. 1. Структурная схема ТИС:

ПИМ – предприятие для изготовления материалов; ЦПМ – цех производства материалов;  
ТЛИМ – технологическая линия изготовления материалов; ТИС – телеизмерительная система; НИЛ – научно-исследовательская лаборатория; РК – радиоканал; РМ – радиомодем;  
ВМ – выпускаемые материалы; ИИЗ – интеллектуальный измерительный зонд;  
МК – микроконтроллер; БЗ – база знаний; БПР – блок принятия решений

Телеизмерительная система (ТИС) состоит из интеллектуальной информационно-измерительной системы (ИИИС) и радиоканала (РК) передачи измерительной информации, которая предварительно обрабатывается. На передаваемую информацию по радиоканалу влияют вносимые искажения окружающей средой, а также искажения сигналов зависят от помехоустойчивости компонентов радиоканала [1 – 3].

При создании ТИС решаются актуальные задачи обеспечения точности, достоверности передаваемой измерительной информации об объекте исследования и помехоустойчивости радиоканала. Для повышения помехоустойчивости радиоканала ТИС необходимо применять цифровые методы обработки информации и моделирование измерительного канала.

Создана математическая модель измерительного канала (ИК) ИИИС теплофизических свойств материалов, которая представлена следующей функциональной зависимостью:

$$U(t) = f(U_{\text{тп}}(t)K_y, P_{\text{ацп}}),$$

где  $U(t)$  – сигнал на выходе измерительного канала;  $U_{\text{тп}}$  – выходной сигнал с датчиков температуры (термопар);  $t$  – температура;  $K_y$  – коэффициент усиления усилителя;  $P_{\text{ацп}}$  – сигнал, который формирует аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Математическая модель  $U(t)$  применяется на этапе проектирования ИИИС при разработке структурных компонентов радиоканала с заданными параметрами и техническими характеристиками для обеспечения достоверности, точности неразрушающего контроля определяемых параметров объектов исследования и помехоустойчивость при функционировании телеизмерительной системы.

### Библиографический список

1. Селиванова, З. М. Интеллектуальная информационно-измерительная система дистанционного контроля качественных параметров теплоизоляционных материалов в условиях воздействия дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Д. С. Куренков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 6 – 19.

2. Selivanova, Z. M. Modelling of Intelligent Information Measuring System to Control Thermophysical Properties of Materials and Products / Z. M. Selivanova, D. S. Kurenkov, T. A. Hoang // Journal of Physics : Conference Series. – 2019. – Vol. 1278. – 2 August 2019 Published online : <https://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/1278/1>. – Accepted received : 17 June 2019. – Pp. 012040.

3. Intelligent Information and Measurement Complex for Remote Monitoring of the Thermal Coating Conductivity on the Oil Trunk Pipeline / Z. M. Selivanova, K. V. Skomorokhov, V. P. Belyaev, L. G. Varepo, I. V. Nagornova // AIP Conference Proceedings. – 2021. – Vol. 2412. – Pp. 060017. – URL : <https://doi.org/10.1063/5.0075640>

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

**К. В. Скоморохов, З. М. Селиванова**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: selivanova\_zm@mail.ru)

В практике теплофизических измерений изменяются априорные входные данные, условия измерений и экспериментов. Поэтому математическое моделирование теплофизических измерений в условиях неопределенности с использованием информационно-измерительной системы является важной и актуальной задачей. Создание математической модели теплофизических измерений основано на концептуальной модели формирования измерительной среды интеллектуальной информационно-измерительной системы (ИИИС) для контроля теплофизических свойств материалов (рис 1.).



**Рис. 1. Концептуальная модель формирования измерительной среды ИИИС для определения теплофизических свойств материалов**

Условия неопределенности учитываются при формировании измерительных ситуаций с использованием априорных сведений о видах исследуемых материалов, контролируемых параметрах (коэффициентах тепло- и температуропроводности, теплоемкости); применяемых методах измерений; зависимостях контролируемых параметров исследуемых объектов при влиянии воздействующих климатических факторов – температуры, влажности, а также шероховатости поверхностей материалов.

Математическая модель теплофизических измерений в условиях неопределенности представлена в следующем виде:

$$\lambda = f(Q, \delta_\lambda, \delta_{\text{ИИИС}}, \tau), \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материалов;  $Q$  – значения дестабилизирующих факторов (ДФ);  $\delta_\lambda$  – допустимая погрешность измерения;  $\delta_{\text{ИИИС}}$  – заданный метрологический уровень ИИИС;  $\tau$  – временные интервалы.

Математическая модель (1) может быть представлена как совокупность следующих зависимостей:

$$\lambda = f(Q_{\text{ДФ}}), \quad \lambda = f(\delta_\lambda), \quad \lambda = f(\delta_{\text{ИИИС}}). \quad (2)$$

В аналитическую зависимость составляющих модели (2) включены возможные значения неопределенности, которые возникают в процессе измерения, такие как значения климатических факторов:

$$\lambda = f(Q_{\text{ДФ}}) = f(T, W),$$

где  $T, W$  – температура и влажность окружающей среды.

Формирование концептуальной модели создания информационной среды, в которой функционирует интеллектуальная информационно-измерительная система, а также математической модели теплофизических измерений, при неопределенности измерительных ситуаций позволяют разработать алгоритмическое обеспечение ИИИС с адаптацией к предметной области исследования теплофизических свойств материалов.

### Библиографический список

1. Selivanova, Z. M. Increasing the Accuracy of Data-Measuring Systems for the Nondestructive Testing of the Thermal Properties of Solids / Z. M. Selivanova, T. A. Khoan // Measurement Techniques. – Vol. 58, No. 9. – December, 2015. – Pp. 1010 – 1015.

2. Intelligent Information and Measurement Complex for Remote Monitoring of the Thermal Coating Conductivity on the Oil Trunk Pipeline / Z. M. Selivanova, K. V. Skomorokhov, V. P. Belyaev, L. G. Varepo, I. V. Nagornova // AIP Conference Proceedings. – 2021. – Vol. 2412. – Pp. 060017. – URL : <https://doi.org/10.1063/5.0075640>

3. Чернышов, Н. Г. Построение системы телеметрии энергоемкими объектами с использованием промышленных контроллеров ICP DAS / Н. Г. Чернышов, Р. В. Цыганков, К. В. Чикаев // Вопросы современной науки и практики. – 2015. – № 1. – С. 225 – 230.

## **МЕТОД ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ**

**Э. М. П. Йиндула**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: [precieuseyindoula@gmail.com](mailto:precieuseyindoula@gmail.com))

Для достижения требуемой точности определения теплофизических свойств (ТФС) материалов предлагается метод допускового контроля ТФС объектов исследования. Данный метод применяется в интеллектуальной информационно-измерительной системе (ИИИС) для контроля теплофизических свойств теплоизоляционных материалов – коэффициентов температуропроводности  $\alpha$  и теплопроводности  $\lambda$ , теплоемкости  $c$ . Кроме того, ИИИС осуществляет мониторинг технологических процессов при изготовлении различных видов материалов с различными диапазонами  $\lambda$ . Интеллектуальная измерительная система при допусковом контроле для условий неопределенности принимает решение о соответствии измеренных параметров ТФС объектов заданному интервалу допуска при воздействии внешних факторов с использованием информации созданной базы знаний [1 – 3]. Также осуществляется допусковой контроль режимных параметров технологического процесса изготовления материалов.

*Постановка задачи.* Определить достоверное значение теплопроводности  $\lambda$  объектов для заданных относительной погрешности коэффициента теплопроводности  $\delta\lambda$  и интеллектуальной измерительной системы  $\delta\text{ИИИС}$  на основе результатов контроля управляемых параметров изготовления теплоизоляционных материалов  $Q_u$  и неуправляемых параметров  $Q_m$  при определении их соответствия интервалу допуска параметров за временной интервал  $\tau$ .

Экспериментальные данные позволили установить интервалы допуска для управляемых и неуправляемых режимных параметров (РП). Функция при-

надлежности  $\mu(X)$  к интервалу допуска РП  $\mu(X) = \mu(D_{\text{н}}, D_{\text{в}}, X_{\text{изм}})$ , где  $D_{\text{н}}$ ,  $D_{\text{в}}$  – нижнее и верхнее значения поля допуска соответственно;  $X_{\text{изм}}$  – значение измеренного РП. Влияние неуправляемых РП оценивается вероятностью  $PQ_m(T_{oc}, V_{oc})$ . Функция вероятности имеет вид:  $PQ_m\{f(X), T_{oc}, V_{oc}\}$ . Влияние управляемых режимных параметров оценивается вероятностью  $PQ_u\{f(X), C, W_{\text{в.с}}, C_{\text{д}}\}$ , где  $C$  – концентрация сырья;  $W_{\text{в.с}}$  – влажность сырья;  $C_{\text{д}}$  – концентрация добавок.



**Рис. 1. Структурная схема ИИС теплофизических свойств материалов:**

ИИ – интеллектуальный интерфейс; УК – устройство контроля; М – микроконтроллер;  
 АО – алгоритмическое обеспечение; КИ – канал измерительный;  
 БПР – блок принятия решений; БЗ – база знаний; МДК – модуль допускового контроля

Применение метода допускового контроля параметров теплофизических свойств материалов, определение рациональных режимных параметров технологических процессов их изготовления способствуют повышению качества и расширению номенклатуры продукции.

### Библиографический список

1. Селиванова, З. М. Теоретические основы построения интеллектуальных информационно-измерительных систем допускового контроля теплопроводности теплоизоляционных материалов : монография / З. М. Селиванова, К. С. Стасенко. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 200 с.

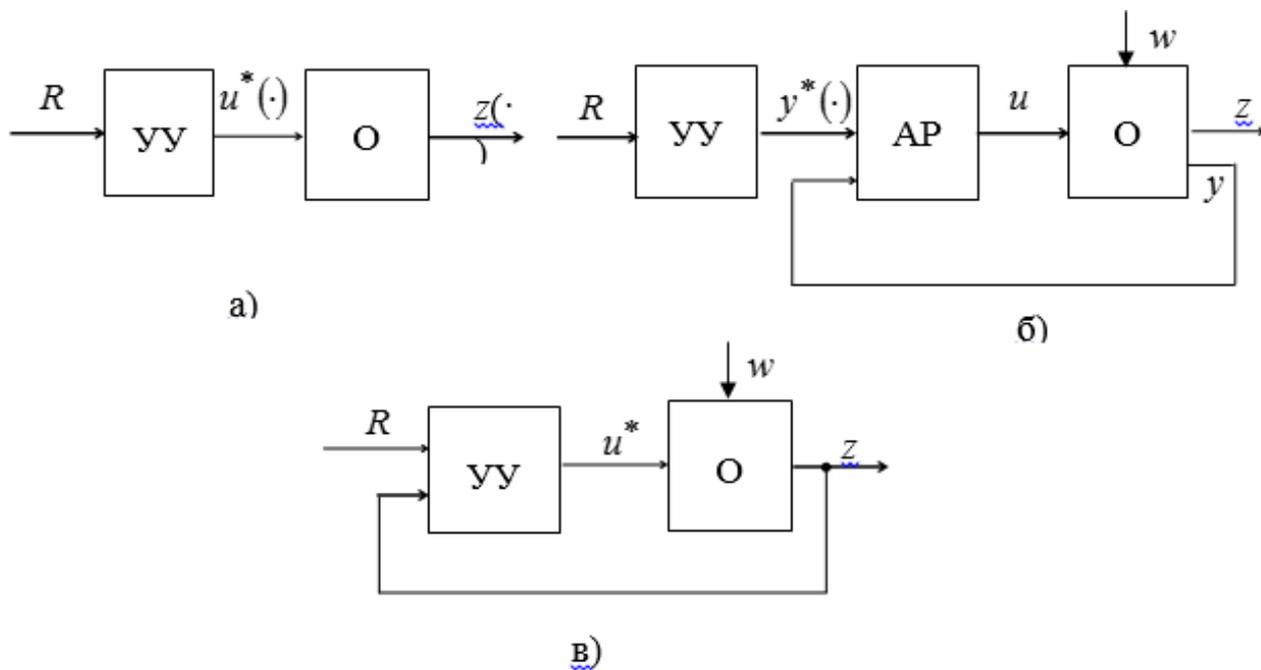
2. Intelligent System Functioning for Thermophysical Measurements in an Uncertain Measuring Situation / Z. M. Selivanova, D. S. Kurenkov, L. G. Varepo, O. V. Trapeznikova // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1791. – Pp. 012110. – doi: 10.1088/1742-6596/1791/1/012110

3. Selivanova, Z. M. Modelling of Intelligent Information Measuring System to Control Hermophysical Properties of Materials and Products / Z. M. Selivanova, D. S. Kurenkov, T. A. Hoang // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1278. – Pp. 012040. – Doi: 10.1088/1742-6596/1278/1/012040

## ОПТИМАЛЬНОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ

**И. О. Шибирина, Р. С. Сивков, А. Г. Жулькин, Н. Г. Чернышов**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
 (e-mail: inna.shibirina@mail.ru; mv-elegant@mail.ru; buildprofy@mail.ru;  
 nchtamb@yandex.ru)

Простейшие системы оптимального управления состоят из управляющего устройства (УУ) и объекта (О) управления. На рисунке 1 показана структура СОУ, которая реализует алгоритм диагностики промышленных объектов.



**Рис. 1. Схемы простейших систем оптимального управления:**

- a* – управляющее устройство рассчитывает оптимальную программу  $u^*(\cdot)$ ;
- б* – управляющее устройство рассчитывает оптимальную траекторию  $y^*(\cdot)$ ;
- в* – управляющее устройство использует позиционную стратегию

На вход управляющего устройства подается массив исходных данных  $R$ , на основе которого УУ рассчитывает оптимальную программу. Разновидностью такой СОУ является включение в схему автоматического регулятора (АР). Здесь управляющее устройство рассчитывает оптимальную программу изменения, например, температуры, отклонения от траектории  $y^*(\cdot) = (y^*(t), t \in [t_0, t_k])$  устраняются с помощью АР. Данная система используется для объектов, которые подвержены значительным возмущающим воздействиям  $w$ .

На рисунке 1 показана СОУ с обратной связью (оптимальный регулятор). В этом случае устройство реализует алгоритм в виде синтезирующей функции, т.е. УУ рассчитывает ОУ в каждый момент времени в зависимости от текущего значения фазовых координат  $z$  и остаточного времени  $t_k - t$ . Вид и параметры самой синтезирующей функции определяется значением массива исходных данных.

Многие энергоемкие технологические установки имеют несколько входов и несколько выходов, при этом каждый входной сигнал влияет на группу выходных сигналов.

Все системы управления, решающие задачи энергосбережения, отличаются сложностью алгоритмического обеспечения, вместе с тем они должны использовать те же аппаратные и инструментальные средства, что и другие АСУ ТП.

### Библиографический список

1. Approximation of Distribution Law of Experimental Test Data to Assess Reliability of Information-Measuring and Control Systems / Yu. T. Zyryanov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova, D. Yu. Muromtsev, N. G. Chernyshov, E. V. Trapeznikov // Journal of Physics: Conference Series. XIII International Scientific and Technical Conference «Applied Mechanics and Systems Dynamics». – 2020. – pp. 1 – 8. – Doi: 10.1088/1742-6596/1441/1/012081

2. Application of Generalized Distribution Laws for the Reliability Assessment of Information and Measuring Systems of Energy Saving Control / Yu. T. Zyryanov, N. G. Chernyshov, I. G. Ryazanov, A. Yu. Naumova, M. F. Dioumessy // Journal of Physics: Conf. Series. – 2019. – Vol. 1172, No. 1. – Pp. 012108. – Doi: 10.1088/1742-6596/1172/1/012108

3. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белосов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762. – Doi: 10.15827/0236-235X.031

4. Селиванова, З. М. Интеллектуальная информационно-измерительная система дистанционного контроля качественных параметров теплоизоляционных материалов в условиях воздействия дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Д. С. Куренков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 6 – 19. – Doi: 10.17277/vestnik.2020.01.pp.006-019

5. Metrological Analysis of Analog-to-Digital Conversion Measurement Procedure in Information-Measuring and Control Systems / R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova, V. N. Chernyshov, M. A. Kamenskaya // Proceedings – 2020 2<sup>nd</sup> International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020. – 2020. – Pp. 61 – 64.

## **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НАСОСНОЙ ПЕРЕКАЧКИ МАСЛА**

**Р. О. Дементьев**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: sharygin2014@yandex.ru)

Обсуждается информационно-измерительная система управления технологическим процессом насосной перекачки масла в производстве.

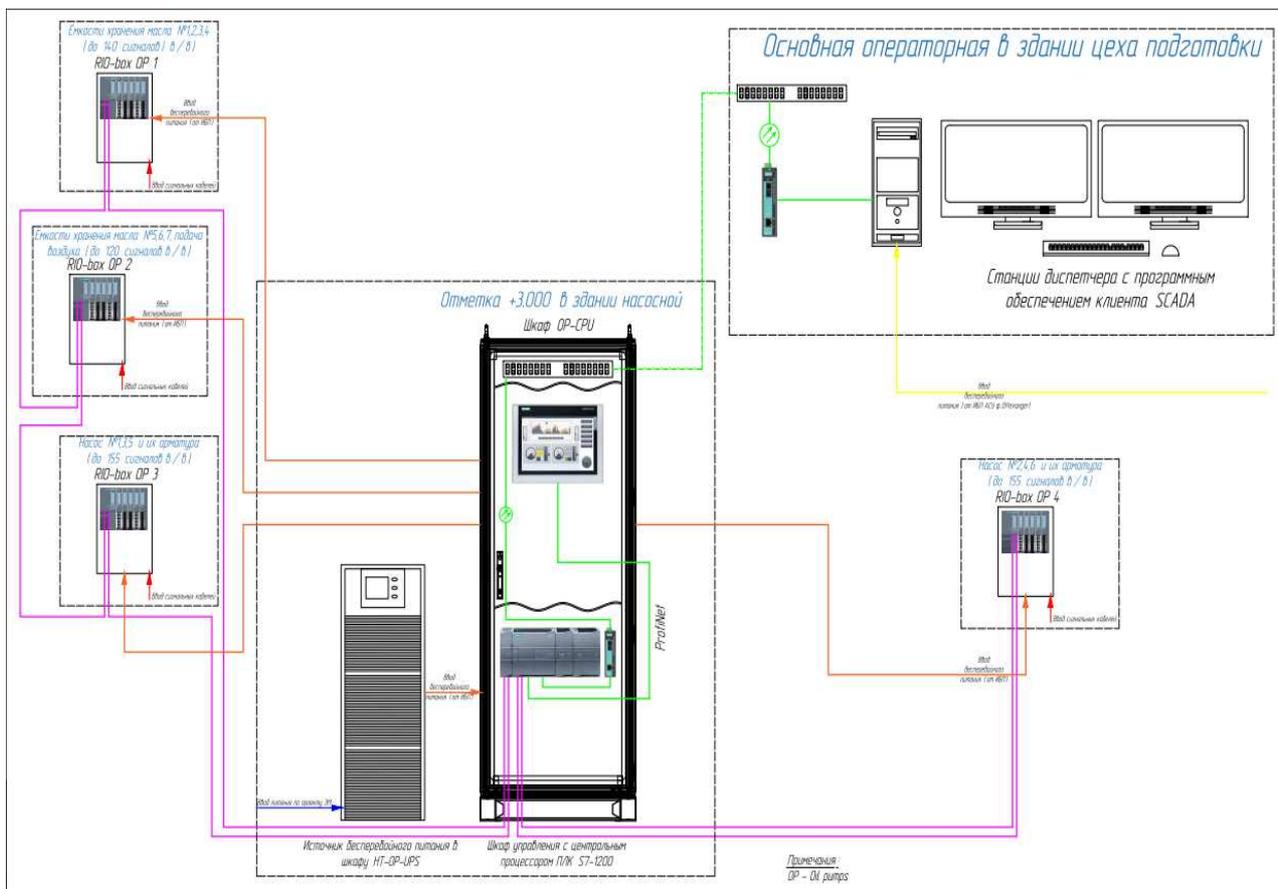
Информационно-измерительные системы (ИИС) представляют собой совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи. Они предназначены для автоматического получения измерительной информации от ряда ее источников, а также для ее передачи и обработки [1].

Обсуждаемая информационно-измерительная система управления организована в виде функционально и территориально распределенной иерархической системы и имеет трехуровневую структуру (рис. 1) [2]:

- нижний уровень состоит из полевых датчиков, преобразователей, сигнализаторов состояния оборудования, исполнительных устройств и механизмов, линий передачи сигналов от них;

- средний уровень, реализованный на базе программируемых логических контроллеров SIMATIC S7-1200 фирмы Siemens, обеспечивает автоматическое и по командам с верхнего уровня управление технологическим оборудованием;

- верхний уровень, реализованный на базе операторских станций с системой SCADA SIMATIC WinCC, обеспечивает сбор данных о состоянии оборудования путем опроса нижнего уровня (посредством устройств среднего уровня), визуализацию состояния оборудования, дистанционное управление оборудованием, обработку данных, формирование и печать отчетных документов.



**Рис. 1. Структурная схема комплекса технических средств**

Связь уровней реализуется с помощью сети ProfiBus с кольцевым резервированием. Основой информационного обеспечения программно-аппаратного комплекса Siemens Simatic Step 7 служит база данных реального времени [2].

Оперативная информация БД реального времени включает в себя текущие значения входных и выходных аналоговых и дискретных параметров, диагностическую информацию о состоянии комплекса технических средств системы управления. Эти данные поступают в режиме реального времени.

Аналоговые входные параметры определяют текущее состояние технологических параметров объекта автоматизации, таких как температура, давление, расход, уровень.

Дискретные входные параметры определяют текущее состояние исполнительных механизмов и сигнализацию состояния технологического оборудования автоматизируемого объекта.

Выходные аналоговые и дискретные параметры формируются в процессе контроля и управления технологическим процессом логикой системы управления, реализованной в соответствии с технологическим регламентом, в зависимости от текущей ситуации, а также на основе полученных от оператора управляющих директив.

Представленная система является многофункциональной, восстанавливаемой, непрерывного действия и, в соответствии с ГОСТ 24.701-86 характеризуется показателями качества безотказности по основным выполняемым функциям.

### **Библиографический список**

1. Парахуда, Р. Н. Информационно-измерительные системы : письменные лекции / Р. Н. Парахуда, Б. Я. Литвинов. – СПб. : СЗТУ, 2002. – 74 с.
2. ООО «ГОРТ» [Электронный ресурс]. – URL : <https://gort.su/proektasutr>

## **ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ХРАНИЛИЩА ГЕКСАНА**

**Р. О. Дементьев**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: [sharygin2014@yandex.ru](mailto:sharygin2014@yandex.ru))

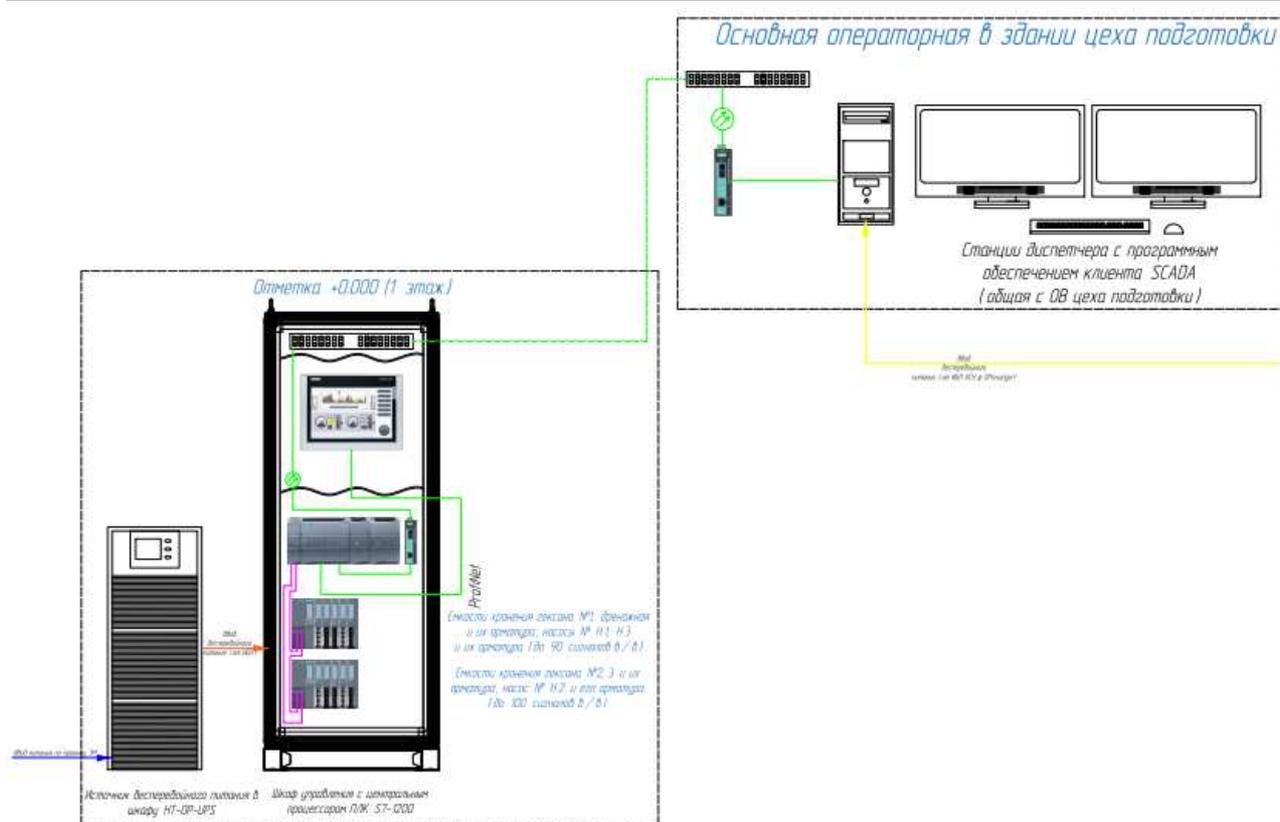
Информационно-управляющая система (Information Management System, IMS, или MIS – Management Information System) – совокупность компонентов, собирающих, подготавливающих и предоставляющих производственные и другие данные, необходимые для безопасного и точного управления технологическим процессом или производством [1].

Структура ИИС для автоматизации управления хранилища гексана представляет собой функционально распределенную систему [2] и является трехуровневой. Она содержит:

- средний уровень, реализованный на базе программируемых логических контроллеров;
- верхний уровень реализован на базе операторской станции управления Siemens и сенсорной панели управления HMI.

Технические средства среднего уровня [2] (контроллеры, модули ввода-вывода, устройства сопряжения с «полевым» оборудованием, блоки питания) размещены в шкафных конструктивах. Территориально они расположены в удаленных шкафах системы управления в помещении контроллерной здания местного помещения управления:

- подсистема PCSU в составе контроллера SIMATIC S7-1200;
- модули ввода/вывода;
- устройства сопряжения с «полевым» оборудованием;
- блоки питания.



**Рис. 1. Структурная схема комплекса технических средств**

Технические средства среднего уровня обеспечивают реализацию следующих функций:

- сбор, обработку, масштабирование информации, поступающей от аналоговых, дискретных датчиков объекта управления, диагностику каналов ввода;
- реализацию алгоритмов логического управления и регулирования;
- выдачу управляющих воздействий на дискретные и пропорциональные исполнительные механизмы, – диагностику выходных каналов, диагностику работоспособности линий связи, функционирование программ управления.

Верхний уровень реализован на базе операторской станции Siemens, предназначенной для взаимодействия технологического персонала с системой управления. Станция размещена в помещении операторной цеха подготовки. Дополнительно, для управления процессом по месту, предусмотрена локальная сенсорная панель НМІ. Данная панель будет размещена снаружи, на шкафовом конструктиве с контроллером SIEMENS.

Разрабатываемая система является многофункциональной, восстанавливаемой, непрерывного действия и, в соответствии с ГОСТ 24.701–86, характеризуется показателями качествами безотказности по основным выполняемым функциям.

## Библиографический список

1. Индустриальные информационно-управляющие системы: от проектирования и разработки до практической реализации / С. К. Голушко и др. // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18. – Спец. вып. – С. 4 – 11.
2. ООО «ГОРТ» [Электронный ресурс]. – URL : <https://gort.su/proektasutp>

## ПОДХОД К ПРИМЕНЕНИЮ ИНВАРИАНТНОСТИ И ЭМЕРДЖЕНТНОСТИ ПРИ ОБОСНОВАНИИ СПОСОБОВ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ

С. С. Белоусов, П. А. Федюнин, М. А. Стафеев

ВУНЦ ВВС «ВВА», Россия, Воронеж

(e-mail: [belousovtel@yandex.ru](mailto:belousovtel@yandex.ru))

При выполнении задач по предназначению подразделениями связи возникает необходимость обоснования выбора способов организации связи при управлении подчиненными объектами. Для доказательства инвариантности способов организации связи авторами предложен аппарат математической логики.

Введем следующие глобальные логические переменные, соответствующие параметрам  $\beta$  и  $\alpha$ :  $B$  – интенсивность потери управленческих функций органами управления;  $A$  – интенсивность восстановления управленческих функций органами управления, а также локальные логические переменные, соответствующие коэффициентам, от которых зависят  $\beta$  и  $\alpha$ :  $b_1$  – коэффициент живучести;  $b_2$  – коэффициент надежности;  $b_3$  – коэффициент помехоустойчивости;  $b_4$  – время выполнения задачи;  $a_1$  – коэффициент резервирования;  $a_2$  – коэффициент мобильности;  $a_3$  – коэффициент ремонта;  $a_4$  – время простоя.

В соответствии с введенными переменными определим логические функции:

$$B(b_1, b_2, b_3, b_4); \quad (1)$$

$$A(a_1, a_2, a_3, a_4). \quad (2)$$

Очевидно, что для обеспечения работы органов управления логические переменные  $b_i$  должны иметь следующие значения:

$$b_1 = 1, b_2 = 1, b_3 = 0, b_4 = 1. \quad (3)$$

Логические переменные  $a_i$  должны иметь следующие значения:

$$a_1 = 1, a_2 = 1, a_3 = 1, a_4 = 0. \quad (4)$$

Тогда построение логических функций  $B$  и  $A$  должно быть следующим:

$$B(b_1, b_2, b_3, b_4) = b_1 \wedge b_2 \wedge \bar{b}_3 \wedge b_4; \quad (5)$$

$$A(a_1, a_2, a_3, a_4) = a_1 \wedge a_2 \wedge a_3 \wedge \bar{a}_4. \quad (6)$$

Применяя указанные выше значения  $bi$  и  $ai$  получим:

$$B(1, 1, 0, 1) = 1 \wedge 1 \wedge \bar{0} \wedge 1 = 1; \quad (7)$$

$$A(1, 1, 1, 0) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge \bar{0} = 1. \quad (8)$$

Таким образом, формулы  $B$  и  $A$  выполнимы.

Мы рассматриваем три способа организации связи:  $C_1, C_2, C_3$ . Каждый из этих способов обеспечивает работу органов управления путем определения некоторых значений  $\beta$  и  $\alpha$ . Поэтому, определяя способы  $C_1, C_2, C_3$  как логические функции переменных  $B$  и  $A$ , получим логические формулы:

$$C_i(B, A) = B(b_1, b_2, b_3, b_4) \wedge A(a_1, a_2, a_3, a_4). \quad (9)$$

При этом

$$C_i(1, 1) = 1 \wedge 1 = 1, \quad i = 1, 2, 3, \quad (10)$$

что означает факт работы органов управления при использовании любого способа. Это можно записать в виде логического равенства:

$$C_1 \vee C_2 \vee C_3 = 1. \quad (11)$$

Комбинирование способов организации связи приводит к следующей логической функции:

$$C(C_1, C_2, C_3) = C_1 \vee C_2 \vee C_3 \vee (C_1 \wedge C_2) \vee (C_1 \wedge C_3) \vee (C_2 \wedge C_3) \vee (C_1 \wedge C_2 \wedge C_3). \quad (12)$$

Поменяем в ней порядок слагаемых:

$$C(C_1, C_2, C_3) = C_1 \vee (C_1 \wedge C_2) \vee C_2 \vee (C_2 \wedge C_3) \vee C_3 \vee (C_3 \wedge C_1) \vee (C_1 \wedge C_2 \wedge C_3). \quad (13)$$

Тогда, используя закон поглощения, получим:

$$C(C_1, C_2, C_3) = C_1 \vee C_2 \vee C_3 \vee (C_1 \wedge C_2 \wedge C_3). \quad (14)$$

Обозначим  $X = C_2 \vee C_3$ , тогда из  $C(C_1, C_2, C_3)$  по закону поглощения:

$$C_X(C_1, C_2, C_3) = X \vee C_1 \vee (C_1 \wedge X) = C_1 \vee C_2 \vee C_3. \quad (15)$$

Обозначим  $Y = C_1 \vee C_3$ , тогда из  $C(C_1, C_2, C_3)$  по закону поглощения:

$$C_Y(C_1, C_2, C_3) = X \vee C_2 \vee (C_2 \wedge X) = C_1 \vee C_2 \vee C_3. \quad (16)$$

Обозначим  $Z = C_1 \vee C_2$ , тогда из  $C(C_1, C_2, C_3)$  по закону поглощения:

$$C_Z(C_1, C_2, C_3) = Z \vee C_3 \vee (C_3 \wedge X) = C_1 \vee C_2 \vee C_3. \quad (17)$$

Все формулы  $C_X$ ,  $C_Y$ ,  $C_Z$ ,  $C$  равносильны, что и доказывает инвариантность способов организации связи с точки зрения ее структуры и обеспечения функционирования.

Эмерджентность способов организации связи определим с помощью коэффициента эмерджентности Хартли [1]:

$$\varphi = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_N^m}{\log_2 N}, \quad (18)$$

где  $N$  – количество элементов в системе альтернативных структур;  $m$  – сложность подсистемы (количество элементов в подсистеме);  $M$  – максимальная сложность подсистем (количество элементов в системе):

$$C_N^m = \frac{N!}{m!(N-m)!}. \quad (19)$$

Уровень системности отдельного способа  $C_i$  организации связи равен 1.

В нашем случае  $m = 1, 2, 3$ ;  $m = 3$ ,  $W = 7$  – количество вариантов построения системы по способам  $C_1, C_2, C_3$ :

$$\varphi = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^3 \frac{7!}{m!(7-m)!}}{\log_2 7} = 2,129. \quad (20)$$

Таким образом, комплексный эффект, в результате которого сложная система, построенная с использованием всех трех способов организации связи  $C_1, C_2, C_3$ , имеет уровень системности, в 2,129 раз превышает уровень, который был бы получен по какому-либо отдельному способу организации связи.

## Библиографический список

1. Гавриков, В. А. Основы математического моделирования в военной области / В. А. Гавриков, Н. Л. Торопов, В. Н. Шубин. – Монино, 2010. – 144 с.

### ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАМАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

А. И. Казьмин, П. А. Федюнин, В. А. Манин

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора

Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Россия, Воронеж

(e-mail: alek-kazmin@yandex.ru)

Метаматериалы (ММ) благодаря своим уникальным свойствам (электрофизическим, радиофизическими и оптическим), которые не встречаются в природных условиях, нашли применение и открывают широкие перспективы по их применению в будущем в различных областях науки и техники [1].

Вместе с тенденцией развития ММ различных типов возрастают и требования по точности и достоверности к методам измерения их электрофизических и геометрических параметров (ЭФГП), к важнейшим из которых относятся частотные зависимости комплексных диэлектрической  $\epsilon_{\text{ММ}}(f)$  и магнитной  $\mu_{\text{ММ}}(f)$  проницаемостей, а также толщина ММ  $t$ , мм.

В работе [1] на основе исследования свойств ММ на основе прямоугольных SRR-элементов впервые представлен метод измерения ЭФГП ММ с помощью поверхностных электромагнитных волн (ПЭМВ) сверхвысокочастотного диапазона (СВЧ) диапазона.

Метод основан на определении вектора ЭФГП ММ

$$\xi_{\text{ММ}} = \{\epsilon'_{\text{ММ}}(f_k), \epsilon''_{\text{ММ}}(f_k), \mu'_{\text{ММ}}(f_k), \mu''_{\text{ММ}}(f_k), t_{\text{ММ}}\},$$

где  $\epsilon'_{\text{ММ}}(f_k)$ ,  $\mu'_{\text{ММ}}(f_k)$  – действительные части комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостей ММ соответственно;  $\epsilon''_{\text{ММ}}(f_k)$ ,  $\mu''_{\text{ММ}}(f_k)$  – мнимые части комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостей ММ соответственно,  $t$  – толщина ММ, мм, по частотной зависимости комплексного коэффициента ослабления (КО) поля ПЭМВ, возбуждаемой в исследуемом образце:

$$\mathbf{A}_{\text{ММ}} = [\alpha'(f_k, \xi_{\text{ММ}}), \dots, \alpha'(f_K, \xi_{\text{ММ}})], \quad k = 1, \dots, K, \quad (1)$$

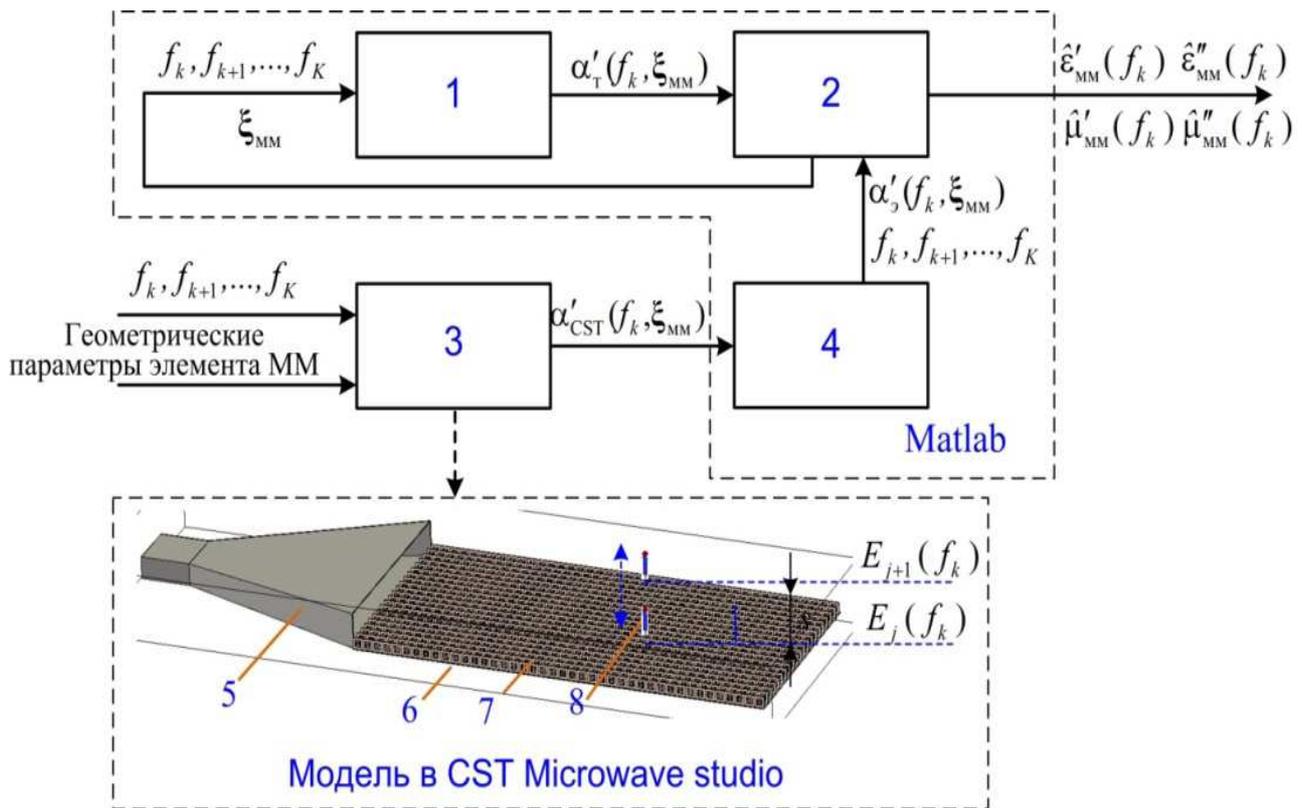
путем решения операторного уравнения первого рода [1]:

$$\Theta_{MM}\xi_{MM} = \dot{\alpha}(f_k, \xi_{MM}), \quad \xi_{MM} \in \Xi_{MM}, \quad \dot{\alpha}(f_k, \xi_{MM}) \in A_{MM}, \quad (2)$$

где  $\Theta_{MM}$  – нелинейный оператор для ММ, осуществляющий преобразование множества значений вектора  $\xi_{MM}$  в множество значений КО поля ПЭМВ  $\dot{\alpha}(f_k, \xi_{MM})$ ;  $\Xi_{MM}$  – метрическое пространство векторов  $\xi_{MM}$  для ММ;  $A_{MM}$  – метрическое пространство КО поля ПЭМВ для ММ.

Для более гибкой оценки точности и достоверности определения ЭФГП различных типов ММ разработана имитационная модель реального измерительного комплекса [1]. Структурная схема имитационной модели приведена на рис. 1.

Такие элементы измерительного комплекса, как антенна возбуждения ПЭМВ 5, приемная антенна (измерительный зонд) 8, а также исследуемый ММ 7 на металлической подложке 6, реализованы в блоке формирования КО в системе CST Microwave Studio. Геометрические размеры данных элементов точно соответствуют их размерам в реальном измерительном комплексе.



**Рис. 1. Имитационная модель измерений ЭФГП ММ методом поверхностных электромагнитных волн:**

- 1 – блок решения прямой задачи; 2 – блок решения операторного уравнения;
- 3 – блок формирования КО в системе CST Microwave Studio; 4 – блок формирования погрешностей измерений КО; 5 – антенна возбуждения ПЭМВ;
- 6 – металлическая подложка; 7 – исследуемый образец ММ; 8 – приемная антенна (измерительный зонд)

## **Библиографический список**

1. Казьмин, А. И. Контроль электрофизических параметров метаматериалов методом поверхностных электромагнитных волн / А. И. Казьмин, П. А. Федюнин // Дефектоскопия. – 2021. – № 4. – С. 51 – 67.

### **ПРОГРАММНОЕ И АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ**

**Н. Ю. Залукаева, А. Н. Грибков**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: natashazalukaeva@yandex.ru)**

Топливные пеллеты относятся к экологически чистым источникам энергии и являются одним из весьма распространенных видов биотоплива. Число производителей и потребителей топливных пеллет непрерывно растет, в связи с чем весьма актуальной становится задача управления процессом их распределения для обеспечения бесперебойной поставки пеллет от производителей к потребителям. Для решения данной задачи разработана информационно-управляющая система (ИУС), позволяющая минимизировать временные и материальные затраты в процессе распределения топливных пеллет [1].

Для реализации программного обеспечения ИУС процессом распределения топливных пеллет выбрана двухуровневая архитектура «клиент-сервер» [2]. Это связано с тем, что участники процесса распределения (потребители, производители и перевозчики) рассредоточены в пространстве.

Программное обеспечение ИУС включает в себя программы-клиенты, установленные на рабочих местах каждого участника процесса распределения, а также серверных программ, которые установлены на общем сервере. Разделение на уровни в данной архитектуре позволяет проводить обработку данных и все сложные вычислительные процессы на сервере, а клиентские программы обеспечивают отправку запросов и получение готовых решений.

Рассмотрим в качестве примера программы, входящие в клиентскую часть программного обеспечения ИУС, устанавливаемые у потребителя.

Программа расчета критических параметров и анализа расхода материала в емкостях хранения [3] предназначена для расчета критических параметров остатка материала (топливных пеллет) в емкости хранения, а также анализа его расхода. Программа на основе заданных геометрических параметров емкости хранения топливных пеллет, их критического остатка и насыпной плотности

рассчитывает минимально допустимую дистанцию для мониторинга. Кроме того, на основании тех же параметров и данных мониторинга программа осуществляет анализ расхода топливного материала, формирует количественные и качественные показатели процесса, структурирует их и выводит результаты в графическом виде. На основе анализируемых данных программой определяется средний дневной расход топлива котлом. Программа выдает результат в виде среднего дневного расхода топливных пеллет, а также позволяет сформировать почасовую статистику расхода топливных пеллет.

Программный комплекс мониторинга расхода топливных «пеллет» [4] обеспечивает автоматизированный мониторинг и контроль состояния емкости хранения твердотопливных элементов на основе измерения дистанции. Программный комплекс состоит из двух программ: программы для микроконтроллера и программы для ЭВМ. В качестве микроконтроллера могут выступать контроллеры типа Arduino и их аналоги. Программа для микроконтроллера реализует считывание данных с ультразвукового датчика дистанции и их передачу в ЭВМ. Программа для ЭВМ принимает соответствующие данные с микроконтроллера, проводит их анализ и вывод на экран и в файл статистики.

Технические средства, с которыми осуществляется взаимодействие программных модулей ИУС у потребителя, включают:

- котельное оборудование;
- совокупность датчиков и контроллеров, предназначенных для отслеживания и передачи информации об остатке топливных пеллет в бункере котла;
- персональный компьютер (ноутбук, планшет, смартфон и т.п.), на котором установлены программы клиентской части ИУС.

Технические средства, с которыми осуществляется взаимодействие программных модулей ИУС у производителя и перевозчика, включают персональный компьютер (ноутбук, планшет, смартфон и т.п.), на котором установлены соответствующие программы клиентской части ИУС. При этом производители и перевозчики могут иметь собственные серверы и использовать стандартные системы управления производством (MES) и транспортно-логистические системы (TMS).

Все персональные компьютеры или иные устройства участников процесса распределения, на которых установлены клиентские программные модули ИУС, должны иметь доступ к сети Интернет для обеспечения взаимодействия с программными модулями серверной части ИУС и работы в рамках единой информационной среды.

Разработанная ИУС обеспечивает непрерывный мониторинг и управление процессом бесперебойной поставки топливных пеллет с соблюдением их количественных и качественных показателей, что позволяет повысить эффективность процесса распределения топливных пеллет за счет минимизации временных и материальных затрат.

### **Библиографический список**

1. Залукаева, Н. Ю. Информационно-управляющая система распределения топливных пеллет от производителя до потребителя / Н. Ю. Залукаева, А. Н. Грибков // Вестник ТГТУ. – 2022. – № 1(28). – С. 24 – 34.

2. Грибков, А. Н. Архитектура программного обеспечения информационно-управляющей системы бесперебойной поставки биотоплива / А. Н. Грибков, Н. Ю. Залукаева // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях : матер. XVI Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. – Бийск : Бийский технологический институт, филиал ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», 2021. – С. 107–108.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021668169. Программный комплекс мониторинга расхода топливных пеллет / Грибков А. Н., Залукаева Н. Ю., Анохин С. А. ; заявка № 2021667535 ; заявл. 02.11.2021 ; зарег. 10.11.2021.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021668112. Программа расчета критических параметров и анализа расхода материала в емкостях хранения / Грибков А. Н., Залукаева Н. Ю., Анохин С. А., Гуськов А. А.; заявка № 2021667537; заявл. 02.11.2021 ; зарег. 10.11.2021.

*Исследование выполнено в ЦКП «Радиоэлектроника и связь» ТГТУ при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90056*

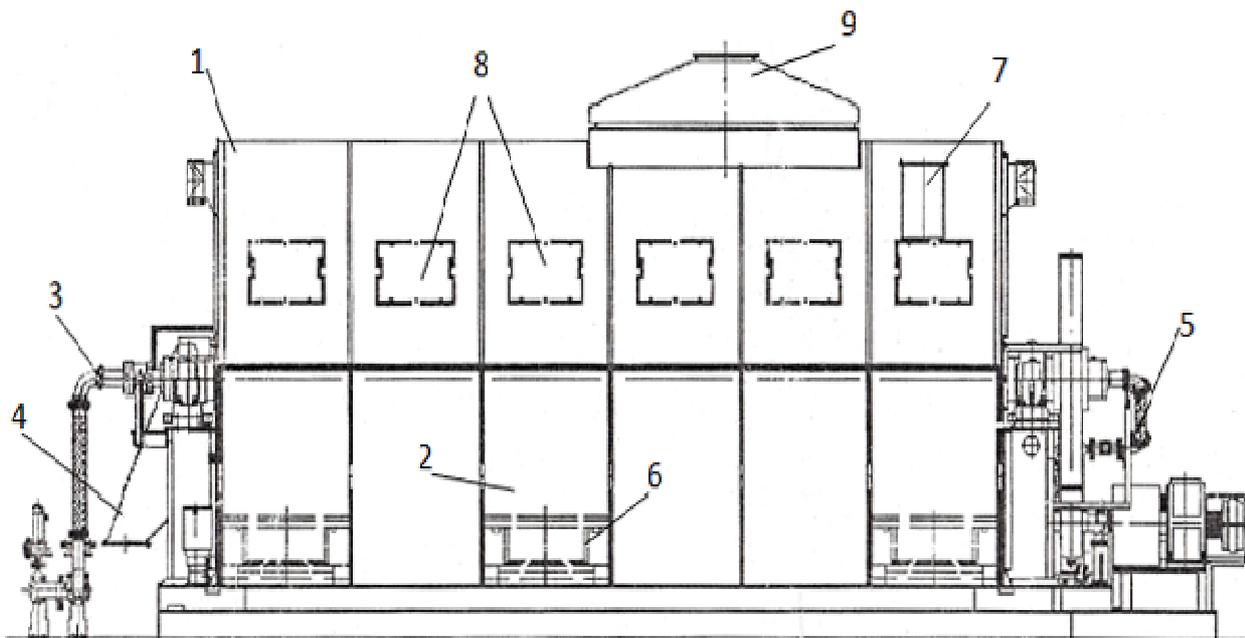
## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛАЖНОСТИ СПИРТОВОЙ БАРДЫ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ**

**Ву Чи Чиен**

**МИРЭА – Российский технологический университет, Россия, Москва**

**(e-mail: vutrichien00@gmail.com)**

Влагосодержание барды является одним из важнейших показателей процесса сушки, так как оно напрямую влияет на стабильность качества сушки.



**Рис. 1. Схема конструкции барабанной сушильной установки:**

1 – корпус; 2 – барабан; 3 – подача пара; 4 – выход сухого материала; 5 – отвод пара; 6 – лопасти; 7 – подача материала для сушки; 8 – воздухозаборные окна; 9 – отвод выпара

Сушка барды – это нелинейный сложный процесс, который трудно точно выразить и реализовать с помощью общих математических методов. Следовательно, разработка модели для мониторинга влажности барды с помощью искусственной нейронной сети (ИНС) имеет большое значение в процессе сушки в барабанной сушильной установке (рис. 1).

Данная сушильная установка представляет собой неподвижный корпус с расположенным внутри вращающимся барабаном, состоящим из двух головок, двух трубных пластин и расширенных в них труб.

Разработанная модель искусственной нейронной сети (ИНС) была применена для получения нелинейной зависимости между входными переменными и выходной переменной конечного влагосодержания барды [1].

Аналитическая модель для мониторинга влажности материала в сушильной установке, которая представляет собой искусственную нейронную сеть с многослойным персептроном, обученную с помощью алгоритма обратного распространения ошибки, может быть записана следующим образом:

$$\varphi = 100 - \left( f_4 \left( \sum_{h=1}^{m_3} f_3 \left( \sum_{k=1}^{m_2} f_2 \left( \sum_{j=1}^{m_1} f_1 \sum_{i=1}^n x_{iN} W_{i,j}^{(1)} + b_j \right) W_{j,k}^{(2)} + b_k \right) W_{k,h}^{(3)} + b_h \right) W_h + b^{\text{ВЫХ}} \right),$$

(1)

где  $\varphi$  – оценка влажности материала;  $x_i/N$  – нормированное значение  $i$ -й входной переменной;  $f_1, f_2, f_3, f_4$  – активационные функции Relu-функция;  $n$  – количество входных переменных (в нашем случае  $n = 8$ ) ( $i = 1 \dots n$ );  $m_1$  – количество нейронов в первом скрытом слое (в нашем случае  $m_1 = 36$ ) ( $j = 1 \dots m_1 = 36$ );  $m_2$  – количество нейронов во втором скрытом слое (в нашем случае  $m_2 = 36$ ) ( $k = 1 \dots m_2 = 36$ );  $m_3$  – количество нейронов в третьем скрытом слое (в нашем случае  $m_3 = 36$ ) ( $h = 1 \dots m_3 = 36$ );  $x_i$  – значение  $i$ -й входной переменной;  $W_{i,j}^{(1)}$ ,  $W_{j,k}^{(2)}$ ,  $W_{k,h}^{(3)}$ ,  $W_k^{\text{ВЫХ}}$  – скрытые и выходные весовые коэффициенты;  $b_j^{\text{ВХ}}$ ,  $b_k$ ,  $b_h$ ,  $b_{\text{ВЫХ}}$  – входные, 1-скрытые, 2-скрытые и выходные смещения.

Окончательная модель ИНС была подтверждена независимо от использования наборов данных для обучения и тестирования. Ошибка прогнозирования влагосодержания была в пределах 2%, что позволяет моделировать тенденцию изменения влажности барды в процессе сушки. В целом, предложенная модель нейронной сети адекватна исследуемому процессу и обладает хорошей предсказательной способностью [2].

### Библиографический список

1. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М. : Химия, 1970. – 432 с.
2. Редько, В. Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: модели и концепции эволюционной кибернетики / В. Г. Редько. – М. : Ленанд, 2019. – 224 с.

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора  
С. В. Артемовой*

### ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

**В. С. Кувшинников, Е. Е. Ковшов**

**АО «Научно-исследовательский и конструкторский институт  
монтажной технологии – Атомстрой», Россия, Москва  
(e-mail: KuvshinnikovVS@atomrus.ru; KovshovEE@atomrus.ru)**

Во многих отраслях промышленного производства происходит глобальное замещение человеческого труда, как физического, с применением широкого ряда машин и робототехнических устройств, так и умственного, с использованием методов интеллектуализации их систем управления. В специализирован-

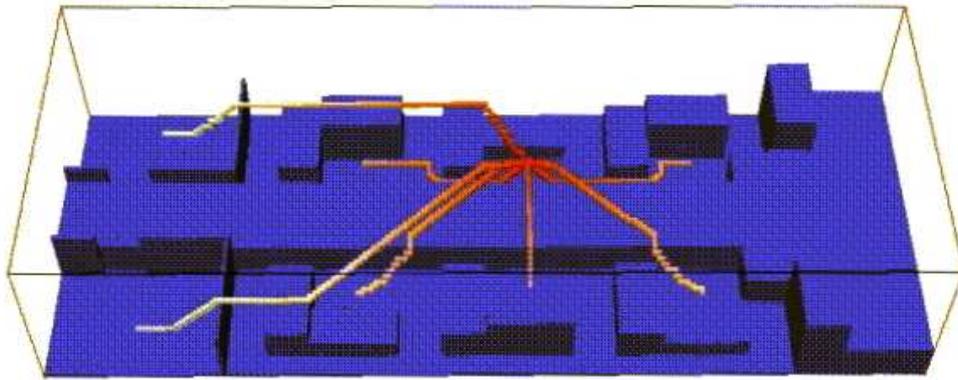
ном технологическом оборудовании заинтересованы и предприятия крупносерийного массового производства, и промышленные предприятия, реализующие уникальные технологические циклы.

Структура автоматизированных систем управления производством позволяет выделить среди всех задач автоматизации группу задач, связанных с формированием траекторий перемещения инструмента технологической машины или объектов обработки к месту проведения основной технологической операции. С ростом уровня автоматизации процессов на производстве доля неавтоматизированного труда при выполнении вспомогательных операций в общем объеме неавтоматизированных производственных процессов возрастает. В совокупности факторов от уровня автоматизации вспомогательных технологических процессов зависит работоспособность, надежность и безопасность промышленных автоматизированных систем в атомной отрасли.

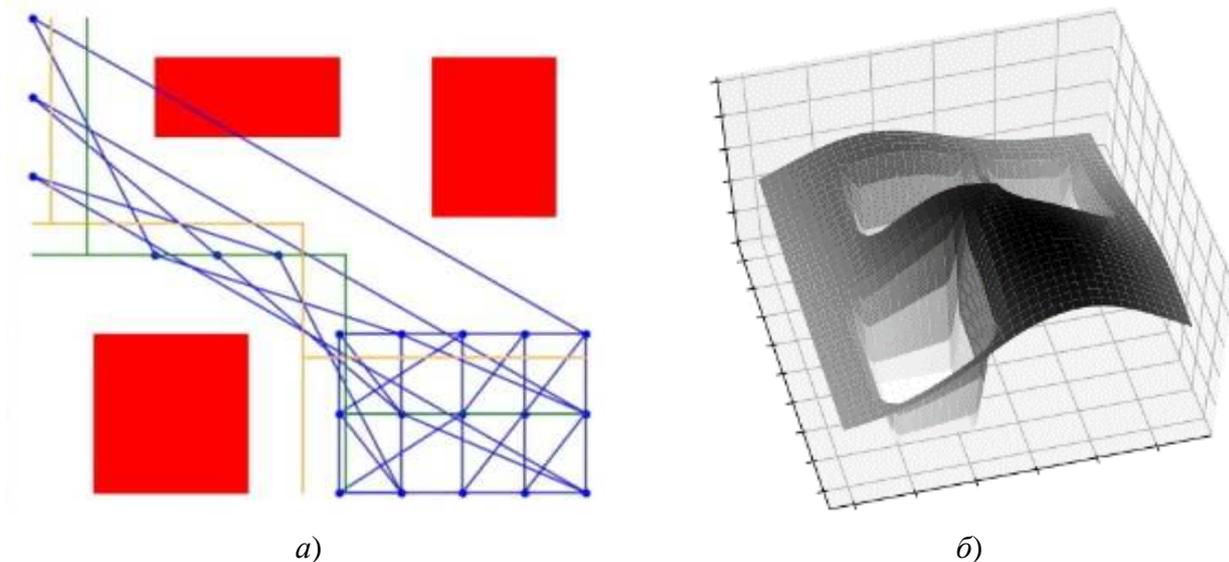
На практике для управления промышленными мехатронными устройствами на потенциально опасных объектах, например, в атомной энергетике при работе с отработанным ядерным топливом и/или радиоактивными отходами, используются относительно простые алгоритмы, нередко с последовательным перемещением звеньев кинематической структуры. При этом маршрутные схемы для группы технологических позиций при наличии препятствий в рабочей зоне, как правило, формируются вручную. В связи с вышеизложенным, задача применения программных средств интеллектуализации формирования траекторий и маршрутных схем в структуре специализированных мехатронных устройств является и актуальной и востребованной в промышленном производстве.

В ходе исследования были проанализированы особенности структуры распределенных систем управления на технологических участках, оснащенных специализированными мехатронными устройствами, и рассмотрен ряд возможных методов решения [1, 2].

Предложена и апробирована модель представления данных и метод решения для задачи поиска пути и формирования опорных точек трехмерной траектории перемещения мехатронного устройства-манипулятора (рис. 1) [3] на основе топографически обусловленной искусственной нейронной сети типа «нейронная карта». Разработана и исследована модель представления данных и метод решения для задачи создания маршрутных схем перемещения грузов координатным краном (рис. 2) [4] на основе векторного поля и генетического алгоритма.



**Рис. 1. Опорные точки группы траекторий перемещения манипулятора на гибком участке механической обработки**



**Рис. 2. Формирование схем маршрутных линий (а) скалярное поле представления маршрута (б)**

### **Библиографический список**

1. Лю, В. Методы планирования пути в среде с препятствиями / В. Лю // Математика и математическое моделирование. – 2018. – № 01. – С. 15 – 58.
2. Казаков, К. А. Обзор современных методов планирования движения / К. А. Казаков, В. А. Семенов // Труды ИСП РАН. – 2016. – № 4. – С. 241 – 294.
3. Кувшинников, В. С. Формирование навигационных паттернов на основе нейронной карты для управления перемещением манипулятора / В. С. Кувшинников, Е. Е. Ковшов // Cloud of Science. – 2019. – Т. 6, № 4. – С. 727 – 736.
4. Кувшинников, В. С. Автоматизация управления специализированным порталным краном для перемещения твердых радиоактивных отходов на основе алгоритмов генетического поиска / В. С. Кувшинников, Е. Е. Ковшов // Cloud of Science. – 2020. – Т. 7, № 4. – С. 827 – 843.

# **ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКОГО ТРЕНАЖЕРОСТРОЕНИЯ В ЦЕНТРЕ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ им. Ю. А. ГАГАРИНА**

**В. П. Хрипунов<sup>1</sup>, Ю. Т. Зырянов<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр  
подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина», Россия,  
Московская обл., Звездный городок;**

**<sup>2</sup>Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: vla-khripunov@yandex.ru; zut-tmb@mail.ru)**

Многофункциональные взаимосвязанные виды подготовки космонавтов к выполнению космических полетов потребовали создания технических средств, которые позволяют адаптировать космонавтов к условиям предстоящих полетов и добиться требуемой профессиональной подготовленности. В подготовке к осуществлению пилотируемых космических полетов тренажерная техника играет особую роль. Тренажеры и моделирующие стенды являются единственными в условиях Земли средствами для практического обучения и отработки космонавтами навыков и умений управления системами пилотируемых космических аппаратов (ПКА), а также для проверки готовности экипажей к выполнению программ полетов.

Особенностями подготовки космонавтов на тренажерах являются:

- создание тренажеров параллельно с созданием штатного летного образца;
- осуществление космического полета после подготовки на тренажерах самостоятельно без инструктора;
- постоянное проведение доработок, модернизация космических тренажеров;
- проведение комплекса работ жизненного цикла тренажеров на фоне непрерывно проводимых тренировок.

Структура средств подготовки космонавтов в настоящее время насчитывает более ста технических средств, входящих в состав следующих комплексов технических средств:

- комплекс технических средств подготовки космонавтов модулей российского сегмента МКС;
- комплекс технических средств подготовки космонавтов транспортно-го пилотируемого корабля «Союз»;

- комплекс технических средств подготовки космонавтов по научно-прикладным исследованиям и экспериментам;
- комплекс технических средств имитации экстремальных условий космического полета;
- комплекс технических средств медико-биологической подготовки космонавтов;
- комплекс технических средств летной подготовки.

Комплексы технических средств подготовки космонавтов (ТСПК) обеспечивают формирование навыков и умений, необходимых для управления бортовыми системами и научной аппаратурой ПКА, а также психологической готовности космонавтов по поддержанию работоспособности и сохранению жизнедеятельности при автономном пребывании в экстремальных условиях окружающей среды. В качестве базовых технических принципов, заложенных в концепцию разработки комплексов ТСПК, приняты следующие:

- комплексы тренажеров разрабатываются на основе технологий полунатурного моделирования с максимальным обеспечением соответствия (адекватности) тренажных средств реальным космическим объектам;
- принципы модульного построения унифицированных средств тренажной техники;
- гибкость, открытость структуры тренажеров, позволяющие обеспечивать непрерывное наращивание с минимальными затратами на их модернизацию.

Постоянное совершенствование подходов к тренажерной подготовке космонавтов, поддержание высокого технологического уровня систем космических тренажеров в целях повышения их обучающих свойств было и остается первостепенными и актуальными задачами.

Перспективными технологиями построения космических тренажерных средств являются:

- создание интегрированного многофункционального тренажерного комплекса для подготовки космонавтов к выполнению перспективных космических программ;
- создание исследовательского, учебно-тренажерного моделирующего комплекса технических средств виртуальной реальности (КВР);
- использование технологий искусственного интеллекта в системах тренажеров;
- использование «цифровых двойников» при создании космических тренажеров.

## Библиографический список

1. Тищенко, А. А. Моделирование при обеспечении безопасности космического полета / А. А. Тищенко, В. И. Ярополов. – М. : Машиностроение, 1981. – С. 177–178.
2. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации / В. Е. Шукшунов, В. В. Циблиев, С. И. Потоцкий и др. ; под ред. В. Е. Шукшунова. – М. : Машиностроение, 2005. – С. 63 – 67.

## ОЦЕНКА «КАРБОНОВОГО СЛЕДА» ТЕРРИТОРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Н. В. Орлова, В. С. Брызгало

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ», Россия, Санкт-Петербург  
(e-mail: nvorlova@etu.ru; verabryzgalo@mail.ru)

По данным некоммерческой организации Global Footprint Network [1] и Всемирного фонда дикой природы (WWF) [2], на протяжении более чем 40 лет потребление человечеством природных ресурсов превосходило способность Земли к их воспроизводству, что привело к дефициту биоемкости.

Наибольший урон (около 50%) в антропогенное воздействие на окружающую среду накладывает углеродный (карбонный) след – совокупность всех выбросов парниковых газов, связанных с деятельностью человека. Это, в первую очередь, эмиссия углекислого газа  $\text{CO}_2$  и метана  $\text{CH}_4$ , которая растет более высокими темпами, чем общий экологический след.

Столь существенный уровень воздействия на биосферу усугубляет риски, в том числе и глобального потепления, грозящего необратимыми изменениями экосистемы Земли.

Таким образом, контроль и снижение карбонного следа представляется одной из приоритетных задач мирового сообщества, решение которой может способствовать снижению рисков и/или смягчению последствий необратимых изменений климата.

В соответствии с Методическими рекомендациями по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации [3] используется классификация на следующие секторы:

- энергетика;
- промышленные процессы и использование продукции;
- сельское хозяйство;
- отходы.

Каждый сектор, в свою очередь, учитывает различные категории источников выбросов парниковых газов. Так, для сектора энергетика рассматриваются выбросы от дорожного, внедорожного, железнодорожного, водного и транспорта гражданской авиации.

Использование геоинформационной технологии для оценки карбонового баланса (производство и поглощение), проведения количественного анализа карбонового состояния территории позволяет определить и структурную организацию, определяющую ответственность за территориальный объект, и характеристики текущего состояния этого объекта.

Расчет выбросов парниковых газов (в единицах массы, как правило, в гигаграммах, Гг = 1000 т) выполняется по формуле

$$E_i = A_i EF_i,$$

где  $E_i$  – выброс в атмосферу  $i$ -го газа;  $A_i$  – данные о деятельности (количественная характеристика деятельности, приводящая к выбросу за определенный период, обычно за год);  $EF_i$  – коэффициент выброса (удельный выброс  $i$ -го парникового газа на единицу деятельности).

Совокупные выбросы различных парниковых газов, например, совокупный региональный выброс, выражаются в гигаграммах  $\text{CO}_2$ -эквивалента. Для пересчета массовых выбросов индивидуальных газов в  $\text{CO}_2$ -эквивалент используют специальные пересчетные коэффициенты, отражающие сравнительную интенсивность парникового эффекта, создаваемого этими газами в атмосфере Земли, – потенциалы глобального потепления.

Использование возможностей структуры базы геоданных позволяет осуществлять выбор сектора, типа подсектора и источников выброса на основе классификации из методических указаний Минприроды России.

После выбора источника выбросов в автоматическом режиме осуществляется расчет по приведенной выше формуле с учетом соответствующих значений коэффициентов пересчета выбросов  $\text{CO}_2$  ( $EF_{\text{CO}_2}$ ) и данных о деятельности за год ( $A_{\text{CO}_2}$ ). Результат расчета отображается на тематической карте с нормированием по предельно допустимым выбросам ПДВ в год.

Таким образом, опираясь на методику расчета выбросов углекислого газа Минприроды России, разработана структура базы геоданных, позволяющая на основе выбора параметров с учетом соответствующих коэффициентов и других переменных определять «карбоновый след» территориального объекта с отображением итогового результата на тематической карте в автоматическом режиме.

## **Библиографический список**

1. Global Footprint Network [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.footprintnetwork.org/our-work/> (дата обращения: 18.04.22).
2. Living Planet Report 2014 [Электронный ресурс]. – URL : [wwf.panda.org](http://wwf.panda.org) (дата обращения: 19.04.2022).
3. Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации // Минприроды России. – 2015.

## **АЛГОРИТМ ЦИФРОВИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

**А. В. Куприянов, З. М. Селиванова**

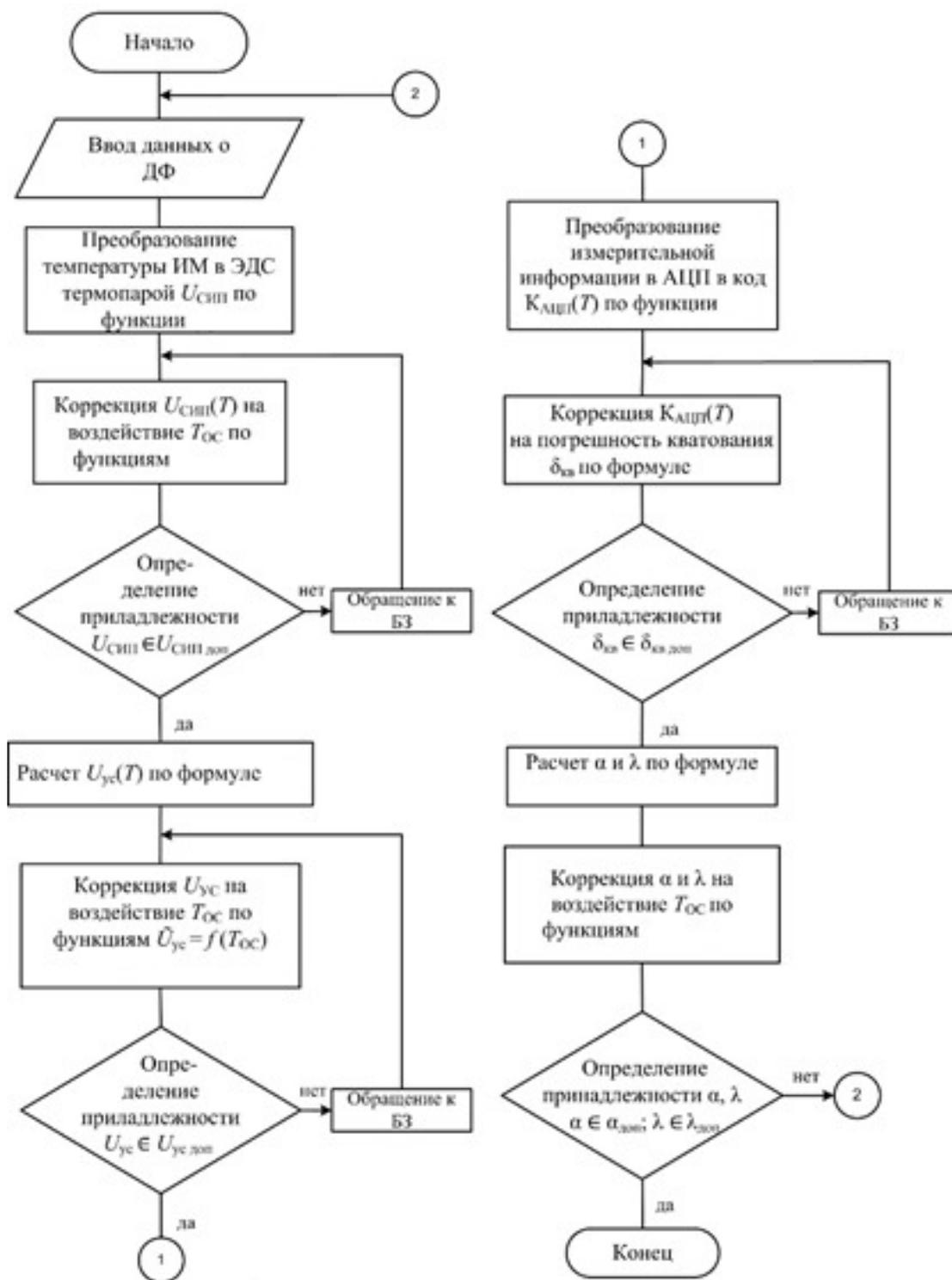
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: [artem.kupriyanov.2012@mail.ru](mailto:artem.kupriyanov.2012@mail.ru))

Перспективным направлением в области развития интеллектуальных информационно-измерительных систем (ИИИС) и цифровых прорывов в сфере теплофизических измерений является цифровизация процесса определения комплекса параметров теплофизических свойств (ТФС) материалов в ИИИС (рис. 1) [1 – 3].

Решаемая основная задача при проведении теплофизических измерений – цифровизация канала измерений интеллектуальной измерительной системы с учетом влияющих факторов.

При реализации алгоритма цифровизации в измерительном канале ИИИС ТФС материалов использованы цифровой датчик температуры STTS75M2F и микроконтроллер STM32G070KBT6.

Цифровая трансформация интеллектуальной информационно-измерительной системы проводится в целях оптимизации структуры и уменьшения стоимости ИИИС, повышения точности определения параметров теплофизических свойств материалов в результате применения цифровых компонентов при цифровизации измерительного канала, внутренней самодиагностики системы, цифровой адаптивной коррекции основных элементов ИИИС, реализующих теплофизические измерения.



**Рис. 1. Алгоритм цифровизации ИИС:**

ДФ – дестабилизирующий фактор; ИМ – исследуемый материал;

$U_{СИП}$  – термоЭДС с выхода системы измерительных преобразователей (СИП);

$T$  – температура;  $T_{ОС}$  – температура окружающей среды;  $U_{СИП доп}$  – допустимое значение термоЭДС;  $U_{УС}$  – напряжение на выходе усилителя;  $\tilde{U}_{УС} = f(T)$  – аппроксимирующая функция;  $U_{УС доп}$  – допустимое значение напряжения на выходе усилителя; БЗ – база знаний; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; КАЦП ( $T$ ) – значение температуры в цифровом коде;  $\delta_{кв}$  – относительная погрешность квантования;  $\delta_{кв доп}$  – допустимая  $\delta_{кв}$ ;  $\lambda$ ,  $\alpha$  – коэффициенты тепло- и температуропроводности;  $\lambda_{доп}$ ,  $\alpha_{доп}$  – допустимые значения  $\lambda$ ,  $\alpha$

## Библиографический список

1. Селиванова, З. М. Метод повышения точности информационно-измерительной системы параметров теплофизических свойств теплоизоляционных материалов / З. М. Селиванова, Т.А. Хоан // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 12 – 24.
2. Selivanova, Z. M. A Systematic Method of Improving the Accuracy of an Information and Measuring System for Determining the Thermophysical Properties of Materials Under the Effect of Destabilizing Factors / Z. M. Selivanova, T. A. Khoan // Measurement Techniques. – Vol. 60, Issue 5. – August, 2017. – P. 473 – 480. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11018-017-1220-5>
3. Чернышов, Н. Г. Построение системы телеметрии энергоемкими объектами с использованием промышленных контроллеров ICP DAS / Н. Г. Чернышов, Р. В. Цыганков, К. В. Чикаев // Вопросы современной науки и практики. – 2015. – № 1. – С. 225 – 230.

## ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЗОВАННЫХ ПОМЕХ НА РАДИОЛОКАЦИОННУЮ СИСТЕМУ ПОСАДКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**С. В. Толстых**

**Управление ВО ВНГ РФ, Россия, Хабаровск**

(e-mail: [tolstserge@mail.ru](mailto:tolstserge@mail.ru))

Радиолокаторы различного назначения являются неотъемлемым элементом любой современной системы управления воздушным движением. К ним относятся обзорные (диспетчерские) радиолокаторы, посадочные, метеорологические и радиолокаторы обзора летного поля. Обзорные (диспетчерские) и посадочные радиолокаторы объединяются в радиолокационную систему посадки летательных аппаратов (РСП ЛА). Основной задачей радиолокаторов РСП ЛА является обеспечение контроля и управления воздушным движением в районе аэродрома.

В боевых условиях эффективность систем управления оружием различного назначения в значительной степени зависит от успешного функционирования РЛС, позволяющих обнаруживать и распознавать различные объекты (цели), определять их координаты, параметры движения и другие данные методами радиолокации. Как показывает анализ типовых сценариев применения средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) в военном конфликте, основная часть усилий сосредотачивается на подавлении системы ПВО противника [1]. В слу-

чае нанесения массированного ракетно-авиационного удара вероятным противником, в рамках проведения этапа подавления ПВО, рассматриваемые виды РЛС попадут под воздействие организованных помех, что приведет к нарушению или полному отсутствию управления воздушным движением своих воздушных судов. Таким образом, наиболее актуальной тематикой подавления систем управления оружием является подавление РЛС любых типов, в этом случае под действие помех попадает РСП ЛА аэродромов, которые попадут в зону действия радиоэлектронного подавления (РЭП) противника.

Учитывая анализ воздействия организованных помех на радиолокационные средства, можно предположить, что самые неблагоприятные и не имеющие однозначных методов и средств борьбы с ними являются имитирующие помехи, к которым принято относить однократные и многократные ответные, а также помехи, уводящие по дальности, скорости и углу места.

Из краткого рассмотрения примеров создания радиопомех РЛС можно заключить, что подавление радиолокационных устройств существенно снижает эффективность функционирования радиоэлектронных систем РСП ЛА приводит к заблуждению оператора и, как следствие, принятию неправильных решений, т.е. к выдаче несуществующих воздушных целей на автосопровождение, что в дальнейшем отрицательно повлияет на пропускную способность аэродрома. Отсюда следует необходимость принятия соответствующих мер помехозащиты, которые препятствовали бы действию радиопомех на РСП ЛА, добиться этого можно при разработке информационно-измерительной и управляющей системы РСП ЛА в классе систем со случайной структурой.

### **Библиографический список**

1. Михайлов, Р. Л. Радиоэлектронная борьба в Вооруженных силах США: военно-теоретический труд / Р. Л. Михайлов // Научные технологии. – 2018. – С. 131.

**Секция 3**  
**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ**

---

**ИНТРАОПЕРАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ ТКАНЕЙ МАТКИ ПРИ МИОМЭКТОМИИ**

**В. Ю. Крутикова<sup>1</sup>, Н. И. Поленов<sup>2</sup>, К. А. Закураева<sup>2</sup>,  
Е. В. Потапова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>**Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева,  
Россия, Орел;**

<sup>2</sup>**ФГБНУ «Научно-исследовательский институт акушерства, гинекологии и  
репродуктологии имени Д. О. Отта», Россия, Санкт-Петербург  
(e-mail: krutikowa@bk.ru; potapova\_ev\_ogu@mail.ru; polenovdoc@mail.ru;  
kareenz@yandex.ru)**

Минимально инвазивные методы миомэктомии основаны на сохранении целостности миометрия. Послеоперационная васкуляризация миометрия имеет решающее значение для регенерации поврежденных мышц. Важную роль в этом процессе отводится псевдокапсуле миомы, которая представляет собой фиброзно-нейроваскулярную структуру, окружающую миому и отделяющую ее от нормального периферического миометрия [1]. При лапароскопической миомэктомии важным является оценка функционального состояния псевдокапсулы и окружающей мышечной ткани для решения вопроса о целесообразности ее сохранения и предупреждения развития рецидивов в послеоперационном периоде. Применение оптических технологий, которые в настоящее время успешно внедряются в минимально инвазивную хирургию, является одним из путей решения этой задачи [2, 3].

Для оценки микроциркуляции крови тканей матки использовали метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ). Измерения проводились с помощью специально адаптированной под данную задачу волоконно-оптической системы, включающей в себя диагностический комплекс «ЛАКК-М» и лапароскопический оптоволоконный зонд. Для регистрации сигналов ЛДФ лапароскопический оптоволоконный зонд вводился в полость малого таза через инструментальный канал.

Экспериментальные исследования проводились на базе ФГБНУ «Научно-исследовательский институт акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д. О. Отта» как дополнительные диагностические процедуры в рамках пла-

нового оперативного вмешательства и были одобрены этическим комитетом НИИ акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д. О. Отта (протокол заседания № 110 от 10 июня 2021 г.). Измерения микроциркуляции крови при миомэктомии осуществлялись 6 женщинам в тканях интактного эндометрия, миометрия, миомы и псевдокапсулы. Точка исследования выбиралась для каждой женщины индивидуально, исходя из удобства выполнения основной гинекологической операции.

Обработка полученных данных показала, что перфузия в тканях эндометрия и миометрия является вариабельным параметром ( $8,4 \pm 3,8$  пф. ед. и  $7,9 \pm 2,6$  пф. ед. соответственно). Зарегистрированная средняя перфузия в псевдокапсуле была значительно ниже и имела статистически значимые различия с перфузией миоматозного узла ( $5,8 \pm 0,4$  vs  $9,6 \pm 1,0$  пф. ед.). Несмотря на то, что псевдокапсула хорошо кровоснабжается, есть сведения о том, что сосудистая сеть этого образования характеризуется сложноорганизованной архитектурой с отсутствием параллелизма сосуда, различной плотностью сосудов на единицу пространства и наличием так называемых тупиковых сосудов, которые не общаются с другими сосудами. Это может влиять на скорость микроциркуляции крови и уровень регистрируемого сигнала ЛДФ.

Представленные пилотные исследования позволили оценить диагностическую возможность применения метода ЛДФ в минимально инвазивной хирургии в гинекологии, а также продвинуться в понимании микроциркуляторных процессов в тканях матки.

### **Библиографический список**

1. Surgical Management of Neurovascular Bundle in Uterine Fibroid Pseudocapsule / A. Tinelli, A. Malvasi, B. S. Hurst, et al. // JSLS. – 2012. – № 16(1). – P. 119 – 129.

2. Методы оптической биопсии и их перспективы применения для интраоперационного анализа тканевого метаболизма и микроциркуляции крови в миниинвазивной хирургии / К. Ю. Кандурова, В. В. Дремин, Е. А. Жеребцов, и др. // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2018. – № 17(3). – С. 71 – 79.

3. Fiber-Optic System for Intraoperative Study of Abdominal Organs During Minimally Invasive Surgical Interventions / K. Kandurova, V. Dremin, et al. // Applied Sciences. – 2019. – № 9(2). – P. 217.

# МАГНИТО-РЕЗОНАНСНАЯ АНГИОГРАФИЯ: РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ В КЛИНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

**В. О. Лычагина**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: lychagina1609@rambler.ru)

Магнитно-резонансная томография (МРТ) с ангиографией сосудов – это медицинский диагностический метод исследования, визуализирующий артерии и вены в трехмерном пространстве с помощью контрастного усиления и без. Сканирование проводится при помощи магнитно-резонансной томографии.

Задача метода – изучить анатомическое строение сосудов и их функциональное состояние. МРТ позволяет диагностировать сосудистые патологии на ранней стадии развития и как можно раньше приступить к лечению.

Магнитно-резонансная томография с ангиографией сосудов бывает трех видов.

1. **Времяпролетная ангиография.** Суть метода – регистрация разницы электромагнитного поля между статичными тканями и кровью.

2. **Фазово-контрастная ангиография.** Определяет скорость и направление кровотока. Выделяет отдельные артерии и вены. Подавляет фоновый сигнал, а значит, имеет повышенное качество изображения.

3. **4D-ангиография.** Метод разделяет венозный и артериальный кровоток, визуализирует динамику крови. Исследование проходит быстрее, чем два предыдущих.

Магнитно-резонансную ангиографию проводят на мощных томографах, которые имеют высокое разрешение и высокое значение отношения сигнал/шум.

Лидерами в разработке и выпуске компьютерных томографов, являются такие мировые производители, как Siemens, Canon, Toshiba, General Electric, Philips. Наиболее известным разработчиком новейших томографов является фирма Siemens.

Ярким примером одной из новейших разработок является магнитно-резонансный томограф Canon Vantage Atlas 1.5T. Томограф является лидером продаж на территории США и Японии. Использует уникальную технологию Atlas. Она заключается в проведении исследования на основе инновационных катушек, которые позволяют проводить экспертные исследования на голове, передней и задней поверхности тела.

Главным достоинством томографа является количество различных методов исследования сердечно-сосудистой системы, таких как:

- 1) метод 2D TOF: Раздельные артерии/вены;
- 2) метод 3D TOF: Возможность формирования изображений для кровеносных сосудов;
- 3) неконтрастная MRA по методу FASE Метод FBI (показ сигнала свежей крови);
- 4) метод 2D PS: визуализация кровеносных сосудов в течение короткого времени;
- 5) метод измерения скорости кровотока;
- 6) анализ скорости кровотока;
- 7) формирование изображений сердца;
- 8) анализ сердечной функции.

Основным плюсом МРТ ангиографии является высокая точность и информативность обследования. Только этот метод позволяет увидеть структуры, прикрытые костной тканью. Кроме того, исследование сосудов при помощи МРТ гораздо безопаснее, чем церебральная ангиография с применением рентгеновского излучения.

МРТ ангиография позволяет поставить диагноз уже на ранних стадиях болезни, когда изменения в мозговой ткани выражены минимально. Это дает возможность как можно раньше назначить лечение и повышает шансы на успешную реабилитацию.

### **Библиографический список**

1. Фролов, С. В. Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.
2. Исследование геометрии и механических свойств атеросклеротических бляшек на стенках сосудов методами интраваскулярной оптической когерентной томографии / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, Т. А. Фролова, С. Г. Проскурин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 42 – 49.
3. Фролов, С. В. Допплеровское картирование кровотока в мягких биологических тканях на основе обработки данных оптической когерентной томографии в режиме реального времени / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Медицинская техника. – 2021. – № 2. – С. 1 – 4.

## ПРИНЦИП РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭХВЧ-АППАРАТОВ

**А. П. Кузнецова**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail:kuznetsova2002tmbru@gmail.com)

Электрохирургические высокочастотные системы (ЭХВЧ) значительно расширили возможности современной хирургии и активно используются в общей, детской, торакальной и висцеральной хирургии, кардио- и нейрохирургии, урологии, гинекологии, гастроэнтерологии, травматологии и других областях медицины [1 – 4].

Электрохирургический аппарат преобразует высокочастотный ток в тепловую энергию, а инструменты (активные и нейтральные электроды) в контакте с пациентом образуют полноценную замкнутую электрическую цепь. В точке контакта с тканью электроды проводят различные виды ЭХВЧ резания или коагуляции.

Коагуляция – это процесс «сваривания» или оплавления», который вызывает закупорку кровеносных сосудов за счет прохождения высокочастотного тока большой плотности в точку приложения активного электрода.

Производители аппаратов ЭХВЧ и сопутствующих товаров продолжают фокусироваться на производстве новых и усовершенствовании предыдущих продуктов, которые делают электрохирургию безопаснее для пациента и проще для хирурга. Некоторые генераторы (ЭХВЧ) предлагают высокочастотный ток, который уменьшает травму тканей и обеспечивает более точную резку. Другие генераторы (ЭХВЧ) имеют встроенные функции безопасности, которые предотвращают блуждающие токи, что защищает пациентов от повреждений. Сопутствующие товары (расходные материалы), такие как электроды, предлагаются в микро-тонкой конструкции и со специальными покрытиями, а также имеют наконечники повышения безопасности и точности. Новые устройства тестирования позволяют сотрудникам центра хирургии вовремя проверить оборудование и заменить его до возникновения возможных травм.

Ниже приведем новейшие разработки ЭХВЧ-аппаратов.

PEGASYS от Ethicon Endo-Surgery предлагает уникальный, управляемый компьютером блок питания с несколькими встроенными функциями безопасности: RF Leakage Canceling Circuitry обнаруживает обрыв цепи. При обнаружении обрыва аппарат немедленно снижает выходную энергию на 80%, чтобы минимизировать риски, связанные с емкостной связью 3000TSR (Tissue Sensing and Response Technology), анализирует клинические учреждения, включая пе-

ременные, такие как размер электрода, материала, техники и плотности ткани. 3000TSR регулирует ток, напряжение и мощность до 3000 раз в секунду в зависимости от клинической среды. Эта функция позволяет аппарату PEGASYS чувствовать изменения в ткани в 15 раз быстрее, чем другие генераторы.

Технология Power Step воспринимает резкие изменения в ткани. Она обеспечивает мгновенную корректировку тока, напряжения и мощности. Это является преимуществом при переходе между типами тканей, таких как жир и мышцы. Это также сводит к минимуму «вспышки» или повреждение тканей.

Surgitron Dual Frequency 120 от Ellman International имеет большую мощность (до 120 Вт) в монополярных и биполярных режимах, что позволяет более эффективно работать в жидкостной среде. Также обеспечивает большую универсальность. Более длительный рабочий цикл позволяет работать гораздо дольше без прерывания подачи энергии на рабочий элемент, чем у аппаратов конкурирующих фирм.

Aaron 900 – высокочастотный эксикатор от Aaron Medical Industries, предлагает коагуляцию, усыхание и прижигание тканей искрой переменного тока высокой частоты плюс биполярный режим. Удобный блок устраняет необходимость проходить через утомительный многоступенчатый процесс изменений от низкой к высокой мощности, достаточно просто повернуть ручку управления мощностью или нажимать кнопки вверх/вниз на кончике. Если вы предпочитаете педаль, то просто подключите ее. Там нет необходимости в отдельном кончике, вы можете контролировать настройку мощности от кончика при использовании педали управления.

У ЭХВЧ Aaron 2100 есть уникальная особенность: девять параметров наложения, которые позволяют хирургу резать и коагулировать одновременно. С таким большим количеством настроек хирург может точно подстраивать количество резания и коагуляции с типом ткани.

Для того чтобы максимально улучшить ЭХВЧ-аппарат, необходимо рассмотреть ранее предоставленные функции и создать новый ЭХВЧ-аппарат, который будет включать в себя максимально возможное количество этих функций и при этом выигрывать по цене обслуживания и стоимости расходных материалов.

### **Библиографический список**

1. Синдеев, С. В. Система поддержки принятия решений врача при оценке предоперационного состояния больных с острыми нарушениями мозгового кровообращения / С. В. Синдеев, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 581 – 588.

2. Современные тенденции развития медицинских информационных систем мониторинга / С. В. Фролов, М. А. Лядов, И. А. Комарова, О. А. Остапенко // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 2(46). – С. 66 – 75.

3. Фролова, М. С. Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск № 52. – С. 106 – 111.

4. Модель сердечно-сосудистой системы с регуляцией на основе нейронной сети / С. В. Фролов, А. А. Коробов, Д. Ш. Газизова, А. Ю. Потлов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2021. – № 2(38). – С. 79 – 94.

## **ПРИМЕНЕНИЕ pH-МЕТРА pH-150 В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

**Н. О. Сорока**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: rus68-00@mail.ru)

pH-метр pH-150 предназначен для измерения активности ионов водорода, окислительно-восстановительного потенциала и температуры водных растворов (рис. 1).

pH-метр pH-150 является автономным портативным прибором и может быть использован в научно-исследовательских институтах, заводских лабораториях различных отраслей промышленности [1, 2].



**Рис. 1. pH-метр pH-150**

Действие рН-метра основано на измерении величины ЭДС электродной системы, которая пропорциональна активности ионов водорода в растворе – рН (водородному показателю). Измерительная схема, по сути, представляет собой вольтметр, проградуированный непосредственно в единицах рН для конкретной электродной системы (обычно измерительный электрод – стеклянный, вспомогательный – хлорсеребряный). Входное сопротивление прибора должно быть очень высоким – входной ток не более 10–10 А (у хороших приборов менее 10–12 А), сопротивление изоляции между входами не менее 1011 Ом, что обусловлено высоким внутренним сопротивлением зонда – стеклянного электрода. Это основное требование к входной схеме прибора.

Технические характеристики рН-метра Ph-150:

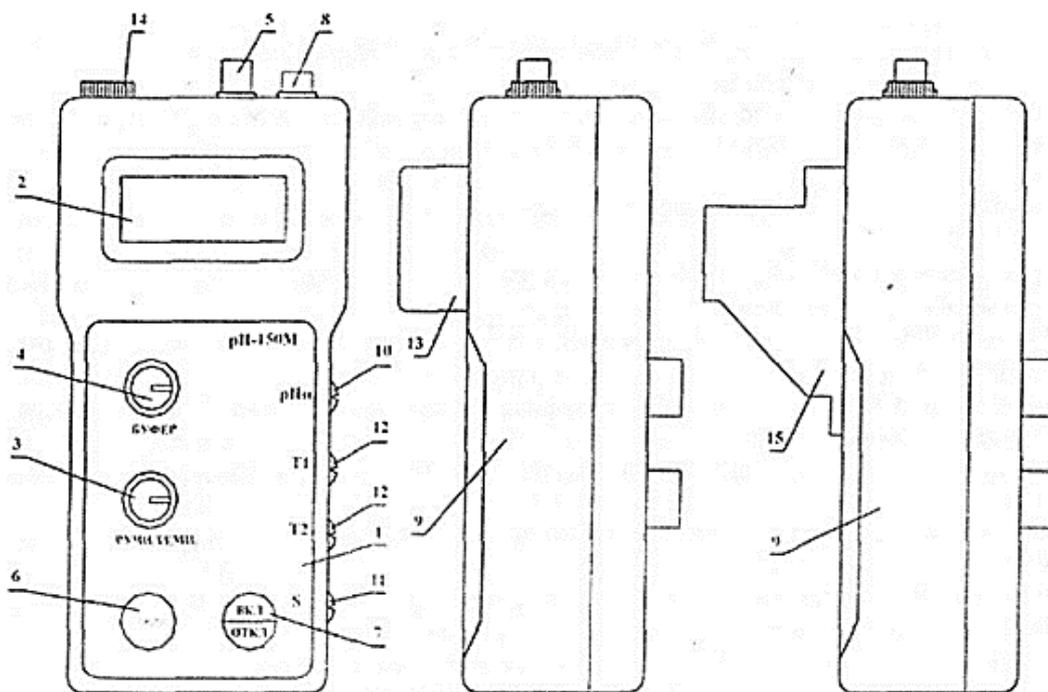
Диапазон измерения рН, ед. рН . . . . .	от 0 до 12
Дискретность измерения рН, ед. рН . . . . .	0,01
Диапазон измерения ЭДС, мВ . . . . .	от –1999 до +1999
Дискретность измерения ЭДС, мВ . . . . .	0,1
Диапазон измерения температуры, °С . . . . .	от –10 до 100
Количество сохраняемых в памяти результатов измерений . . . . .	120
Масса, г . . . . .	не более 400

рН-метр представляет собой комплект прибора, включающий преобразователь, блок сетевого питания и набор электродов.

Преобразователь выполнен в пластмассовом корпусе (рис. 2). На лицевой панели расположены органы управления, настройки, цифровой жидкокристаллический индикатор. Гнездо для подключения электродной системы, вилка для подключения термокомпенсатора расположены с торца преобразователя в верхней его части. На боковой стенке преобразователя имеются резисторы для неоперативной настройки. На задней стенке преобразователя имеется отсек для установки автономного источника питания и сетевого блока питания. Электрическая схема преобразователя выполнена на двух печатных платах, закрепленных внутри корпуса.

### Библиографический список

1. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : матер. IV Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. / под общ. ред. В. А. Немтинова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.



**Рис. 2. Преобразователь:**

1 – лицевая панель; 2 – индикатор; 3 – резистор установки температуры раствора при ручной термокомпенсации; 4 – переменный резистор для настройки по буферному раствору; 5 – гнездо для подключения комбинированного электрода; 6 – кнопка переключения режима измерения; 7 – кнопка включения питания; 8 – вход для подключения термокомпенсатора; 9 – корпус; 10 – резистор для установки значения координаты рН; 11 – резистор для регулировки крутизны электродной системы; 12 – резисторы для настройки начала и кнопка диапазона измерения температуры; 13 – крышка отсека для размещения автономного источника питания; 14 – гнездо для подключения вспомогательного электрода; 15 – блок сетевого питания.

2. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕДИЦИНСКОЙ РЕНТГЕНОТЕХНИКИ**

**О. А. Яркин**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

(e-mail: olegtstu@inbox.ru)

Рентген-диагностика является неотъемлемой частью нашей медицины, ведь рентгеновский аппарат позволяет составить максимально полную картину некоторых патологий, в том числе опасных или скрытых. При помощи лучевой диагностики стало возможным исследовать и четко определять изменения, которые проходят внутри организма пациента [1 – 5].

Рентгеновский аппарат – это медицинское оборудование, которое получило применение в различных областях медицины. Устройство необходимо для получения информации о состоянии внутренних органов, которое сложно оценить невооруженным глазом.

В зависимости от цели исследования, применяются разные типы рентген-аппаратов – ангиографы, флюорографы, маммографы и др. Все эти рентген-установки объединяет общий принцип действия. Устройство преобразовывает электроэнергию от обычной электросети в рентгеновское излучение.

Все шире в рентгеновских аппаратах применяют средства цифровой регистрации рентгеновских изображений. В этих случаях видеосигнал телевизионной передающей трубки поступает в аналого-цифровой преобразователь, а с него в электронную память, что позволяет в ряде случаев заменить непрерывное просвечивание импульсным и существенно снизить дозу облучения, как это делается, например, в рентгеновских аппаратах для операционных.

Применение рентгенодиагностических аппаратов средств вычислительной техники позволяет проводить преобразования изображения: выделение малых контрастов, подчеркивание контуров, фильтрацию. Например, с помощью вычислительной техники осуществляется так называемая субтракционная цифровая ангиография, когда проводят цифровое вычитание двух изображений, полученных в разные фазы введения контрастного вещества в кровеносную систему. При этом одинаковые элементы изображения исчезают, а движение контрастного вещества по сосудам становится отчетливо видимым.

При помощи рентгеновского аппарата получают снимок, качество которого определяется тремя основными параметрами: напряжением, подаваемым на рентгеновскую трубку, силой тока и выдержкой. В зависимости от исследуемых анатомических образований и антропометрии пациента эти параметры могут существенно изменяться.

Лидером продажи рентгеновских аппаратов на мировом рынке медицинской техники являются SIEMENS, SHIMADZU, GENERAL ELECTRIC и PHILIPS. Из отечественных компаний выделяется Рентгенпром, крупнейший производитель рентгеновской медицинской техники в России.

Отечественная рентгенотехника, хоть и уступает технологическим возможностям производства ведущим зарубежным производителям, однако же продолжает активно развиваться по генеральному пути мирового рентгеноаппаратостроения: компьютеризации рентгеновского исследования. При этом главной задачей становится освоение рентгенологами новых возможностей цифровой техники преобразования изображений и поиск средств, необходимых для модернизации и переоснащения аппаратуры.

## Библиографический список

1. Proskurin, S. G. Detection of an Absorbing Heterogeneity in a Biological Object During Recording of Scattered Photons / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // Biomedical Engineering. – 2013. – Vol. 46(6). – Pp. 219 – 223.
2. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. / под общ. ред. В. А. Немтинова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.
3. Фролова, Т. А. Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
4. Фролова, М. С. Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТОВ ЭЛЕКТРОТЕРАПИИ И ИХ ВНЕДРЕНИЕ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА РАННЕЙ СТАДИИ

Е. А. Дудина

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: [ekaterina.dudina.2002@mail.ru](mailto:ekaterina.dudina.2002@mail.ru))

В современном мире для людей неотъемлемой частью жизни стала диагностика своего здоровья. Электротерапия является одним из основных методов физиотерапии, направленных на мониторинг организма человека, выявление на ранних стадиях отклонений и лечение с помощью воздействия факторами искусственного и природного происхождения. Электротерапия – это использование различных видов электричества в качестве медицинского лечения. Основано на свойстве определенных видов электрической энергии при терапевтических дозах изменять функциональное состояние органов и систем [1 – 5].

Аппарат «СНИМ-1» предназначен для лечения болевых состояний, различных нервно-мышечных заболеваний и болевых состояний со спазмами мышц. Генерируемые аппаратом токи обладают очень хорошим болеуспокаивающим действием, а также вазомоторной активностью (способностью рассасывать отеки). Принцип работы аппарата основан на получении импульсов

тока синусоидальной формы с экспоненциальным срезом частотой 50 или 100 Гц и на формировании серий импульсов этого тока, отличающихся различной длительностью и видом модуляции. Дозирование воздействий диадинамическими токами осуществляется по силе тока в миллиамперах и по продолжительности воздействия в минутах. Сила тока устанавливается таким образом, чтобы у пациента появились ощущения достаточно выраженной, но не болезненной вибрации при противоболевом лечении или отчетливые сокращения мышц при электростимуляции. Несмотря на благоприятное воздействия на организм человека, аппарат «СНИМ-1» устарел, и на рынке появились аналоги, которые включают в свою комплектацию несколько видов воздействия токами.

Одним из таких аппаратов является аппаратный комплекс Intellect Advanced 2765CS. Состав видов тока увеличен и включает в себя более 13 видов (интерференционные, постоянный ток, монофазные, ионофорез, токи Траберта, TENS, VMS, диадинамические токи, микроток, импульсный ток высокого напряжения, гальванический ток, ультразвук, волнообразный). Отличительными особенностями аппарата от аналогов является то, что в него встроена библиотека, отображающая все виды и формы используемых токов, а также подробные характеристики и указания по расположению электродов. Комплекс включает в себя более 100 терапевтических программ, заложено порядка 200 клинических протоколов, что помогает подобрать лечебную программу в каждом конкретном случае. Многофункциональное программное обеспечение может одновременно являться наглядным интерактивным пособием для обучения пациентов.

Развитие электротерапии не стоит на месте, поскольку данный метод физиотерапии оказывает положительно сказывающиеся воздействия на организм пациента. Из плюсов можно выделить улучшение кровотока, стимуляцию метаболических процессов, снижение сосудистых и мышечных спазмов.

### **Библиографический список**

1. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
2. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареев // Вестник ТГТУ. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.
3. Фролова, М. С. Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова,

С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск № 52. – С. 106 – 111.

4. Исследование геометрии и механических свойств атеросклеротических бляшек на стенках сосудов методами интраваскулярной оптической когерентной томографии / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, Т. А. Фролова, С. Г. Прокурин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 42 – 49.

5. Фролов, С. В. Допплеровское картирование кровотока в мягких биологических тканях на основе обработки данных оптической когерентной томографии в режиме реального времени / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Медицинская техника. – 2021. – № 2. – С. 1 – 4.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОРА**

**Я. В. Кобзева**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: yana.kobzeva.00@gmail.com)

Электрокоагулятор (ЭХВЧ-аппарат, скальпель-коагулятор электрохирургический) – это хирургический инструмент, который воздействует на биологические ткани высокочастотным электрическим током [1 – 5]. В зависимости от режима и способа применения данного аппарата, с его помощью можно решать следующие задачи:

- осуществлять хирургические разрезы с одновременным прижиганием прилежащих тканей, что обеспечивает меньшее количество кровотечений из мелких сосудов;
- останавливать кровотечение из сосуда в операционном поле путем его коагуляции (спаивания);
- «сшивать» некоторые виды тканей, в том числе мышцы.

Невозможно представить современную хирургию без электрокоагуляторов. Использование ЭХВЧ-аппарата во время оперативного вмешательства позволяет сократить длительность операции и снизить объем кровопотери у пациента.

На сегодня в современной медицине выделяют несколько разновидностей ЭХВЧ-аппаратов.

**Монополярный аппарат.** Монополярные инструменты является наиболее часто используемой в связи с их универсальностью и высокой результативностью.



**Рис. 1. Коагулятор электрохирургический высокочастотный ЭХВЧ-350-02-ФОТЕК**

Карандашеобразный активный электрод попадает в локацию ввода и может применяться для рассечения кожи и остановки кровотечений.

Подушка возвратного электрода цепляется на больного, в связи с этим ток течет от генератора к инструменту через целевую ткань, назад к подушке пациента и обратно.

**Биполярный аппарат.** Биполярный электрод использует напряжение на порядок выше, поэтому существует значительный риск травмы.

Наиболее подходит для тех процедур, когда ткань захватывается соответствующими щипцами, чтобы избежать повреждения других участков. Это позволяет лучше контролировать процесс в нужной области.



**Рис. 2. Аппарат электрохирургический высокочастотный, ЭХВЧ-100-МЕДСИ**

### **Библиографический список**

1. Синдеев, С. В. Система поддержки принятия решений врача при оценке предоперационного состояния больных с острыми нарушениями мозгового кровообращения / С. В. Синдеев, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 581 – 588.

2. Современные тенденции развития медицинских информационных систем мониторинга / С. В. Фролов, М. А. Лядов, И. А. Комарова, О. А. Остапенко // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 2(46). – С. 66 – 75.

3. Фролова, М. С. Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск № 52. – С. 106 – 111.

4. Модель сердечно-сосудистой системы с регуляцией на основе нейронной сети / С. В. Фролов, А. А. Коробов, Д. Ш. Газизова, А. Ю. Потлов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2021. – № 2(38). – С. 79 – 94.

5. Фролов, С. В. Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОУГЛОВОГО РАСТРОВОГО УСРЕДНЕНИЯ**

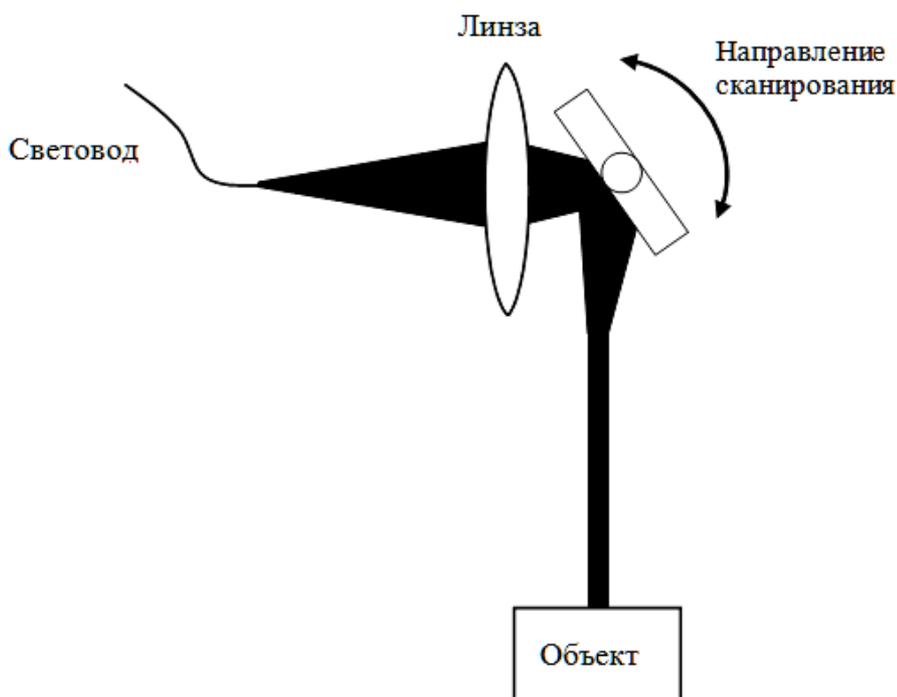
**Е. С. Мамонтов**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: ewgen.mamont777@yandex.ru)

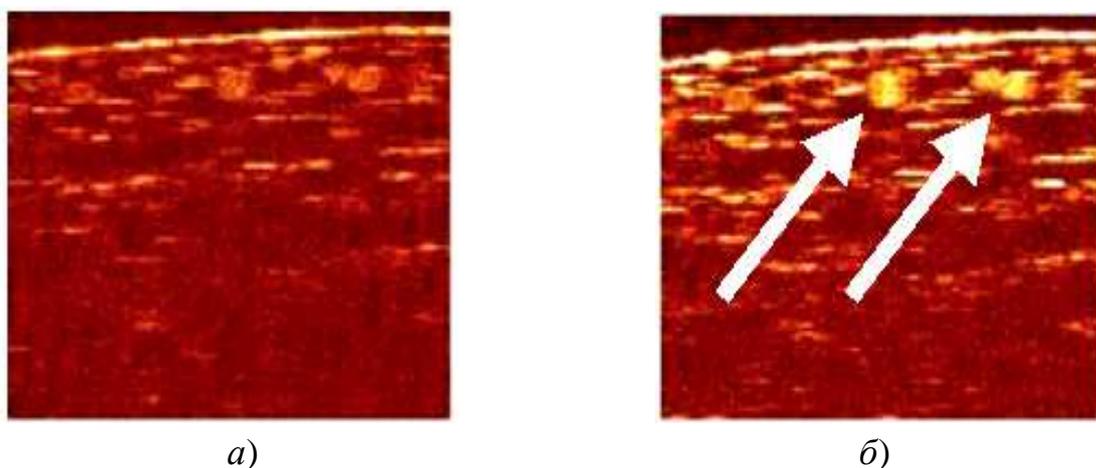
Когда исследуется биомедицинский объект *in vivo*, зачастую пользуются угловым сканированием зеркала, которое находится перед линзой (фокусирующей), или сканированием самой линзы. Это приводит к увеличению соотношения сигнал/шум в 1,5 – 2 раза. Для того чтобы сфокусировать излучение и получить минимальное поперечное пространственное разрешение 5...20 мкм, используют данную геометрию. Дисперсия приводит к тому что, низкое когерентное излучение формируется в пятно немалых размеров, по сравнению с излучением высококогерентных источников. Такая фокусировка в наружных слоях кожи человека не допускает получить ГКЗ свыше 1,0...1,2 мм.

На рисунке 1 показана схема дистанционного растрового сканирования. Расстояние от сканирующего зеркала и системы линз с малой числовой апертурой  $NA$  до объекта составляет 8...12 см, что в 4 – 10 раз превышает указанное расстояние в стандартных схемах.

Объектом исследования в данном случае является наружная часть луковицы. После усреднения по пяти соседним А-сканам в каждой вертикальной линии изображения происходит значительное изменение контраста (рис. 2). Стрелочки показывают на структуры, которые хорошо заметны только после усреднения.



**Рис. 1. Схема малоуглового растрового сканирования зондирующего излучения в плече образца**



**Рис. 2. ОКТ-изображения поверхности лукавицы до (а) и после (б) усреднения**

Примененное растровое усреднение в пределах одного пикселя уменьшает сигнал/шум и увеличивает соотношение сигнал/шум на 4...10 dB. При таком соотношении удалось зарегистрировать фотоны в переходном режиме от отражения и обратного рассеяния к диффузионному режиму многократного рассеяния [1 – 4].

Такой подход показал, что после нескольких десятков усреднений соотношение сигнал/шум не достигает насыщения. Это же усреднение позволяет уменьшить компьютерный файл для хранения и передачи информации, что важно для применения ОКТ в телемедицине.

## Библиографический список

1. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. / под общ. ред. В. А. Немтинова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.
2. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
3. Potlov, A. Yu. Three-dimensional representation of late arriving photons for the detection of inhomogeneous in diffuse optical tomography / A. Yu. Potlov, S. G. Proskurin, S. V. Frolov // Quantum Electronics. – 2014. – Vol. 44(2). – Pp. 174 – 181.
4. Proskurin, S. G. Doppler mapping of an alternating-sign flow with a complex structure using optical coherence tomography / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // Quantum Electronics. – 2014. – Vol. 44(1). – Pp. 54 – 58.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПТИЧЕСКОГО КОГЕРЕНТНОГО ТОМОГРАФА

**Т. М. Тымчук, Н. В. Венцера**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: tymtan98@yandex.ru)

Оптическая томография – это форма компьютерной томографии, которая создает цифровую модель объекта путем восстановления изображения, созданного из света, переданного и рассеянного через объект, и предоставляет возможность наблюдения за биологическими объектами с высоким разрешением в режиме реального времени.

Для правильной диагностики и проверки новых методов необходимо проверять техническое состояние оптических томографов, для этого можно использовать тест-объекты, такие как медицинские фантомы. На данный момент времени не существуют стандартизированных методов испытания для обеспечения качества ОКТ во всех вариантах использования тест-объектов для оценки качества изображения необходим человек, они дают оценку, соответствует ли получаемое изображение заданным характеристикам. Но именно автоматизированная оценка позволит улучшить и ускорить процесс контроля технического

состояния медицинского оборудования. Для этого необходимо математическое моделирование.

Математическая модель – это математическое представление реальности, один из вариантов модели как системы, исследование которой позволяет получать информацию о некоторой другой системе. Математическая модель предназначена предсказать поведение реального объекта, но всегда представляет собой ту или иную степень его идеализации.

Для оценки технического состояния оптических когерентных томографов предлагается на базе полученных изображений автоматизировать процесс [1, 2]. Следовательно, оценку качества изображения будет выполнять программа, не человеческий глаз: наличие артефактов, качества изображения, расположение границ, оценка контраста и слоев изображения, пространственного разрешения.

На начальном этапе предлагается разработать математическую модель сравнения изображений ОКТ с эталоном, т.е. с изображением, которое полностью соответствует заданным техническим характеристикам оптического когерентного томографа.

Согласно алгоритму необходимыми этапами являются следующие.

1. Уменьшение размера, чтобы остались только значимые объекты картинки (избавление от высоких частот). В изображениях высокие частоты обеспечивают детализацию, а низкие частоты показывают структуру. Большая фотография содержит много высоких частот, а маленькая картинка целиком состоит из низких.

2. Следующий этап – убрать цвет. Переводим изображение, полученное на предыдущем шаге, в градации серого. Хэш уменьшается втрое: со 192 (по 64 значений трех каналов – красного, зеленого и синего) до 64 значений яркости.

3. Находим среднее значение яркости получившегося изображения.

4. Бинаризация картинки. Оставляем только те пиксели, которые больше среднего (считаем их за 1, а все остальные за 0).

5. Строим хэш. Переводим полученные 64 значений 1 и 0 картинки в одно 64-битное значение хэша.

6. Далее для сравнения двух изображений используется расстояние Хемминга. Расстояние Хэмминга – число позиций, в которых соответствующие цифры двух двоичных слов одинаковой длины различны. Нулевое значение означает, что изображения идентичны, другие величины характеризуют, на сколько сильно изображения отличаются друг от друга.

В ходе данной работы был разработан алгоритм, позволяющий оценить сходство получаемого изображения на ОКТ с эталоном. При значении, стремящемся к 0, проверяемое изображение будет подходить по характеристикам к эталону, что на данном этапе моделирования будет говорить о верной работе ОКТ, при значительном увеличении значения будет выдан результат о несоответствии технических характеристик аппарата.

### **Библиографический список**

1. Proskurin, S. G. Detection of an Absorbing Heterogeneity in a Biological Object During Recording of Scattered Photons / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // Biomedical Engineering. – 2013. – Vol. 46(6). – Pp. 219 – 223.

2. Проскурин, С. Г. Визуализация кровеносных сосудов при помощи оптической когерентной томографии / С. Г. Проскурин, С. В. Фролов // Медицинская техника. – 2012. – № 3(273). – С. 9 – 14.

## **ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО КРОВОТОКА В ПЕРИОД РЕАБИЛИТАЦИИ ПОСЛЕ ОСТРОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ**

**И. Ю. Власов<sup>1</sup>, Ю. И. Локтионова<sup>1</sup>, Е. В. Жарких<sup>1</sup>, Е. В. Шураева<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева,**

**Россия, Орел;**

**<sup>2</sup>ООО «Альсария», Россия, Орел**

**(e-mail: master.of.light21@yandex.ru)**

В конце 2019 года мир впервые столкнулся с острым респираторным заболеванием, получившим название COVID-19. В первую очередь, от коронавируса страдают легкие, однако уже подтверждены данные о его негативном влиянии и на другие системы и подсистемы организма. Скорость распространения, разнообразное течение и исход заболевания вызывают необходимость изучить его влияние на различные системы и подсистемы организма подробнее.

Сегодня одним из наиболее распространенных методов неинвазивной оптической диагностики состояния системы микроциркуляции крови является метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), основанный на лазерном зондировании тканей и анализе обратно отраженного от биологических структур излучения. С помощью метода ЛДФ можно оценить работу регуляторных механизмов микроциркуляции крови. Принято выделять пять механизмов: эндотелиальный (0,0095...0,021 Гц), нейрогенный (0,021...0,052 Гц), миогенный (0,052...0,145 Гц), дыхательный (0,145...0,6 Гц) и сердечный (0,6...2 Гц) [1].

Целью работы явилась оценка параметров периферического кровотока после перенесенного COVID-19 для выявления изменений в микроциркуляторном русле.

Для оценки влияния заболевания на периферический кровоток применялись носимые лазерные доплеровские мониторы «ЛАЗМА-ПФ». Устройства имеют встроенные каналы для регистрации ЛДФ (длина волны излучения 850 нм), программное обеспечение позволяет проводить одновременные измерения в нескольких зонах. Протоколы исследований представлены в табл. 1.

### 1. Протоколы исследований

№ исследования	1		2
1	2	3	4
Число волонтеров	Здоровые	Перенесшие COVID-19	1
	23	13	
1	2	3	4
Возраст, лет	58±9	24±6	16
Особенности исследований	13 условно здоровых добровольцев измерялись в 2019 году до распространения COVID-19. 3 из 23 волонтеров переболели COVID-19 в тяжелой форме, все они проходили реабилитацию в пансионате Хилово; побочные заболевания – остеохондроз и гипертония. Измерения проводились в течение 10 мин в положении лежа в области предплечий		Волонтер мужского пола. Подтвержден тестом COVID-19. Сопутствующее заболевание – сахарный диабет I типа. Измерения проводились ежедневно в одно и то же время 10 дней до заболевания и 26 дней после. Измерения проводились в положении лежа в течение 10 мин. Устройства крепились на запястьях, голенях, пальцах рук и ног
	Анализировались следующие параметры: показатель микроциркуляции (ПМ), уровни нутритивного и шунтового кровотоков, амплитуды эндотелиальных (A <sub>э</sub> ), нейрогенных (A <sub>н</sub> ), миогенных (A <sub>м</sub> ), дыхательных (A <sub>д</sub> ) и сердечных (A <sub>с</sub> ) колебаний		

По результатам первого исследования выявлено снижение  $A_d$ , что может быть обусловлено как выполнением дыхательных упражнений, так и стремлением организма избежать тромбообразования [2]. По сравнению с контрольной группой, у перенесших острую коронавирусную инфекцию наблюдается тенденция на увеличение амплитуд активных ритмов, что говорит о включении компенсаторных механизмов регуляции как ответ организма на коронавирусную инфекцию.

Во втором исследовании  $A_c$  примерно через десять дней после начала заболевания снижается во всех областях, как и ПМ, при этом увеличивается нутритивная составляющая кровотока. Это может свидетельствовать о постепенной адаптации организма к негативному влиянию коронавирусной инфекции при увеличении эффективной составляющей перфузии.  $A_3$  возросла во всех зонах измерения, что ведет к расширению просвета сосудов. Величина  $A_m$ , обусловленная состоянием мышечного тонуса прекапилляров, регулирующим приток крови в нутритивное русло, возросла в ногах.

### **Библиографический список**

1. Крупаткин, А. И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность. Руководство для врачей. Изд. 2-е. / А. И. Крупаткин. – М. : ЛЕНАНД, 2016. – 496 с.
2. Золотовская, И. А. Основные характеристики параметров микроциркуляции у пациентов, перенесших COVID-19 / И. А. Золотовская, П. Р. Шацкая, И. Л. Давыдкин // Профилактическая медицина. – 2020. – № 23(7). – С. 56 – 62.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ  
проект № 20-08-01153 А*

## **РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ С РЕГУЛЯЦИЕЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ И ТЕРАПИИ КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ**

**А. А. Коробов, С. В. Фролов**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

**(e-mail: korobov1991@mail.ru)**

Для адекватной реализации персонализированного метода при диагностике и терапии кардиологических больных необходима разработка биотехнической системы, включающей цифровой двойник сердечно-сосудистой системы

с учетом процессов регуляции кровообращения [1 – 3]. Цифровой двойник сердечно-сосудистой системы – программный аналог, моделирующий поведение системы кровообращения в реальном времени и будущем, под влиянием возмущающих, задающих воздействий и изменяющихся условий окружающей среды [4]. На рисунке 1 представлена структура биотехнической системы (БТС) оптимизации состояния пациента с использованием цифрового двойника.

Блок «Объект управления – пациент» на рис. 1 представляет собой блок, включающий в себя пациента, объединенный двусторонней связью с блоком «медицинский программно-аппаратный комплекс» и непосредственно с врачом, который в рамках единого контура управления может взаимодействовать как с

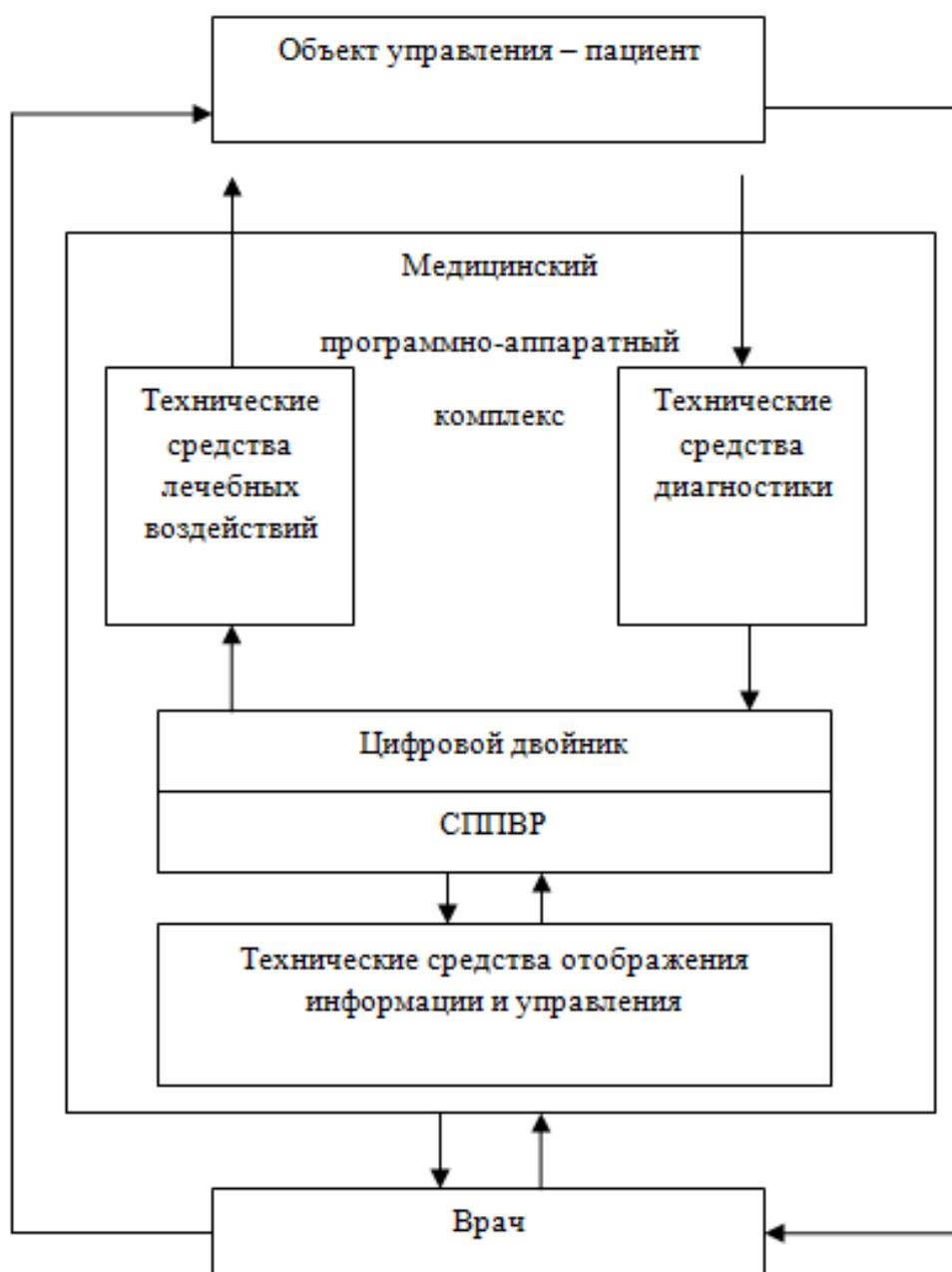


Рис. 1. Структура биотехнической системы

медицинским программно-аппаратным комплексом, так и напрямую с пациентом. Блок «медицинский программно-аппаратный комплекс» получает информацию о пациенте через блок «технические средства диагностики» и передает ее на объединенные блоки «цифровой двойник» и «СППВР», информация с которых передается на блоки «технические средства воздействия», «технические средства отображения информации и управления». Врач, получив информацию с последнего блока, может влиять на «медицинский программно-аппаратный комплекс» или напрямую на пациента.

Разработанная биотехническая система для применения в палатах интенсивной терапии, отличающаяся наличием цифрового двойника сердечно-сосудистой системы с регуляцией и системы поддержки принятия врачебных решений, обеспечит повышение качества медицинского обслуживания.

### **Библиографический список**

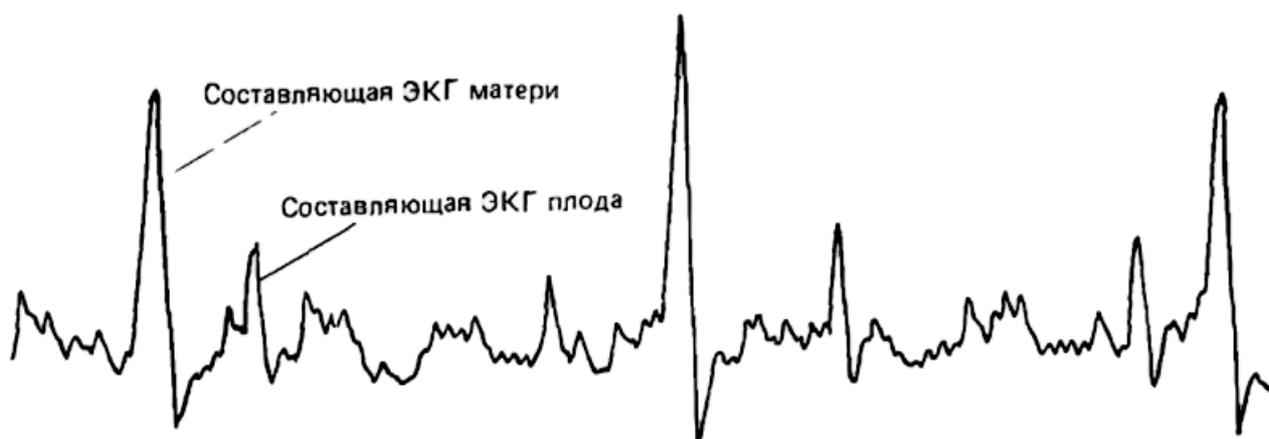
1. Технология индивидуальной терапии / под ред. В. А. Лищука, Д. Ш. Газизовой. – М. : ПРИНТ ПРО, 2016. – 247 с.
2. Бураковский, В. И. Компьютерная технология интенсивного лечения: контроль, анализ, диагностика, лечение, обучение / В. И. Бураковский, Л. А. Бокерия, Д. Ш. Газизова, В. А. Лищук, М. Н. Люде, В. С. Работников, М. В. Соколов, С. В. Цховребов. – М., 1995. – 85 с.
3. Математическая кардиология. Теория, клинические результаты, рекомендации, перспективы / под ред В. А. Лищука, Д. Ш. Газизовой. – М. : ПРИНТ ПРО, 2015. – 228 с.
4. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – 16 с.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПИКОВ R И ВЫЧИСЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ В СИГНАЛЕ ЭКГ ПЛОДА**

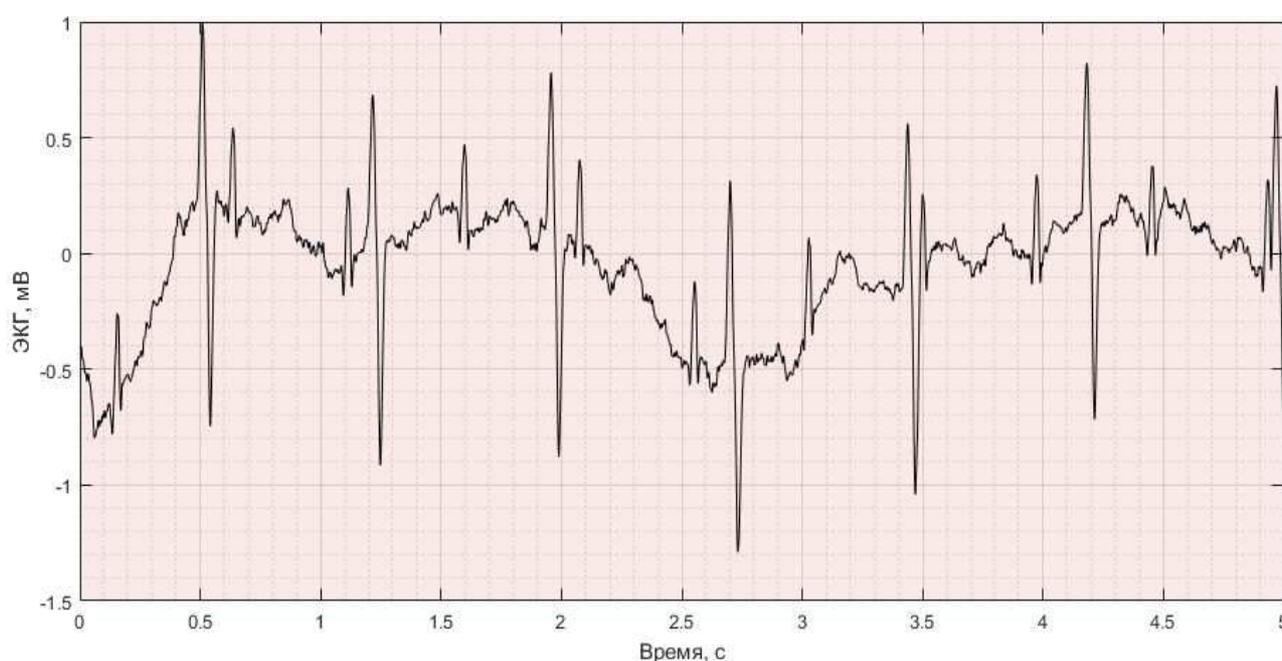
**А. Р. Аветисян, Я. И. Шнякина**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: awetini@gmail.com)**

ЭКГ плода, как и ЭКГ взрослого человека, состоит из предсердного и желудочкового комплексов, которые связаны с ходом распространения электрического возбуждения по миокарду предсердий (зубец Р) и желудочков (комплекс QRS). При наиболее простом абдоминальном отведении ЭКГ плода через переднюю брюшную стенку матери электрокардиосигнал представлен чаще всего только желудочковым комплексом.



**Рис. 1. Пример сигнала ЭКГ плода**

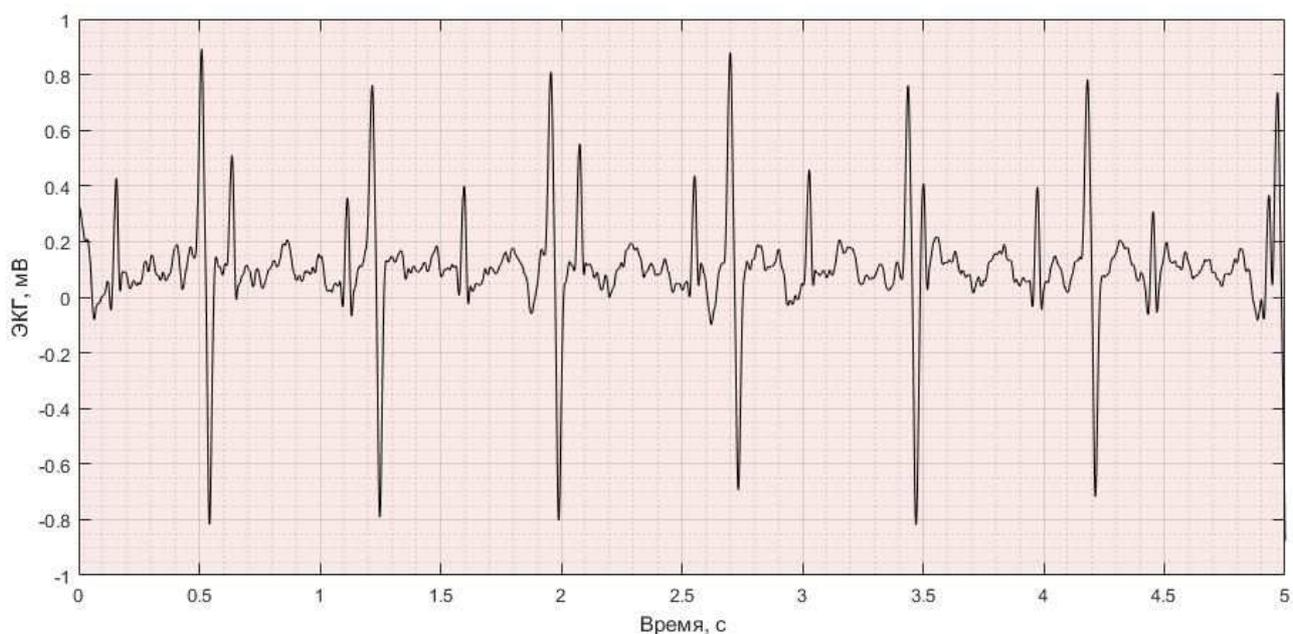


**Рис. 2. Сигнал ЭКГ плода с абдоминального отведения**

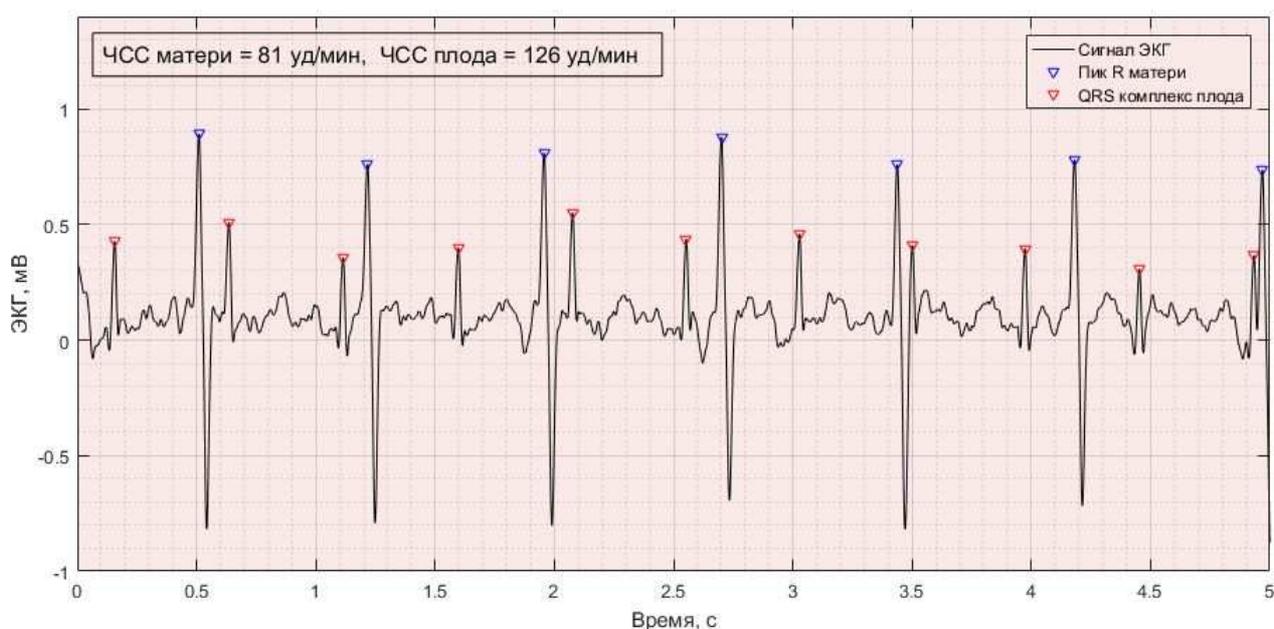
Сигнал ЭКГ матери наслаивается на сигнал ЭКГ плода, что значительно затрудняет автоматическую обработку, определение основных составляющих и вычисление необходимых показателей (рис. 1).

Применение основ математического моделирования и цифровых методов обработки [1, 2] позволяет выделить наиболее важные для диагностики составляющие сигнала. На рисунке 2 представлен сигнал неинвазивной ЭКГ плода одного из абдоминальных отведений.

При рассмотрении сигнала заметны высокочастотные шумы и дрейф нулевой линии, которые являются отрицательным фактором при анализе данных врачом-кардиологом. Для их устранения разработан алгоритм в программной среде MATLAB. Результат обработки приведен на рис. 3.



**Рис. 3. Сигнал ЭКГ плода с абдоминального отведения после обработки**



**Рис. 4. Пики R и вычисленные значения ЧСС плода и матери**

Внеся необходимые дополнения в алгоритм программы для определения пиков R сигнала ЭКГ плода и вычисления частоты сердечных сокращений (ЧСС), получим результат, представленный на рис. 4.

### **Библиографический список**

1. Рангайян, Р. М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход : учебное пособие / Р. М. Рангайян ; пер.с англ. под ред. А. П. Немирко. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 440 с.

2. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19(3). – С. 553 – 561.

## **РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МАКЕТА КАБИНЕТА МРТ ДЛЯ УЧЕБНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЦЕЛЕЙ**

**А. Р. Аветисян, Я. И. Шнякина, С. В. Фролов**

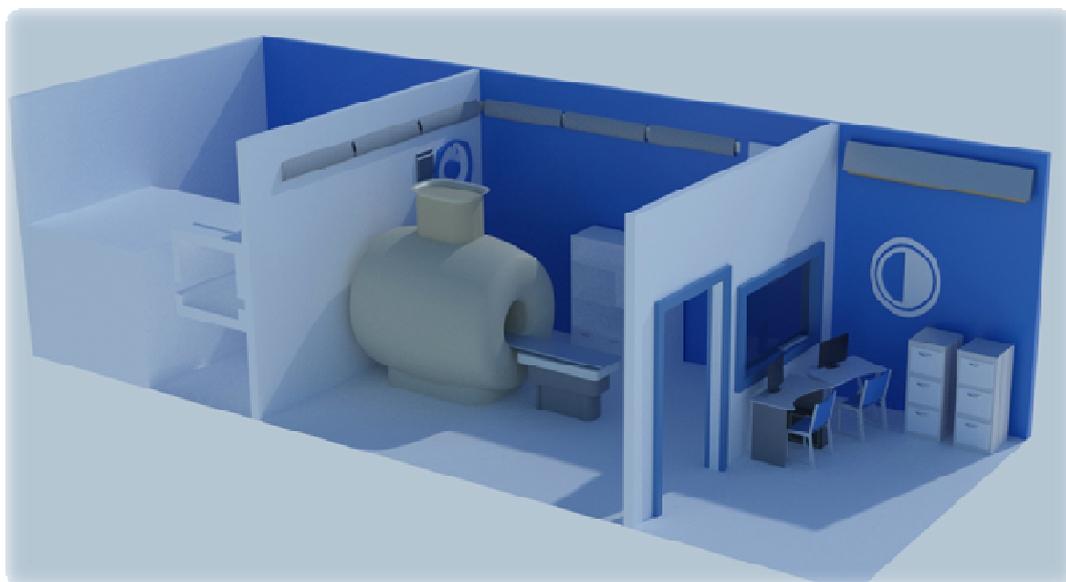
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

**(e-mail: awetini@gmail.com)**

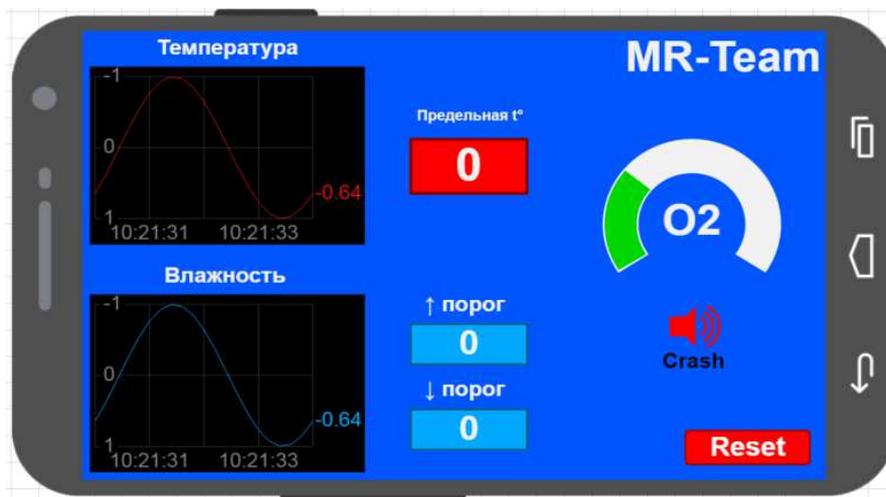
Для реализации интеллектуальной системы мониторинга микроклимата в кабинете МРТ необходима разработка функциональной модели [1 – 4], на которой возможно проведение экспериментов, создание алгоритмов программ, воплощение особенностей микроклимата, визуализация компонентов реального объекта для учебных целей.

Модель представляет собой макет в виде статичной конструкции (рис. 1) с элементами, моделирующими реальные объекты и системы в кабинете МРТ, управляемыми с использованием микроконтроллера ATmega328.

Пользователи могут использовать модель для учебных и экспериментальных целей, так как она легко воспроизводима, эргономична и занимает небольшую площадь, имеет относительно невысокую стоимость, легкая в обслуживании и транспортировке, потребляет незначительное количество энергии, имеет возможность дальнейшей модернизации и позволяет управлять элементами в режиме реального времени.



**Рис. 1. Виртуальная модель макета кабинета МРТ**



**Рис. 2. Образец интерфейса приложения**

Приложение (рис. 2), связанное с микроконтроллером посредством Bluetooth подключения, позволяет, не прибегая к использованию ПК, осуществлять мониторинг показателей при помощи построения соответствующих графиков. Также имеется возможность для установки пороговых значений контролируемых параметров. При возникновении непредвиденных сбоев, осуществляется ручной перезапуск алгоритма системы кнопкой «Reset».

Таким образом, создание функционального макета позволит разработать систему контроля микроклимата и управления ее параметрами с использованием алгоритмов, работающих на опережение, для повышения надежности, точности и эффективности обследований и работы оборудования.

### **Библиографический список**

1. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Вып. 4, Т. 3. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – С. 123 – 128.
2. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
3. Фролова, М. С. Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.
4. Коновалова, К. Н. Современные средства обработки информации в ядерной медицине / К. Н. Коновалова, Т. А. Фролова // Виртуальное моделиро-

вание, прототипирование и промышленный дизайн : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. – Вып. 2, Т. II. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – С. 259 – 263.

## УДАРНО-ВОЛНОВАЯ ТЕРАПИЯ В ЛЕЧЕНИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Д. Д. Горбачева, Т. А. Фролова

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов

(e-mail: gorbacheva\_dd@mail.ru)

Новейшим оборудованием в лечении сердечно-сосудистых заболеваний является процедура ударно-волновой терапии (УВТ). Ударно-волновая терапия сердца (УВТС) – новый неинвазивный метод лечения ишемической болезни сердца (ИБС), механизм действия которого состоит в стимуляции образования новых сосудов в зоне ишемии миокарда и позволяет проводить лечение пациентам в ситуациях, когда традиционные хирургические подходы невозможны.

Принцип работы ударно-волновой системы заключается в следующем. Сфокусированные ударные волны воздействуют на зону миокарда с недостаточным кровообращением и способствуют образованию новых и расширению имеющихся сосудов, тем самым устраняя дефицит кровоснабжения и восстанавливая адекватную работу сердца. В момент воздействия ударной волны пациент не испытывает никаких болевых ощущений. При каждом последующем сеансе УВТ точки воздействия смещаются ближе к центру зоны ишемии. Появление новых сосудов наблюдается в среднем через три недели после процедуры УВТ. Для того чтобы зафиксировать результаты, до и после процедуры проводится комплексное функциональное обследование пациента.



Рис. 1. Принцип работы кардиологической ударно-волновой системы

STORZ MEDICAL – компания, которая зарекомендовала себя как первая в мире компания, которая производит системы для проведения ударно-волновой терапии. Компания производит системы УВТ для таких сфер медицины, как кардиология, урология, ортопедия, неврология, эстетика и ветеринария.

Система для кардиологической ударно-волновой терапии Модулит SLC (рис. 2) – первая в мире ударно-волновая система для неинвазивной кардиологической реваскуляризации. Система представлена швейцарской компанией STORZ MEDICAL. Данная система обладает такой функцией, как ЭКГ-синхронизация.

ЭКГ-синхронизация испускает импульсы ударных волн в течение нескольких миллисекунд после QRS-комплекса [1 – 3]. Импульсы испускаются только в рефракторной фазе сердечного цикла.

Принцип действия ударно-волновой терапии в Модулит SLC основывается на дистанционном воздействии сфокусированной акустической волны, которое вызывает процесс образования новых кровеносных сосудов, называемый «терапевтический ангиогенез», в намеченных точках миокарда, не затрагивая окружающие ткани.

Точно дозируемое воздействие низкоэнергетических ударно-волновых импульсов на ишемические зоны сердечной мышцы стимулирует образование новых капилляров, усиливает кровообращение и улучшает обмен веществ. Наведение ударной волны осуществляется с помощью ультразвукового сканера с кардиологическим датчиком.

Прогресс современной медицины требует постоянного новшества и совершенствования медицинского оборудования. Благодаря инновациям в аппаратах сердечно-сосудистых заболеваний повышается эффективность и быстрота действия лечения.

### **Библиографический список**

1. Выявление локальных особенностей сигнала электроэнцефалографа с использованием искусственной нейронной сети / Д. Е. Судаков, П. С. Ш. Матя, В. М. Д. К. Фуши, С. В. Фролов // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 7. – С. 230 – 237.



**Рис. 2. Модулит SLC**

2. Подходы к нульмерному моделированию сердечно-сосудистой системы и их использование при оценке мозгового кровообращения / С. В. Фролов, Н. Э. Алиев, А. А. Коробов, С. В. Синдеев // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2018. – Вып. 10. – С. 240 – 248.

3. An Approach for Patient-Specific Hemodynamics Modeling Taking into Account Biomechanical Properties of the Cerebral Artery / S. V. Frolov, S. V. Sindeev, A. Yu. Potlov, D. Liepsch // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2018. – № 5. – С. 26 – 29.

## **АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА СИГНАЛА АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATLAB**

**Я. И. Шнякина, А. Р. Аветисян**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: scorpio0751@gmail.com)**

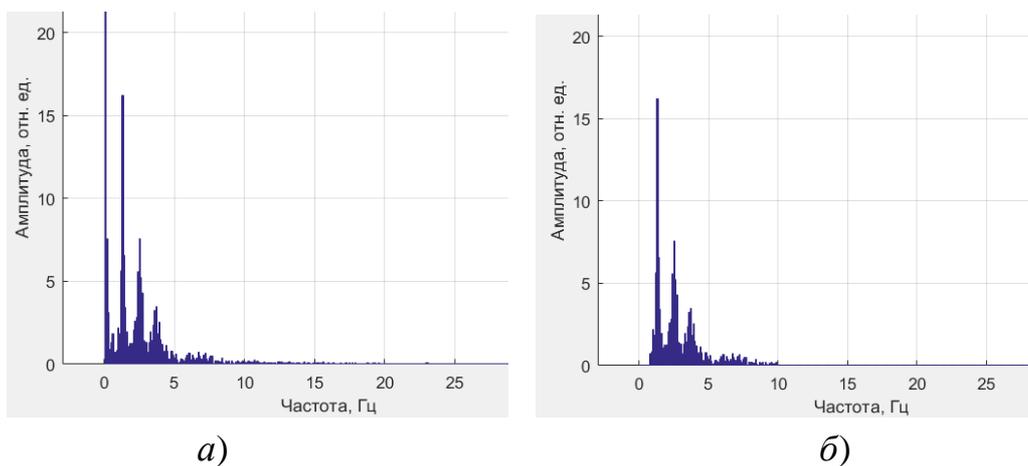
В настоящее время важную роль играют компьютерные методы для объективного анализа сигналов с использованием алгоритмов обработки биомедицинской информации [1, 2]. Разработанные инженерами методы фильтрации шумов или сетевой наводки, спектрального анализа для выявления частотных характеристик сигнала, количественного и объективного анализа физиологических систем и явлений активно внедряются во врачебную практику.

Важным компонентом биотехнических систем медицинского назначения, определяющим состояние сердечно-сосудистой системы и организма в целом, является контроль кровяного давления. В современном мире существуют методы безманжетного измерения артериального давления, основанные на регистрации пульсовой волны, например, метод фотоплетизмографии, заключающийся в относительных изменениях объема крови в сосудах.

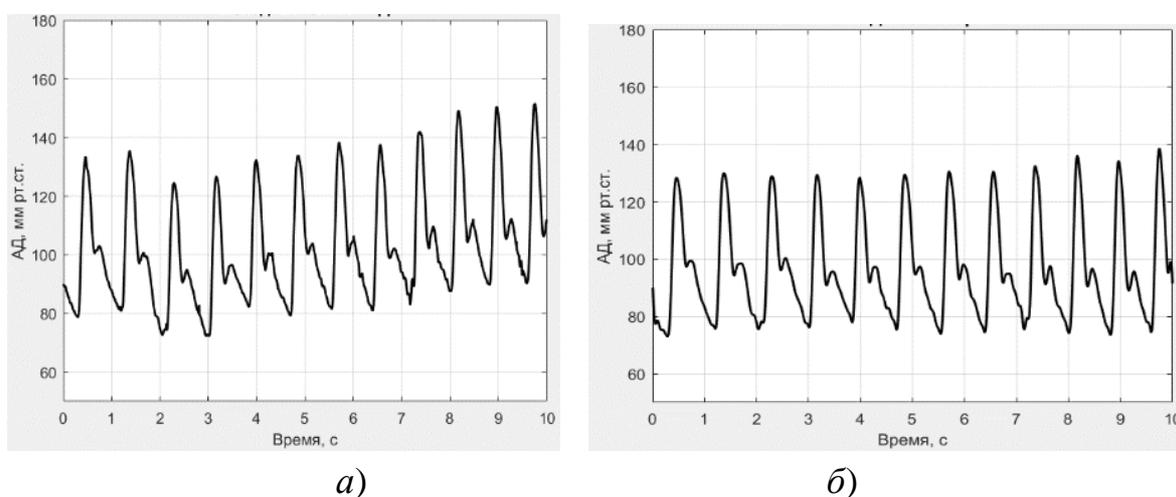
Наличие в исходном сигнале дрейфа (низкочастотной составляющей) и небольших высокочастотных шумов требует проведения обработки для обеспечения большей диагностической ценности.

Области низких и высоких частот до и после устранения можно выявить, проанализировав АЧХ откликов сигнала артериального давления (рис. 1), полученных после перевода сигнала в частотную область при помощи прямого преобразования Фурье.

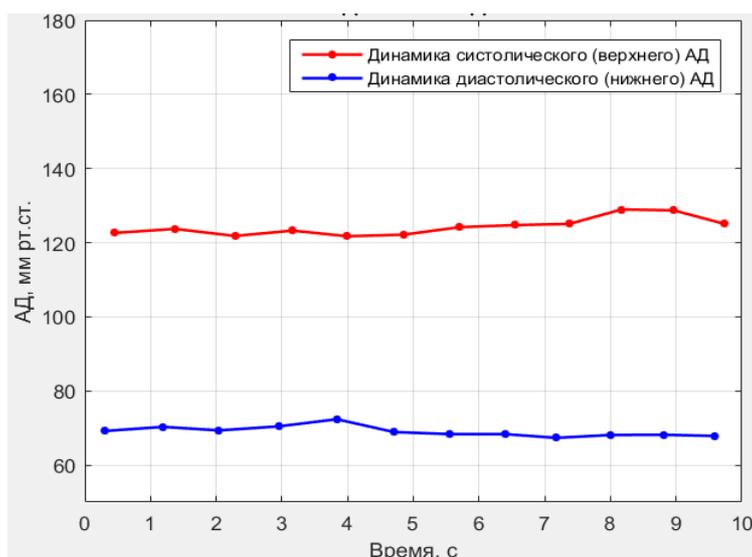
Таким образом, после проведения обработки конечный сигнал в сравнении с исходным (рис. 2) не содержит неинформативных шумов и дрейфа.



**Рис. 1. АЧХ отклика сигнала до (а) и после (б) обработки**



**Рис. 2. Сигналы артериального давления до (а) и после (б) обработки**



**Рис. 3. Динамика значений артериального давления**

При анализе во временной области для отслеживания динамики артериального давления возможно моделирование кривых, точками которых являются максимальные и минимальные значения на протяжении исследования (рис. 3).

## Библиографический список

1. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19(3). – С. 553 – 561.
2. Федотов, А. А. Датчики и системы измерения артериального давления крови : методические указания / А. А. Федотов. – Самара : Самар. нац. исслед. ун-т, 2016. – 26 с.

## МНОГОПОЗИЦИОННАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ

**Я. И. Шнякина, А. Р. Аветисян, К. С. Савинова**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: scorpio0751@gmail.com)

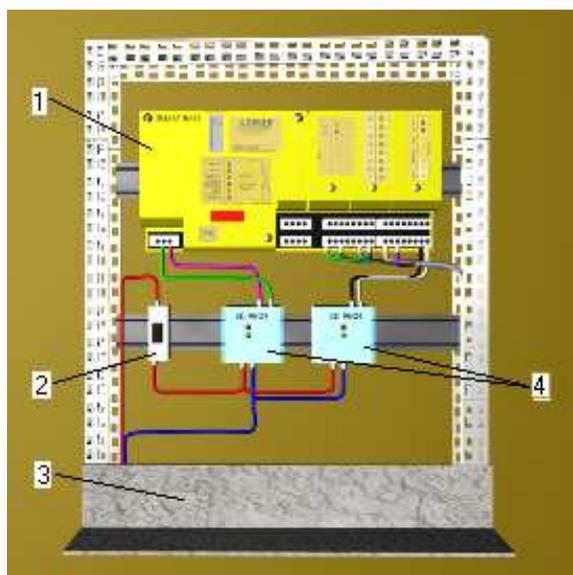
Для задач автоматического регулирования в медицинской технике широкое распространение получили позиционные системы в силу их простоты работы, надежности и невысокой стоимости [1, 2]. Позиционные системы регулирования применяются в терапевтическом и диагностическом оборудовании, а также аппаратном обеспечении чистых стерильных помещений.

Для повышения качества регулирования используются усовершенствованные способы позиционного управления. Создание алгоритмов многопозиционного регулирования, их отладка и модернизация возможны с использованием лабораторного комплекса (стенда), приведенного на рис. 1 и 2, который работает на базе контроллера SMART-I/O совместно с программным обеспечением ISaGRAF.

Работа блока контроллера заключается в выработке управляющих воздействий и передаче их на блок объекта управления.

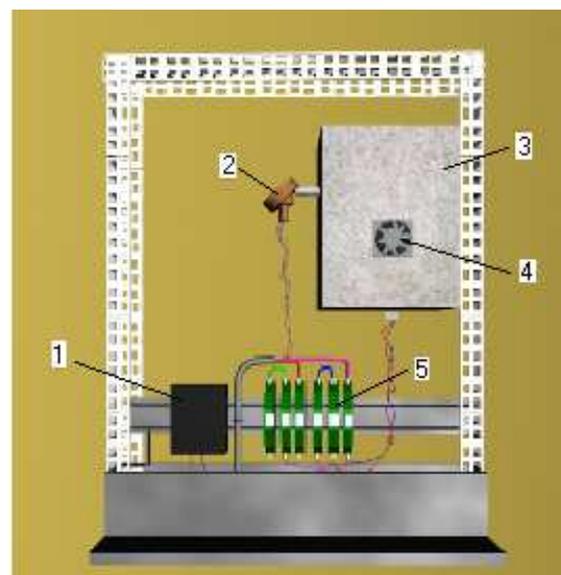
Работа блока объекта управления состоит в определении и передаче сигнала о значении температуры объекта на блок контроллера, а также изменении режима работы объекта посредством включения/выключения нагревательных элементов. В установке имитируется работа многопозиционной системы регулирования за счет включения/выключения трех нагревателей и системы охлаждения.

Управляющие воздействия формируются согласно данным, поступающим с блока объекта управления, программе составленной в среде разработки ISaGRAF и загруженной в память контроллера. Таким образом, данная установка может служить для моделирования различных систем автоматического



**Рис. 1. Блок контроллера лабораторного стенда:**

1 – контроллер; 2 – переключатель;  
3 – разъем для соединения;  
4 – блоки питания



**Рис. 2. Блок объекта управления лабораторного стенда:**

1 – блок питания; 2 – термометр сопротивления; 3 – объект управления;  
4 – вентилятор; 5 – реле

регулирования, в том числе позиционных, создания и отладки программного обеспечения для данных систем.

### Библиографический список

1 Применение бионического подхода при синтезе систем управления многомерными объектами высокой размерности / С. В. Фролов, А. А. Коробов, А. Ю. Потлов, Т. А. Фролова // Математические методы в технологиях и технике. – 2021. – № 6. – С. 67 – 70.

2 Двухэтапная процедура синтеза управления нелинейными нестационарными объектами с использованием многослойного персептрона / С. В. Фролов, С. В. Синдеев, А. А. Коробов, К. С. Савинова, А. Ю. Потлов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8, № 3.

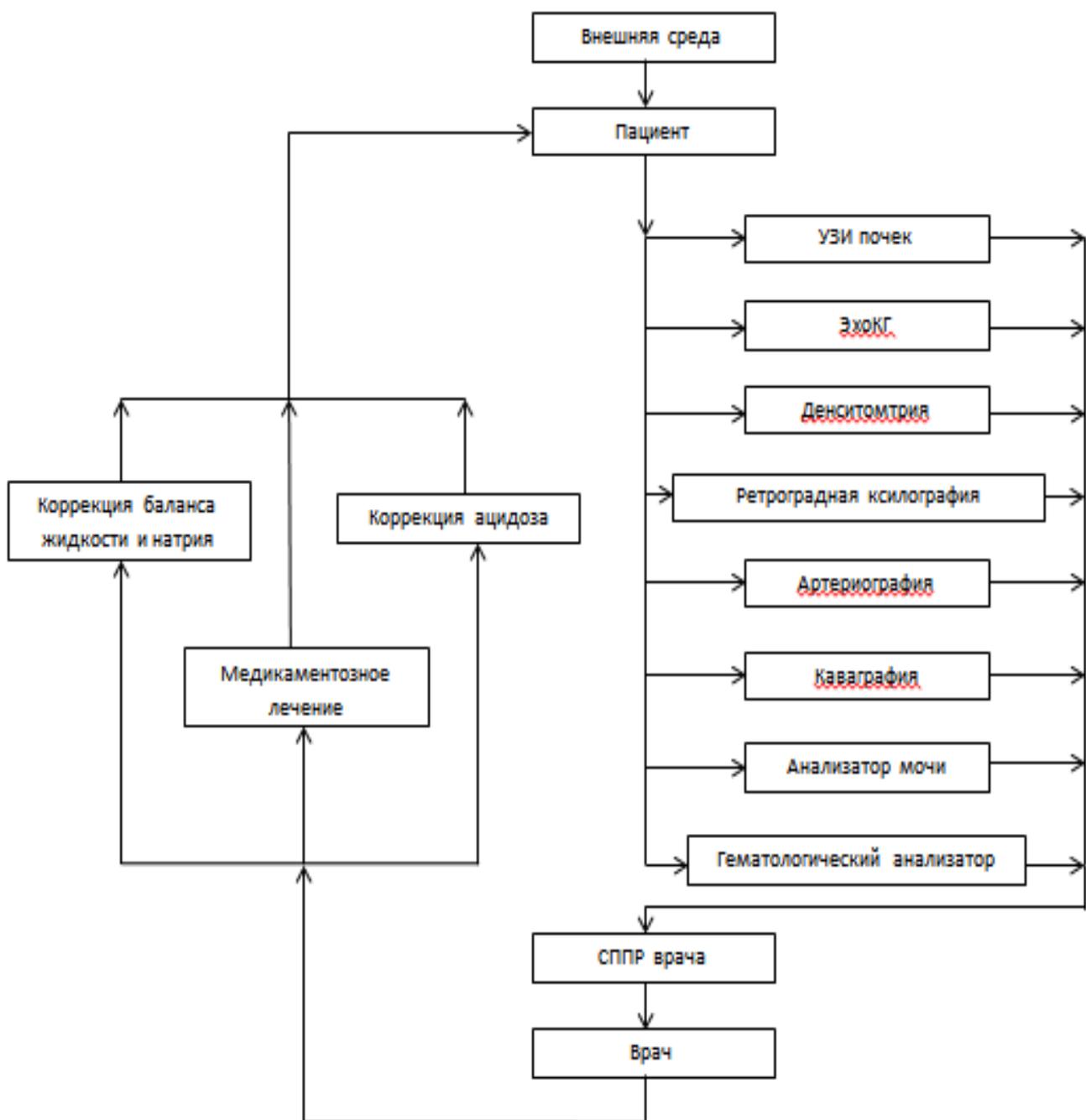
## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРОЦЕССА ГЕМОДИАЛИЗА

**А. А. Азимуратова, Т. А. Фролова**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

(e-mail: calamity991@gmail.com)

Биотехнические системы (БТС) медицинского назначения – это неотъемлемая часть современной медицины (рис. 1). Они помогают контролировать



**Рис. 1. Структурная схема БТС лечебного воздействия на примере гемодиализа**

процессы и состояние организма, управлять и стабилизировать эти состояния. В сложившейся ситуации врачу необходима система, которая будет в значительной степени оптимальна для получения клинических данных, интерпретации этих данных, а также поддержки принятия решений при назначении терапевтических средств.

Гемодиализ – процедура очищения крови через полупроницаемую пористую мембрану с помощью аппарата «искусственная почка».

Диагностика перед процедурой гемодиализа включает в себя методы медицинской визуализации и лабораторные методы.

Все данные диагностики проходят через систему поддержки принятия решений (СППР) врача и интерпретируются там. Результаты поступают к врачу, который на основе этих данных и своего опыта ставит диагноз.

БТС должна содержать анализ показателей, полученных во время проведения стандартных и специальных методов обследования, визуализацию медицинскими техническими средствами, лабораторные исследования.

Система поддержки принятия решения врача представляет собой программное обеспечение, основанное на статистических данных, базах медицинских знаний, принципах нечеткой логики [1 – 5]. В основе лежит алгоритм принятия решения, включающий в себя несколько блоков. Этап ввода данных, составление таблицы связей, расчет коэффициента уверенности в принятом решении  $K_i$ , сравнение полученного коэффициента уверенности с пороговым значением  $K_{и}$ .

Таким образом, благодаря введению СППР врача и расширению возможностей лечебных воздействий мы получаем более эффективную биотехническую систему.

### Библиографический список

1. Синдеев, С. В. Система поддержки принятия решений врача при оценке предоперационного состояния больных с острыми нарушениями мозгового кровообращения / С. В. Синдеев, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 581 – 588.

2. Современные тенденции развития медицинских информационных систем мониторинга / С. В. Фролов, М. А. Лядов, И. А. Комарова, О. А. Остапенко // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 2(46). – С. 66 – 75.

3. Фролова, М. С. Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск № 52. – С. 106 – 111.

4. Модель сердечно-сосудистой системы с регуляцией на основе нейронной сети / С. В. Фролов, А. А. Коробов, Д. Ш. Газизова, А. Ю. Потлов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2021. – № 2(38). – С. 79 – 94.

5. Потлов, А. Ю. Численное моделирование миграции фотонов в однородных и неоднородных цилиндрических фантомах / А. Ю. Потлов, С. В. Фролов, С. Г. Проскурин // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т. 128, Вып. 6. – С. 832 – 839.

# ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПУЛЬСОВЫМ ОКСИМЕТРОМ

**Е. Н. Родина**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

(e-mail: elizawetanika@yandex.ru)

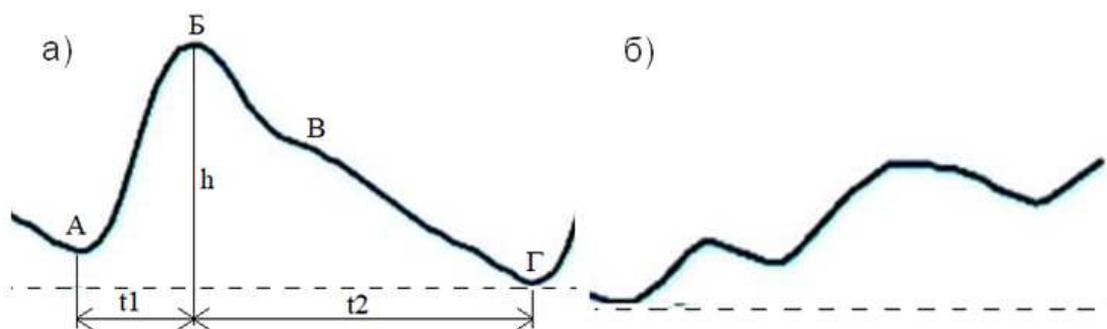
Современные пульсовые оксиметры, несмотря на все свои достоинства, все же могут выдавать неверные результаты измерений под воздействием определенных факторов (табл. 1). А именно, наличие цветного лака на ногтях, наличие влаги в приборе, слабый пульс (низкая перфузия), низкий уровень гемоглобина, мерцающее или очень яркое освещение, низкий уровень ФПГ, неправильное расположение пальца, измерение не на том пальце, сокращение кровеносных сосудов, вызванное гиперкинезией периферических сосудов или снижением температуры тела, движения пальца или руки [1 – 4].

Для проверки влияния некоторых вышеперечисленных факторов на точность прибора были проведены измерения с использованием пульсового оксиметра Viatom FS20F. Для начала сравнили технические характеристики данной модели и трех наиболее популярных. Выбранная модель не уступает другим по своим показателям.

Были сняты показания у группы людей одного возраста в состоянии покоя, при движении/смещении пальца, неправильном положении, и на основе данных измерений можно считать, что восстановление правильных показаний пульсоксиметра обязательно произойдет через 15 с при неподвижности руки.

## 1. Сравнение моделей пульсоксиметров

Модель	Диапазон измерения SPO <sub>2</sub> , %	Точность измерения SPO <sub>2</sub> , %	Диапазон измерения пульса, уд./мин	Точность измерения пульса, уд./мин	Автоматическое отключение питания	Цена, р.
Viatom FS20F	70...99	70...99 ±2	25...250	±1	через 8 с	2800... 6500
ТОРМЕД FP-30	35...99	±2	30...250	±1		2900... 4800
Riester Ri-fox N	70...100	±2	30...235	±2		6900... 8900



**Рис. 1. ФПГ в норме (а) и при смене движении пальца (б)**

При движениях руки с пульсоксиметром показания  $SpO_2$  уменьшались до 92...93% при допустимом уровне 94%, что может привести к неправильной постановке диагноза.

С помощью прибора также были получены фотоплетизмограммы (ФПГ) в состоянии покоя и при движении (рис. 1).

Как видим на рис. 1, б ФПГ при движении пальца, в отличие от ФПГ, в норме; рис. 1, а полностью поменяла форму, стала нечитаема, и по ней невозможно определить какие-либо параметры.

Для исключения случаев неправильных измерений пульсоксиметром при произвольных движениях предполагается использование определения степени схожести реального сигнала и эталонного сигнала фотоплетизмограммы.

### **Библиографический список**

1. Фролов, С. В. Методы решения глобальной задачи управления для распределенных иерархических систем с интервальной неопределенностью / С. В. Фролов, Т. А. Фролова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. – № 4(189). – С. 232 – 245.
2. Фролов, С. В. Проектирование автоматической станции для выделения нуклеиновых кислот на базе готовой роботизированной платформы и отечественных реагентов / С. В. Фролов, Т. А. Фролова // Ползуновский альманах. – 2017. – № 4(3). – С. 64 – 69.
3. Синдеев, С. В. Система поддержки принятия решений врача при оценке предоперационного состояния больных с острыми нарушениями мозгового кровообращения / С. В. Синдеев, С. В. Фролов, А. Ю. Потлов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 581 – 588.
4. Фролов, С. В. Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ТЕРМОМЕТРА

А. П. Толмачев

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов

(e-mail: carabidaee@gmail.com)

Моделирование цифрового термометра осуществлено на основе четырех разрядных счетчиков SN74LS90N, блока делителя частоты, логического ИЛИ 74LS08D, логического И 7486N, и регистров 74LS173D.

Устройство работает следующим образом, генератор опорной частоты вырабатывает опорную последовательную с частотой 2 кГц, в то время как на вход устройства поступают данные с термопреобразователя. Первый импульс с выхода термопреобразователя передается на вход элемента И, и при помощи опорного импульса открывает его, после чего поступает на суммирующий счетчик. Счетчик начинает считать и переполняется через время  $T$ , после чего обнуляется. Таким образом формируется последовательность импульсов постоянной длительности  $T$ . Далее процесс повторяется в непрерывном режиме, достигается состояние динамического равновесия. Сигнал со счетчиков поступает на входы регистров, после чего отправляются на вывод через разъемы.

В основу построения устройства положен принцип кратного весового дополнения с автоматической компенсацией за счет наличия отрицательной обратной связи, оперативно устанавливающей необходимый режим динамического равновесия [1, 2].

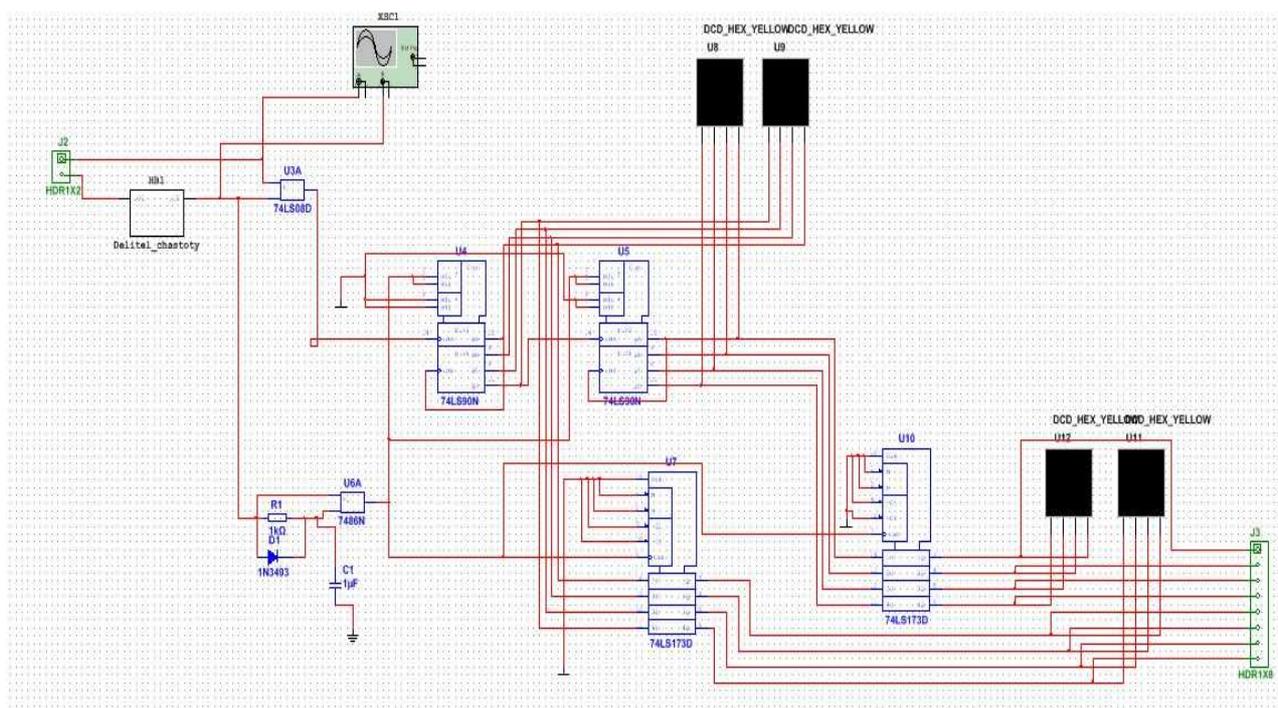
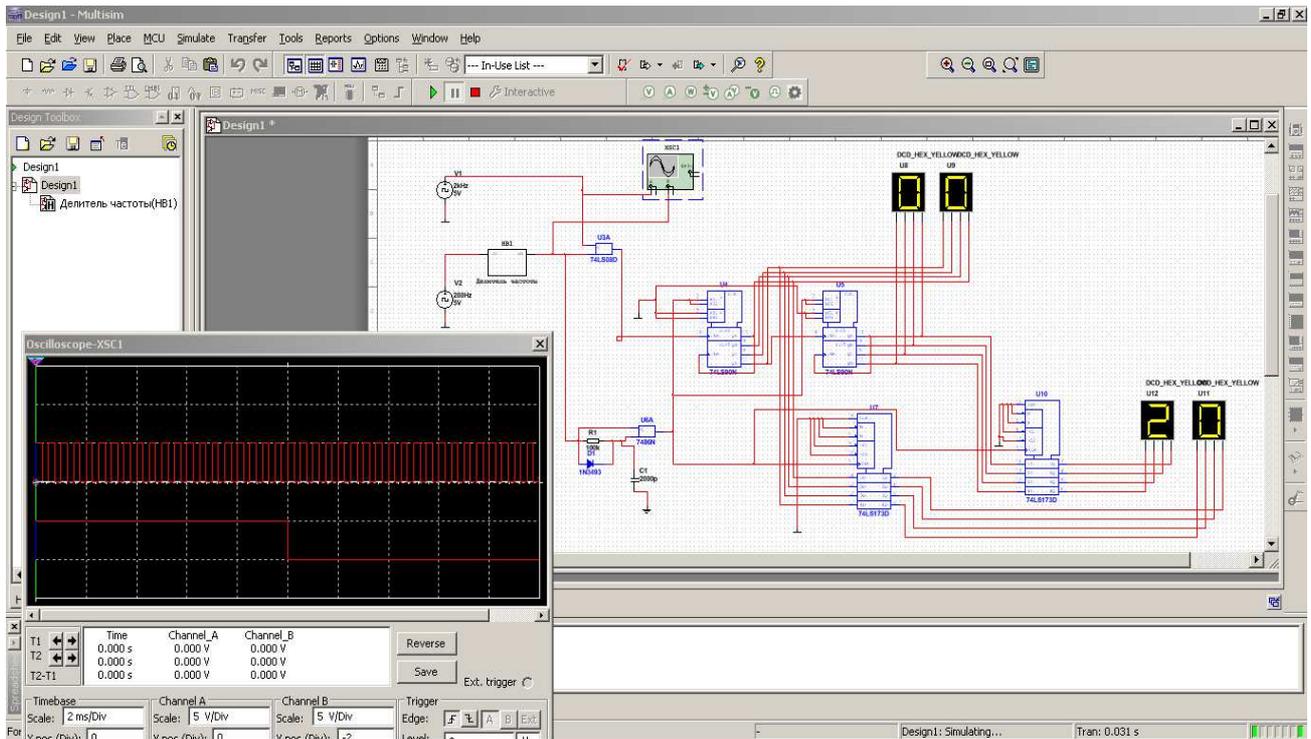
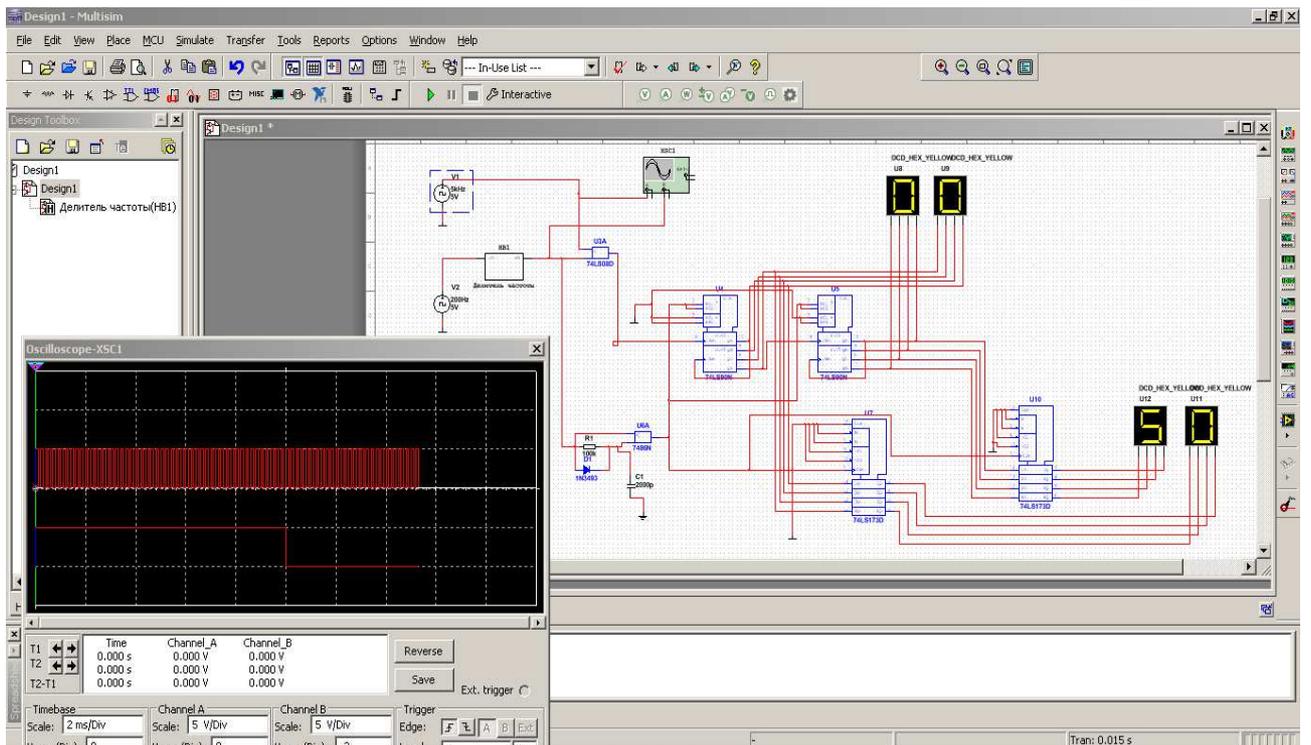


Рис. 1. Структурная схема цифрового термометра



**Рис. 2. Работоспособность термометра с опорной частотой 2 кГц**



**Рис. 3. Работоспособность термометра с опорной частотой 5 кГц**

Проверка работоспособности схемы была выполнена при помощи генераторов прямоугольных импульсов, осциллографа и индикаторов. На индикаторах с триггера сохраняется число подсчитанных восьмиразрядным счетчиком импульсов.

## Библиографический список

1. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Вып. 4, Т. 3. / под общ. ред. В. А. Немтинова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – С. 123 – 128.
2. Фролова, Т. А. Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

## ОПТИМАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО КОСМЕТОЛОГИЧЕСКОГО КАБИНЕТА

**А. П. Филимонова**

**Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия**

**(e-mail: [filimonova.n.68@gmail.com](mailto:filimonova.n.68@gmail.com))**

Оснащение косметологического кабинета является сложным и трудоемким процессом. Косметологический кабинет должен включать в себя технические средства, которые будут соответствовать потребностям современного уровня медицины [1 – 4].

Стандарт оснащения косметологического кабинета в соответствии с Приложением № 2 Приказа Минздрава России от 21 февраля 2000 г. № 114Н «Стандарт оснащения косметологического кабинета» включает в себя следующие наименования: мебель медицинская; дерматоскоп; рабочее место врача; лампа бестеневая с увеличительной лупой; устройство ультразвуковой очистки и дезинфекции инструментов и изделий (ванна); стерилизатор воздушный, суховоздушный; бактерицидный облучатель/очиститель воздуха/устройство для обеззараживания и(или) фильтрации воздуха и(или) дезинфекции поверхностей; аппарат для распаривания лица; холодильник для хранения медикаментов; стойка для внутривенных вливаний.

Классические косметологические уходовые процедуры являются незамедлимой рутинной, но не способны дать выраженных результатов или решить значительные проблемы. Инъекционные методики несомненно высоко востребованы среди пациентов, дают быстрые и видимые результаты, но имеют ряд ограничений в применении. А хирургические вмешательства требуют длительного периода реабилитации и имеют высокий риск развития осложнений, а также широкий спектр противопоказаний.

На помощь таким пациентам приходит аппаратная косметология, одно из самых перспективных и интересных направлений в эстетической косметологии. Аппаратная косметология – это не только базовые методы ухода за кожей, но и инновационные технологии и системы, которые являются альтернативой травматичным инвазивным методикам. Косметологическое оборудование – это результат долгой и кропотливой работы ученых, которые на основе имеющихся физиотерапевтических методов разработали уникальные методики, позволяющие эффективно и безопасно решать широчайший спектр эстетических и дерматологических проблем.

Предлагается дополнить оборудование косметологического кабинета многофункциональным аппаратом. Примером может служить многофункциональный косметологический комбайн Micros 8D (рис. 1), главное отличие которого от множества подобных косметологических аппаратов заключается в том, что можно проводить несколько процедур одновременно разными манипулами (насадками).

Micros 8D сочетает в себе функции RF лифтинга (стимуляция клеток высокочастотными электромагнитными импульсами); микротоков; электропорации (введение в глубокие слои кожи веществ при помощи импульсов на определенной частоте и интенсивности); криотерапии (воздействие холодом для стимуляции обменных процессов в тканях); глубокой чистки; вакуумного лимфодренажа (удаление следов от акне и нормализация водного баланса); алмазной микродермабразии и вакуумной чистки.

Область применения Micros 8D – для профессионального использования в салонах красоты и кабинетах косметологии, может использоваться для процедур по лицу и телу.



**Рис. 1. Комбайн Micros 8D**

Данный аппарат позволяет проводить одновременно несколько косметологических процедур, что позволяет значительно экономить время и средства пациента, и средства косметолога на покупку и освоивание дополнительных косметологических аппаратов.

### **Библиографический список**

1. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.
2. Фролов, С. В. Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Менеджер здравоохранения. – 2013. – № 11. – С. 50 – 61.
3. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 553 – 561.
4. Фролова, Т. А. Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

### **ФОТОЭЛЕКТРОКОЛОМЕТРИЯ. СРАВНЕНИЕ АППАРАТОВ «КФК-ЗКМ»**

**Е. С. Ширкина**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: shirkina\_ek@mail.ru)

Фотоэлектроколориметрия применяется для измерения поглощения света или пропускания окрашенными растворами. Приборы, используемые для этой цели, называются фотоэлектроколориметрами (ФЭК) (рис. 1).

Фотоэлектрические методы измерения интенсивности окраски связаны с использованием фотоэлементов. В отличие от приборов, в которых сравнение окрасок проводится визуально, в фотоэлектроколориметрах приемником световой энергии является прибор – фотоэлемент. В этом приборе световая энергия преобразует в электрическую. Фотоэлементы позволяют проводить колориметрические определения не только в видимой, но также в УФ- и ИК-областях спектра. Измерение световых потоков с помощью фотоэлектрических фотометров более точно и не зависит от особенностей глаза наблюдателя. Применение



В-1200

КФК-ЗКМ

**Рис. 1. Спектрофотометры В-1200 и КФК-ЗКМ**

### 1. Сравнительная характеристика приборов ЭКОВЬЮ В-1200 и КФК-ЗКМ

Характеристики	ЭКОВЬЮ В-1200	КФК-ЗКМ
Установка длины волны	Электронная (пользователь указывает нужную ДВ, прибор сам ее находит)	Электронная (пользователь указывает нужную ДВ, прибор сам ее находит)
Дисплей	Сенсорный цветной	Монохромный сине-белый с подсветкой
Система подсказок оператору	Есть	Нет
Размер используемых кювет (стандарт КФК)	1...100 мм	1...100 мм
Количество мест для кювет в держателе	3 шт.	
Программное обеспечение для подключения к ПК	Есть	Есть (англоязычная)
Самодиагностика с индикацией проверяемых узлов прибора	Есть	Нет
Возможность сохранять журнал измерений по дням	Есть	Нет
Возможность подключать внешний usb-диск для сохранения градуировок и измерений	Есть	Нет
Наличие РУ	Нет	Нет
Цена, р.	76 270	102 000

фотоэлементов позволяет автоматизировать определение концентрации веществ в химическом контроле технологических процессов. Вследствие этого фотоэлектрическая колориметрия значительно шире используется в практике заводских лабораторий, чем визуальная [1, 2].

Сравнительный анализ характеристик спектрофотометров В-1200 и КФК-ЗКМ приведен в табл. 1.

В качестве достойного аналога КФК-3КМ можно рассмотреть Эковью В-1200. Учитывая примерно одинаковую стоимость, В-1200 имеет ряд преимуществ в технических характеристиках, выполнен в более современном корпусе, имеет цветной сенсорный дисплей с системой подсказок оператору.

### **Библиографический список**

1. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.
2. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19(3). – С. 553 – 561.

## **АНАЛИЗ РЫНКА БИОХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ**

**И. А. Шаталова**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

(e-mail: shatalova.02@mail.ru)

Биохимические анализаторы – высококлассное лабораторное оборудование, которое позволяет провести узкоспециализированный или общий анализ крови. В процессе используются разные методы определения параметров: механические, компьютерные, оптические.

Биохимические анализаторы делятся на: спектрофотометры, полуавтоматические анализаторы и автоматические анализаторы [1 – 5].

Спектрофотометры могут быть одноканальными и двухканальными. Они регистрируют оптическую плотность и выполняют несложные вычисления. Требуют от оператора подготовки реагентов, смешивания, установки режимов.

Полуавтоматические требуют ручной подготовки проб и реагентов. Приборы сами делают автоматическую калибровку, выдают запросы о добавлении следующей пробы, выводят результаты на дисплей, записывающее устройство, печать.

Автоматические практически не требуют участия человека. Выполняют максимальный спектр операций: отбирают биоматериалы и реагенты, смешивают, нагревают, анализируют и обрабатывают полученные данные, промывают используемый инструментарий.

Также анализаторы делятся на открытые и закрытые системы. Закрытая система использует ограниченный спектр реагентов, предусмотренный фирмой-изготовителем прибора. В таких системах значения контрольных и калибровочных материалов заданы заранее, а информация о вносимых реагентах регистрируется путем считывания штрих-кода с упаковки. Открытые системы оборудованы набором светофильтров для проведения наиболее распространенных методик и позволяют выполнять проведение анализа практически на любых реагентах промышленного производства.

Биохимические анализаторы имеют разные режимы тестов: «тест за тестом», или batch-доступ, в котором анализатор последовательно определяет один параметр для всех образцов; «пациент за пациентом» или свободный доступ (random access), в котором можно либо определить все параметры для одного образца, либо один параметр для всех образцов.

В качестве расчетной методики может использоваться методика расчета по конечной точке или кинетический метод. Так же в расчете по конечной точке может использоваться калибровочный график. В методе конечной точки измерение оптической плотности происходит тогда, когда прекращается реакция с изменением оптической плотности вещества. В кинетическом методе измеряется скорость изменения оптической плотности, которая зависит от концентрации или активности исследуемого вещества. Самые современные анализаторы могут быть оснащены системами оптимизации, автоматически рассчитывающими, какая последовательность выполнения тестов позволит выполнить заданные анализы в минимальный период времени.

Главное условие корректности получаемых результатов – высокая точность дозирования. Допускается отклонение при дозировании пробы не более 2%.

### **Библиографический список**

1. Фролова, М. С. Разработка информационной модели медицинского прибора на примере биохимического анализатора / М. С. Фролова, Т. А. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 124 – 132.

2. Ряшенцева, А. Н. Сопоставление методов иммунохимического анализа / А. Н. Ряшенцева, Т. А. Фролова // Энергосбережение и эффективность в технических системах : матер. V Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2018. – С. 387–388.

3. Потлов, А. Ю. Численное моделирование миграции фотонов в однородных и неоднородных цилиндрических фантомах / А. Ю. Потлов, С. В. Фролов, С. Г. Проскурин // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т. 128, Вып. 6. – С. 832 – 839.

4. Моделирование пульсирующих потоков крови для офтальмологических задач оптической когерентной томографии / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, Т. А. Фролова, С. Г. Проскурин // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2020. – С. 47 – 55.

5. Моделирование пульсирующих потоков крови для задач оптической когерентной томографии в офтальмологии / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, С. Г. Проскурин, Т. А. Фролова // Электронный журнал радиоэлектроники. – 2020. – № 11.

## **РАЗРАБОТКА ВЫРАВНИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛАТИНА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ДИПОЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ В РАСТВОРЕ СПЕКТРОСКОПИИ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА**

**Н. В. Венцера<sup>1</sup>, Л. Руссо<sup>2</sup>, Р. Фатторуссо<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов;**

**<sup>2</sup>Университет региона Кампания Луиджи Ванвителли, Италия, Казерта  
(e-mail: natalia.ventzerova@gmail.com)**

Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР) используется для характеристики структуры и динамики белков с атомным разрешением. Чтобы определить трехмерную структуру белка, структурные ограничения получают путем оценки параметров ЯМР. В этом сценарии остаточные дипольные связи представляют собой мощный инструмент для изучения динамики белков в масштабах времени от пико до миллисекунд для получения структурной информации дальнего действия ( $> 5 \text{ \AA}$ ). Фактически остаточные дипольные связи возникают, когда молекулярные системы, содержащие близкие пары магнитных ядер, частично выстраиваются в магнитных полях. Поэтому частичное выравнивание среды является ключом к наблюдению остаточных дипольных связей.

Разработка новых методов изготовления сред выравнивания остается актуальной задачей. Это связано с тем, что увеличивается шанс найти оптимальную среду, которая будет успешно выравнивать белки или мембранные белки без изменения природной конформации. Сначала мы решили протестировать новую среду для выравнивания для измерения остаточных дипольных связей небольшой молекулы. В частности, мы исследовали мелатонин, поскольку он характеризуется хорошей дисперсией сигналов протонного ЯМР.

Таким образом был разработан протокол для приготовления среды для выравнивания, характеризующийся следующими этапами.

1. Желатин имел концентрацию 30%, растворенный в 5 мл фосфатно-солевом буфере.

2. Для достижения жестких желатиновых стержней мы изобрели серию камер диаметром 4 мм и длиной 30 мм для гидратации геля. Этот новый набор камер позволил нам контролировать состояние желатинового геля. Желатиновый гель при 55 °С был помещен в изобретенную камеру и помещен в водяную баню на 10 мин при температуре 50 °С.

3. Перемещен в холодильник на 2 ч при 4 °С, а затем оставили при комнатной температуре примерно на 7 дней. В результате чего был получен твердый гель диаметром 2 мм.

4. Для подтверждения того, что в образце не было воды, гель извлекали из камеры и выдерживали при комнатной температуре еще 48 ч.

5. В результате, гель был перемещен в специальную секцию устройства и был оставлен для набухания в растворе мелатонина в течение 48 ч при комнатной температуре, и, как следствие, цилиндрический гель был перемещен в ЯМР-пробирку из специального воронкообразного устройства.

На рисунке 1 показан спектр ЯМР, полученный при 298 К с использованием HD-спектрометра *Bruker Avance III*, работающего на частоте 600 МГц и оснащенного криозондом N2.

Таким образом, протокол подготовки геля требует дополнительной комплексной работы с гелем для получения ЯМР-экспериментов с высоким разрешением. Чтобы преодолеть это ограничение, улучшая качество спектров ЯМР, можно использовать несколько экспериментов ЯМР с T2-фильтрацией для ослабления или удаления сигналов геля, которые характеризуются коротким временем релаксации.

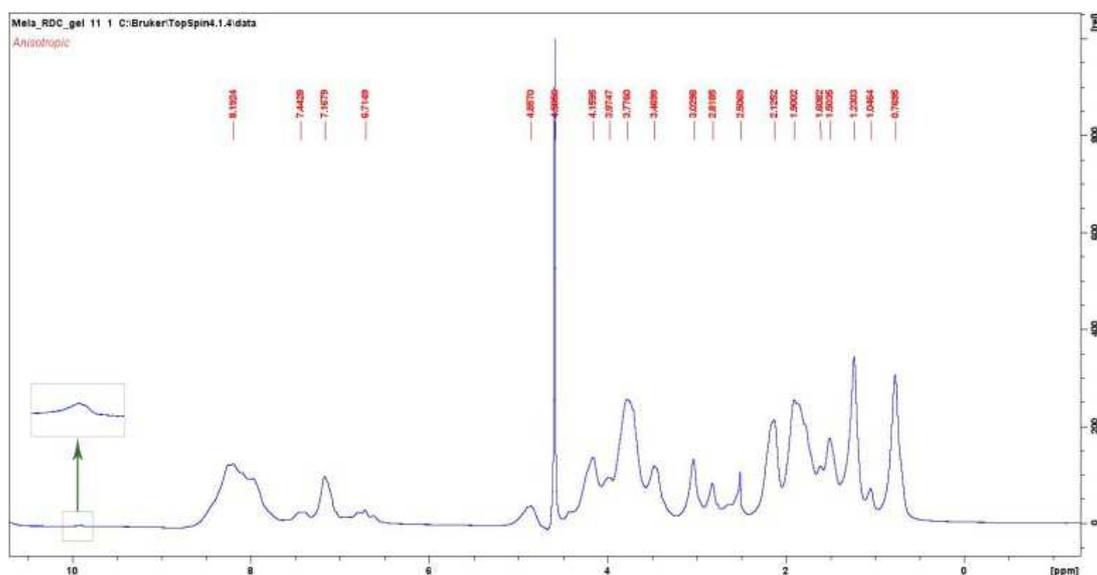


Рис. 1. ЯМР-спектр раствора мелатонина в выравнивающей среде на основе желатина

## Библиографический список

1. Optimized Ratiometric Calcium Sensors for Functional in Vivo Imaging of Neurons and Tlymphocytes / T. Thestrup, et al. // Nature Methods. – 2014. – Т. 11, № 2. – С. 175 – 182.
2. Interdomain Dynamics Explored by Paramagnetic NMR / L. Russo, et al. // Journal of the American Chemical Society. – 2013. – Т. 135, № 45. – С. 17111 – 17120.
3. Insight into the Molecular Recognition Mechanism of the Coactivator NCoA1 by STAT6 / L. Russo, et al. // Scientific Reports. – 2017. – Т. 7, № 1. – С. 1 – 12.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ В ОПЕРАЦИОННЫХ ХИРУРГИЧЕСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ

**Т. К. Гончарова, И. А. Попов, В. М. Строев**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail:streltsova.ttanya@yandex.ru)

Температура тела человека – универсальный показатель его биологической активности. Отклонение температуры от нормы – это первый симптом для любого физиологического нарушения, он является важным показателем для распознавания характера нарушения физиологического процесса в организме. Поэтому в настоящее время набирает обороты применение тепловизионной диагностики функционирования систем организма [1, 2].

В настоящее время разработан тепловизионный аппаратно-программный комплекс «Дигносис», который применяется в медицинской практике для диагностики функциональной состоятельности органов, тканей организма и выявления возможных заболеваний.

Аппаратно-программный комплекс «Дигносис» (рис. 1) выполнен на основе программного комплекса «TVision» и тепловизора цифрового «ТВС300-мед», также комплекс включает многофункциональную стойку для крепления и перемещения тепловизора, оснащенную программным электроприводом, датчиками движения и расстояния. Управление как самого тепловизора, так и стойкой осуществляется с компьютера, в котором идет накопление данных обследования и их передача по сетям телемедицины в базу хранения, обработки и анализа полученных результатов.



**Рис. 1. Тепловизионный аппаратно-программный комплекс «Дигносис»**

С помощью данного комплекса «Дигносис» можно определить уровень кровообращения в исследуемых тканях, их температурный градиент, а через них установить, в каком функциональном состоянии находится тот или иной орган, или ткань тела. Так же способ исследования хорошо подходит для сканирования не только крупных и средних (по размерам) кровеносных сосудов, но и мелких сосудов, капилляров.

Одной из функций аппаратно-программного комплекса является обработка термографического обследования пациента встроенными инструментами аналитики, а именно:

- обрабатывать и анализировать тепловизионные изображения в момент их регистрации для поиска типичных температурных признаков определенных групп заболеваний;
- выстраивать и анализировать серии термограмм, зафиксированных в разное время в течение данного заболевания для мониторинга течения процесса и оценки качества проводимого лечения;

Предлагается оснащение операционной хирургического отделения данным медицинским оборудованием – тепловизионный аппаратно-программный комплекс «Дигносис».

Применение тепловизионной системы актуально для контроля количества крови и выявления области кровопотери в организме человека во время проведения операции и послеоперационный период, с применением аутогемотрансфузии.

Результатом дистанционного температурного исследования тела человека тепловизором является термография (матрица температурных значений). Обнаружение области кровопотери будет свидетельствовать термография с холодными оттенками цвета и температурные значения ниже допустимого.

Таким образом, применение тепловизионного аппаратно-программного комплекса будет являться еще одним прибором для контроля параметров организма пациента по время проведения хирургических операции различного профиля.

### **Библиографический список**

1. Ачкасов, Е. Е. Медицинское тепловидение : учебное пособие / Е. Е. Ачкасов, М. Г. Воловик, И. М. Долгов, С. Н. Колесов. – М., 2019. – С. 72–73.
2. Frolov, S. V. Automated Information System for Monitoring Health of Schoolchildren / S. V. Frolov, M. A. Lyadov, S. A. Loskutov // Biomedical Engineering. – 2015. – Vol. 49(1). – Pp. 1 – 6.

## **АЛГОРИТМ СППР ВРАЧА-РЕВМАТОЛОГА ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ РЕВМАТОИДНОГО АРТРИТА**

**И. А. Карак**

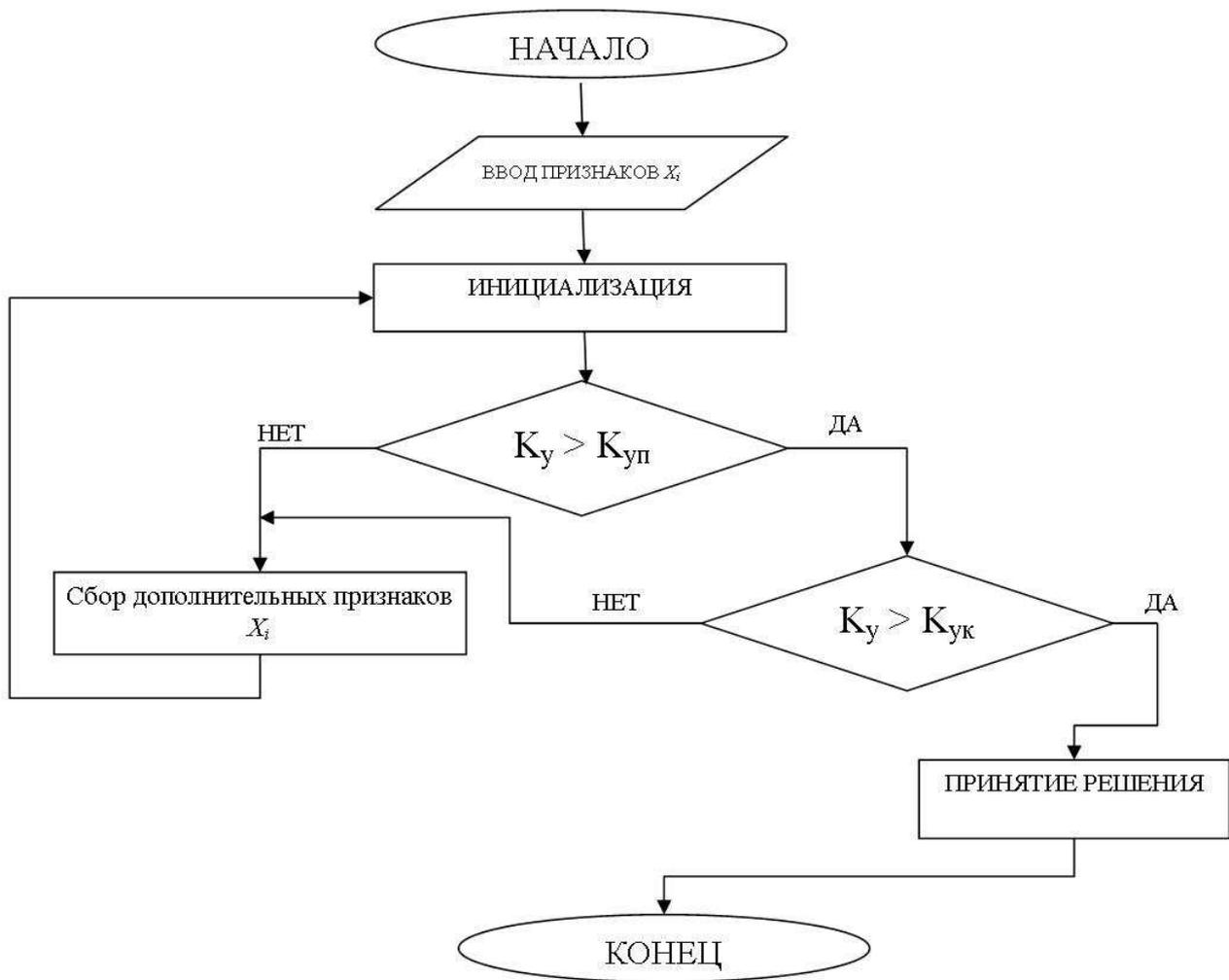
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: karakirina68@gmail.com)**

Система поддержки принятия решения врача представляет собой программное обеспечение, основанное на статистических данных, базах медицинских знаний, принципах нечеткой логики. В основе лежит алгоритм принятия решения [1 – 4].

Алгоритм принятия решений (рис. 1) включает в себя несколько блоков. Рассмотрим каждый блок более подробно.

На первом этапе происходит ввод данных, получаемых врачом от пациента путем проведения дополнительных исследований и сбора анамнеза. Например, сюда включаются показатели клинического анализа крови и общего анализа мочи, результаты магнитно-резонансной томографии, ультразвуковой диагностики, результаты биохимического анализа крови, концентрации различных специфических веществ, являющихся маркерами заболевания.

На втором этапе происходит так называемая инициализация этих данных. На данном этапе происходит составление таблицы связей, которая составляется на основе признаков и соответствующих им заболеваний. Происходит это следующим образом: таблица имеет набор признаков  $x_i$  и набор патологий  $y_j$ , пато-



**Рис. 1. Алгоритм СППР врача**

логии являются узкоспециализированными для каждого типа врачебной практики. Путем последовательного считывания информации по определенному алгоритму происходит определение области возможных патологий. После определения области возможных заболеваний, сопоставимых с выявленными признаками, происходит расчет коэффициента уверенности в принятом решении  $K_y$ .

На третьем этапе происходит сравнение полученного коэффициента уверенности с пороговым значением  $K_{yn}$ . Если коэффициент уверенности больше порогового значения, то происходит проверка достижимости уверенности  $K_{ук}$  на основе сравнения с классификационным пороговым значением. Если Коэффициент уверенности больше, то решение является принятым, и происходит выход из алгоритма.

### **Библиографический список**

1. Фролова, Т. А. Information Models of a Medical Device for Itsevaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

2. Potlov, A. Yu. Visualization of Anatomical Structures of Biological Tissues by Optical Coherence Tomography with Digital Processing of Morphological Data / A. Yu. Potlov, S. V. Frolov, S. G. Proskurin // Biomedical Engineering. – 2020. – Vol. 54(1). – Pp. 9 – 13.

3. Proskurin, S. G. One Specific Velocity Color Mapping using Optical Coherence Tomography / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // Journal of Biomedical Optics. – 2015. – Vol. 20(5), No. 051034.

4. Proskurin, S. G. Specific Features of Diffuse Photon Migration in Highly Scattering Media with Optical Properties of Biological Tissues / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // Quantum Electronics. – 2015. – Vol. 45(6). – Pp. 540 – 546.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ДОППЛЕРОГРАФИИ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ МЯГКИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ**

**И. А. Карак**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: karakirina68@gmail.com)**

Острые нарушения кровообращения в сосудах зрительной системы относятся к числу наиболее тяжелых форм патологий глаза. Статистика на сегодняшний день указывает на то, что 1/3 людей всей планеты имеют проблемы со зрением именно из-за нарушения кровообращения. В связи с этим является актуальным разработать метод доплерографии кровеносных сосудов в мягких биологических тканях на основе спектральной оптической когерентной томографии [1 – 4].

Целью данной работы является разработка алгоритма (рис. 1) доплеровского картирования кровеносных сосудов в мягких биотканях с повышенным пространственным разрешением и повышенной детализацией.

Согласно приведенному выше алгоритму (рис. 1), первоначально вводятся данные для обработки и управляющие параметры.

В качестве исходных данных используется пара ОКТ-сканов, полученных под одним и тем же углом сканирования, через равные короткие промежутки времени и принадлежат одному исследуемому участку. Полученные во время эксперимента изображения подвергаются предварительной обработке, которая включает в себя полосовую фильтрацию, пороговое ограничение и контрастирование. Далее проводится оценка местоположения кровеносных сосудов посредством оценки дисперсии спеклов как в пределах одного изображения, так и между последовательными изображениями. Анализ проводится согласно (1):



**Рис. 1. Алгоритм обработки ОКТ-сигналов**

$$SV_{f_i, f_j, f_k} = \frac{1}{Fr} \sum_{f_i=1}^{Fr} \left( I_{f_i, f_j, f_k} - \frac{1}{Fr} \sum_{f_i=1}^{Fr} I_{f_i, f_j, f_k} \right)^2, \quad (1)$$

где  $Fr$  – количество анализируемых сканов;  $f_i, f_j, f_k$  – соответственно, индекс скана и две координаты пикселя в нем.

Изображение, полученное после оценки дисперсии спеклов, обрабатывается с помощью медианного фильтра. Это обеспечивает сглаживание результирующего изображения. Последний этап алгоритма – визуализация изображений, полученных на разных стадиях обработки.

Таким образом, разработан алгоритм доплеровского картирования в спектральной ОКТ, потенциально пригодный для широкого применения в реальной клинической практике, в первую очередь, в офтальмологии.

### **Библиографический список**

1. Фролова, Т. А. Information Models of a Medical Device for Itsevaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

2. Potlov, A. Yu. Visualization of Anatomical Structures of Biological Tissues by Optical Coherence Tomography with Digital Processing of Morphological Data / A. Yu. Potlov, S. V. Frolov, S. G. Proskurin // Biomedical Engineering. – 2020. – Vol. 54(1). – Pp. 9 – 13.

3. Proskurin, S. G. One Specific Velocity Color Mapping Using Optical Coherence Tomography / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // Journal of Biomedical Optics. – 2015. – Vol. 20(5), No. 051034.

4. Proskurin, S. G. Specific Features of Diffuse Photon Migration in Highly Scattering Media with Optical Properties of Biological Tissues / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // Quantum Electronics. – 2015. – Vol. 45(6). – Pp. 540 – 546.

## **ОСНАЩЕНИЕ КЛИНИКИ АППАРАТНОЙ КОСМЕТОЛОГИИ**

**В. В. Крапивина, Т. А. Фролова**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: krapivina0202@gmail.com)**

Приобретение и установка сложного оборудования, аппаратуры и многочисленных инструментов, организация рабочего места врача косметолога – вот что понимается под оснащением клиники аппаратной косметологии. Выбор косметологического оборудования – сложная задача, при решении которой надо обращаться к потребностям здравоохранения [1, 5].

Целью работы является оценка себестоимости оснащения клиники аппаратных методов лечения в соответствии с приказом Минздравсоцразвития РФ от 18 апреля 2012 г. № 381н «Об организации деятельности кабинета аппаратных методов лечения в косметологии». Он включает в себя следующие наименования (табл. 1).

## 1. Стандарт оснащения

№	Наименование оснащения (оборудования)	Требуемое количество, шт.
1	Мебель медицинская	1 комплект
2	Стерилизатор ультрафиолетовый (кварцевый)	1
3	Облучатель – рециркулятор воздуха ультрафиолетовый	1
4	Аппарат лазерный терапевтический	1
5	Аппарат для фонофореза	1
6	Аппарат для электромиостимуляции	1
7	Аппарат для микротоковой терапии	1
8	Аппарат для радиочастотного воздействия	1
9	Аппарат для ультрафиолетового облучения тканей	1
10	Аппарат для дарсонвализации	1
11	Аппарат для магнитотерапии	1

В ходе работы был проведен анализ рынка медицинской техники каждого вида оборудования для выбора основных производителей, составлены технические задания и на основе анализа и проведен обоснованный выбор оборудования конкретного производителя.

При оценке стоимости оснащения клиники аппаратных методов лечения, использовались современные инновационные технологии.

Для оснащения клиники было выбрано оборудование, представленное в табл. 2.

Затраты на оснащение клиники аппаратной косметологии составят не менее 1 123 000 рублей.

Практическая значимость результатов исследования обусловлена тем, что рекомендации, разработанные в ходе выполнения работы, могут быть использованы центрами эстетической медицины России для повышения эффективности продвижения предоставляемых ими услуг.

## 2. Перечень оснащения клиники аппаратной косметологии

№	Наименование оснащения (оборудования)	Требуемое количество, шт.	Стоимость, р.
1	Стерилизатор ультрафиолетовый (кварцевый)	1	14 000
2	Облучатель – рециркулятор воздуха ультрафиолетовый РБ-06-Я ФП	1	19 000
3	Аппарат лазерный терапевтический «Лазмик»	1	50 000
4	Аппарат для фонофореза «SONOPULSE»	1	60 000
5	Аппарат для электромиостимуляции «ЭСМА 12.20 Комби»	1	80 000
6	Аппарат для микротоковой терапии «Ready Skin»	1	47 000
7	Аппарат для радиочастотного воздействия «Syneron eMatrix»	1	570 000
8	Аппарат для ультрафиолетового облучения тканей «Катунь»	1	3000
9	Аппарат для дарсонвализации «НовоанЭМА Искра»	1	100 000
10	Аппарат для магнитотерапии»EASY Bed»	1	180 000

### Библиографический список

1. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

2. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / С. В. Фролов, С. Н. Маковеев, С. В. Семенова, С. Г. Фареа // Вестник ТГТУ. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 266 – 272.

3. Потлов, А. Ю. Визуализация анатомических структур биологических тканей посредством оптической когерентной томографии с морфологической обработкой данных / А. Ю. Потлов, С. В. Фролов, С. Г. Проскурин // Медицинская техника. – 2020. – № 1. – С. 7 – 9.

4. An Approach for Patient-Specific Hemodynamics Modeling Taking into Account Biomechanical Properties of the Cerebral Artery / S. V. Frolov, S. V. Sindeev, A. Yu. Potlov, D. Liepsch // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2018. – № 5. – С. 26 – 29.

5. Фролов, С. В. Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАИКАНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ФРАГМЕНТА ЗАПИСИ ГОЛОСА**

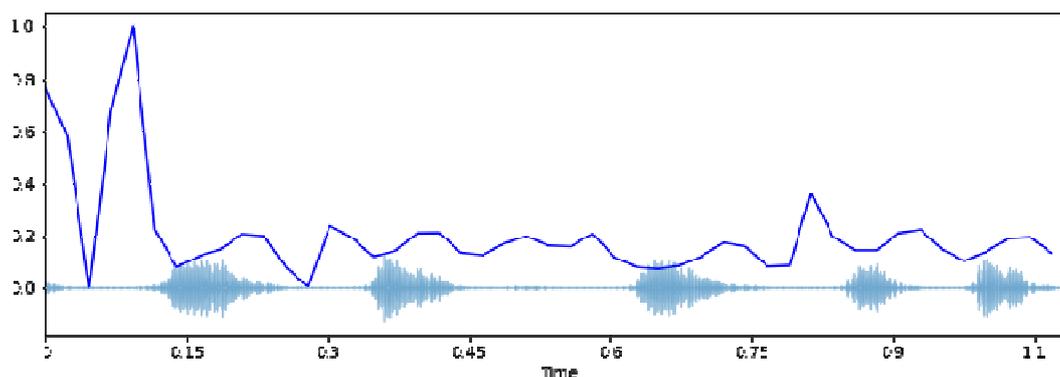
**А. В. Медведева, А. А. Нечай, В. В. Леонов**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: schiki666@mail.ru)**

Применение нейронных сетей [1 – 5] для анализа аудиоданных позволит в дальнейшем создать систему быстрого восстановления темпо-ритмической организации в записях голоса, содержащих фрагменты с заиканием. Важным шагом в определении наличия/отсутствия заикания является проведение глубокого исследования поступающих данных.

Для анализа были использованы аудиофрагменты, длительность которых составляет не более 5 с. Созданная на языке программирования Python нейросеть действует по четкому алгоритму.

Первым шагом является составление первичного массива графика аудио и извлечение характеристик из аудиосигнала. Наибольший интерес представляют: спектральный центроид и цветность. На рисунке 1 представлен спектральный центроид для каждого кадра в обработанном сигнале. Он указывает, где располагается «центр масс» для звука (на какой частоте сосредоточена энергия напряжения).



**Рис. 1. График аудиофайла и спектральный центроид**

Можно заметить, что на построенном спектральном центроиде имеются повторяющиеся фрагменты, которые характерны для участков звукового сигнала, содержащих заикание. По длительности участков с наличием и отсутствием амплитудно-частотного спектра голоса можно сделать вывод о том, что в обрабатываемой дорожке присутствует клоническая форма заикания.

Цветность или вектор цветности представляет собой вектор признаков, включающий двенадцать элементов с указанным количеством энергии для каждого высотного класса.

На основе проведенного анализа созданная нейросеть способна определить наличие заикания и его тип.

### **Библиографический список**

1. Monte Carlo Simulation of a Biological Object with Optical Coherent Tomography Structural Images Using a Voxel-Based Geometry of a Medium / S. V. Frolov, A. Yu. Potlov, D. A. Petrov, S. G. Proskurin // Quantum Electronics. – 2017. – Vol. 47 (4). – Pp. 347 – 354.

2. Выявление локальных особенностей сигнала электроэнцефалографа с использованием искусственной нейронной сети / Д. Е. Судаков, П. С. Ш. Матя, В. М. Д. К. Фуши, С. В. Фролов // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 7. – С. 230 – 237.

3. Применение бионического подхода при синтезе систем управления многомерными объектами высокой размерности / С. В. Фролов, А. А. Коробов, А. Ю. Потлов, Т. А. Фролова // Математические методы в технологиях и технике. – 2021. – № 6. – С. 67 – 70.

4. Градиентный метод нейросетевого управления многосвязными нелинейными нестационарными стохастическими системами / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, А. А. Коробов, К. С. Савинова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 5. – С. 41 – 48.

5. Модель сердечно-сосудистой системы с регуляцией на основе нейронной сети / С. В. Фролов, А. А. Коробов, Д. Ш. Газизова, А. Ю. Потлов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2021. – № 2(38). – С. 79 – 94.

# МЕДИАННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В ЦЕЛЯХ ПОДАВЛЕНИЯ МЕЛКИХ ТОЧЕЧНЫХ ПОМЕХ НА РЕНТГЕНОВСКОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

А. В. Милютин

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов

(e-mail: milyutin1998@mail.ru)

Медианная фильтрация является довольно распространенным методом предварительной обработки сигналов. Медианный фильтр характеризуется немоноктонной составляющей набора чисел в окне фильтра (отверстии), с селективностью к элементам массива, выделяющегося на фоне соседних отсчетов (рис. 1). Эта функция позволяет медианным фильтрам с оптимально подобранными апертурами, например, сохранять резкие края объектов без искажений и эффективно подавлять некоррелированные или слабокоррелированные шумы и мелкие детали. Можно использовать это свойство, чтобы применить медианную фильтрацию, чтобы устранить выбросы в массиве данных и уменьшить выбросы и импульсный шум.

Особенностью медианного фильтра является его нелинейность (рис. 2). Использование медианного фильтра более эффективно, чем линейный фильтр, поскольку процедуры линейной обработки часто лучше всего подходят для однородности шума или распределения по Гауссу. Это может быть не так с реальным сигналом.

Если разница значений сигналов велика по сравнению с дисперсией аддитивного белого шума, медианный фильтр имеет меньшую среднеквадратичную ошибку по сравнению с оптимальным линейным фильтром. Медианные фильтры особенно полезны для удаления сигналов из импульсного шума, акустических сигналов, передачи кодового сигнала во время обработки изображения. Однако очень редко исследуются характеристики медианных фильтров как средства фильтрации различных типов сигналов.

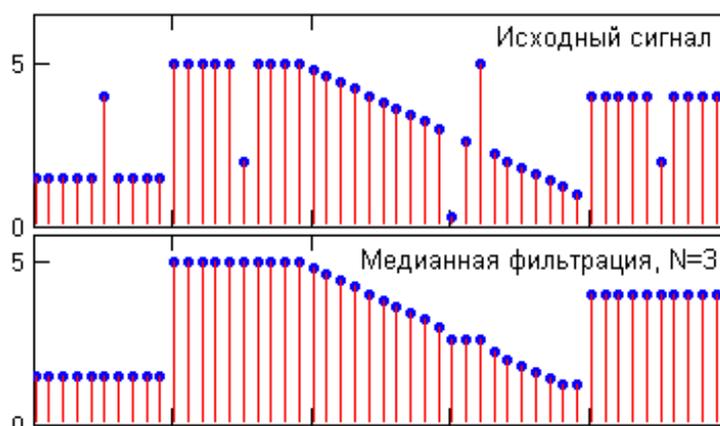
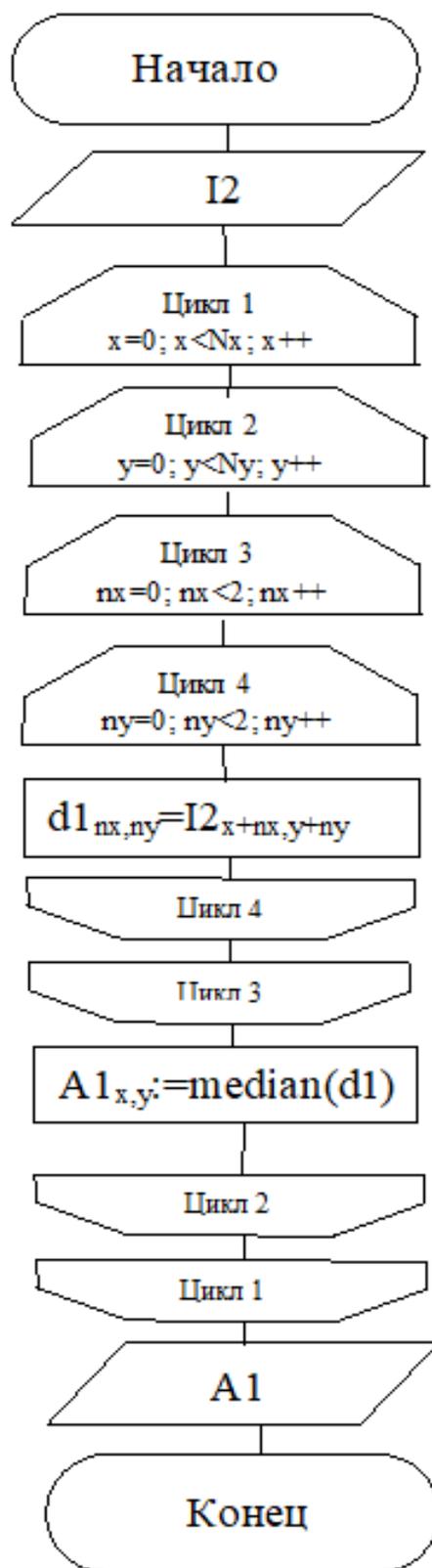


Рис. 1. Пример медианной фильтрации



**Рис. 2. Алгоритм медианной фильтрации**

Результаты исследований [1, 2] по фильтрации артефактов и шумов на рентгеновском изображении показали высокую эффективность применения комбинированных фильтров, основанных на нелинейных методах фильтрации, медианном и высокочастотном фильтре.

## Библиографический список

1. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4, Т. 3. – С. 123 – 128.

2. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНОГО ШУМОПОДАВЛЕНИЯ В СЛУХОВЫХ АППАРАТАХ ВОЗДУШНОЙ ПРОВОДИМОСТИ

**А. А. Нечай, А. В. Медведева, В. В. Леонов**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

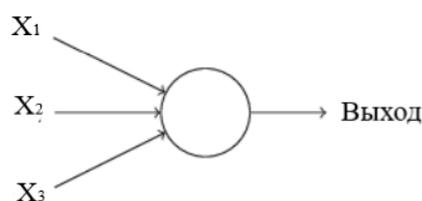
(e-mail: [nechai2212@gmail.com](mailto:nechai2212@gmail.com))

Система адаптивного шумоподавления функционирует на основании трех микрофонов, снимающих звуковые потоки, содержащие шум, голос говорящего и их сочетание в различных пропорциях в зависимости от расположения относительно источника обрабатываемого звукового сигнала. Полученные потоки информации интерпретируются нейросетью следующим образом: микрофон «голос» и микрофон «шум» являются источниками входных данных для принятия решения, а непосредственная обработка ведется с сигналом с микрофона «голос и шум».

Нейросеть включает в себя искусственные нейроны, имеющие несколько входов и один выход, как показано на рис. 1.

Входные данные представляют собой двоичный код, имеющий собственный вес (вещественное число, выражающее важность соответствующих входных чисел для результата).

Для решения поставленной в рамках исследования задачи лучше использовать сигмоидный нейрон [1 – 4], так как вместо нуля или единицы входные данные могут иметь любое значение в промежутке от 0 до 1. Представленное



**Рис. 1. Искусственный нейрон**

решение позволяет более точно оценивать поступающие в систему данные. В их роли могут выступать: уровень громкости, наличие циклически повторяющихся амплитудо-частотных сегментов, центр масс сигнала и т.д. Чем больше характеристик входных данных будут подвергаться оценке, тем выше точность определения класса сигнала.

Для принятия столь сложного решения необходимо построить сложную сеть искусственных нейронов.

Первый слой I искусственных нейронов отвечает за принятие трех простых решений, взвешивая входные данные. Второй слой II принимает более сложные решения, анализируя результаты первого слоя. Соответственно, чем многослойнее сеть нейронов, тем более сложные решения они могут обрабатывать.

### **Библиографический список**

1. Monte Carlo Simulation of a Biological Object with Optical Coherent Tomography Structural Images using a Voxel-Based Geometry of a Medium / S. V. Frolov, A. Yu. Potlov, D. A. Petrov, S. G. Proskurin // Quantum Electronics. – 2017. – Vol. 47(4). – Pp. 347 – 354.

2. Выявление локальных особенностей сигнала электроэнцефалографа с использованием искусственной нейронной сети / Д. Е. Судаков, П. С. Ш. Матя, В. М. Д. К. Фуши, С. В. Фролов // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 7.– С. 230 – 237.

3. Применение бионического подхода при синтезе систем управления многомерными объектами высокой размерности / С. В. Фролов, А. А. Коробов, А. Ю. Потлов, Т. А. Фролова // Математические методы в технологиях и технике. – 2021. – № 6. – С. 67 – 70.

4. Градиентный метод нейросетевого управления многосвязными нелинейными нестационарными стохастическими системами / С. В. Фролов, А. Ю. Потлов, А. А. Коробов, К. С. Савинова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 5. – С. 41 – 48.

5. Модель сердечно-сосудистой системы с регуляцией на основе нейронной сети / С. В. Фролов, А. А. Коробов, Д. Ш. Газизова, А. Ю. Потлов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2021. – № 2(38). – С. 79 – 94.

# УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ СУСТАВОВ

И. А. Попов, В. М. Строев, Т. К. Гончарова

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: popovigor99@mail.ru)

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемой работе является устройство диагностики воспалительных заболеваний костей и суставов (Патент РФ RU 2 574 141 C1 МПК А61В5/01 от 10.02.2016 г.; Бюл. № 4), содержащее тепломеры 1 и 2, усилитель 3, компаратор 4, светодиод 5, расположенный на тепломере 2, блок обработки и регистрации (БОР) 6. Выход тепломера 1, установленного на здоровом участке тела, подключен к входу усилителя 3, выход которого связан с первым входом компаратора 4, второй вход которого соединен с выходом тепломера 2, установленного на больном участке тела. Выход компаратора 4 соединен светодиодом, оптически связанным с блоком обработки и регистрации 6.

Недостаток данного устройства – большое время, необходимое для диагностики воспалительных заболеваний костей и суставов.

Реализация подобного устройства с помощью ИК-датчиков температуры затруднена из-за различной степени нагрева участков кожи при разной температуре окружающей среды. Это наглядно видно на примере использования входных потоковых измерителей температуры, которые в холодное время могут показать температуру тела человека 32°. Такая температура не может быть у живого человека.

Поэтому предлагается использовать принцип тепломеров, которые учитывают температуру окружающей среды.

Техническим результатом полезной модели является уменьшение времени, затраченного на диагностику воспалительных заболеваний костей и суставов за счет замены тепломеров на ИК-датчики температуры, а также повышение точности измерения температуры.

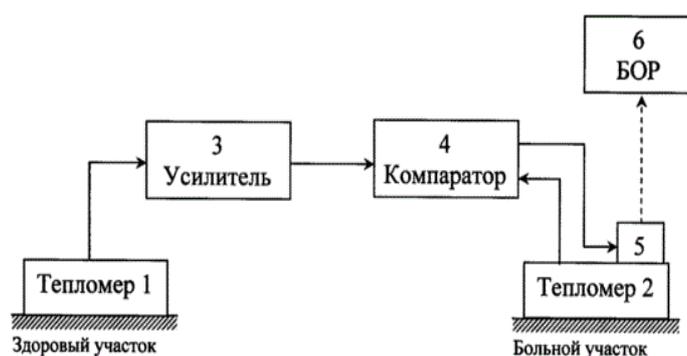


Рис. 1. Схема реализации способа

Реализация устройства для диагностики воспалительных заболеваний костей и суставов предполагает замену тепломеров на ИК-датчики температуры. Из [1] известно, что тепловой поток

$$PT = k(T_{\text{пов}} - T_{\text{возд}}), \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $T_{\text{пов}}$  – температура поверхности;  $T_{\text{возд}}$  – температура воздуха.

Для реализации способа диагностики воспалительных заболеваний костей и суставов необходимо, чтобы выполнялось условие

$$PT2 > 1,18PT1, \quad (2)$$

где  $PT2$  – значение теплового потока от обследуемого участка;  $PT1$  – значение теплового потока от здорового участка.

Подставим выражение (1) в выражение (2). Получим

$$k(T_{\text{пов}2} - T_{\text{возд}2}) > k(T_{\text{пов}1} - T_{\text{возд}1})1,18,$$

отсюда

$$T_{\text{пов}2} > T_{\text{пов}1} \times 1,18 - T_{\text{возд}1} \times 1,18 + T_{\text{возд}2}. \quad (3)$$

Выражение (3) показывает условие реализации способа диагностики воспалительных заболеваний костей и суставов на основе ИК-датчиков температуры, учитывающие температуру воздуха.

### **Библиографический список**

1. Патент на изобретение RU 2574141 С1. Способ диагностики воспалительных заболеваний костей и суставов / Строев В. М., Фесенко А. И. ; заявка № 2014130400/14 от 22.07.2014 ; опубл. 10.02.2016 ; Бюл. № 4.

## **ОБРАБОТКА И ДЕЗИНФЕКЦИЯ ДАТЧИКОВ УЗИ**

**Э. К. В. Сакоссенге**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**

**(e-mail: eduardosacossengue1995@pmail.com)**

УЗИ-датчик – это самый главный элемент ультразвукового аппарата, считается одним из важнейших элементов УЗИ-аппарата, это устройство, генерирующее ультразвуковые волны [1 – 6].

Процесс обработки ультразвукового датчика является очень важной процедурой в настоящее время, потому что ультразвуковые датчики являются од-

ним из наиболее распространенных источников внутрибольничных инфекционных заболеваний, поэтому их безопасная обработка, особенно с помощью стерилизующего устройства, является одной из важных процедур при обследовании пациента, обеспечивающих качественную обработку без отсоединения от аппарата УЗИ.

Стерилизатор – это устройство, которое используется для стерилизации внешних и внутренних частей ультразвуковых датчиков.

Процесс обработки УЗИ-датчиков со стерилизатором Trophon представлен на (рис. 1).

Trophon EPR объединяет в себе щадящую химическую обработку перекисью водорода в газообразном виде и низкотемпературную термическую обработку. Процесс стерилизации датчиков с помощью устройства Trophon EPR происходит автоматизированным и закрытым способом, что является гарантией для всех пользователей.

Процесс стерилизации с использованием этого стерилизационного устройства очень простой, что делает его более легким во время использования, процесс состоит из трех этапов: загрузить предварительно очищенный датчик, нажать кнопку старт, по завершении операции извлечь датчик.

В настоящее время процесс стерилизации с использованием стерилизующих устройств очень важен, так как он имеет много преимуществ, таких как: совместимость практически со всеми ультразвуковыми преобразователями, большую безопасность и надежность, малое время дезинфекции, т.е. меньше или равно 7 мин, он не выделяет вредных веществ, что уже очень ценно с точки зрения экологии, простоту в использовании, полную автоматизацию, замену картриджа – быстрый, чистый и простой процесс, аппарат имеет небольшие размеры, что позволяет разместить его даже в небольшом кабинете для проведения УЗИ или даже на стене, если нет места.

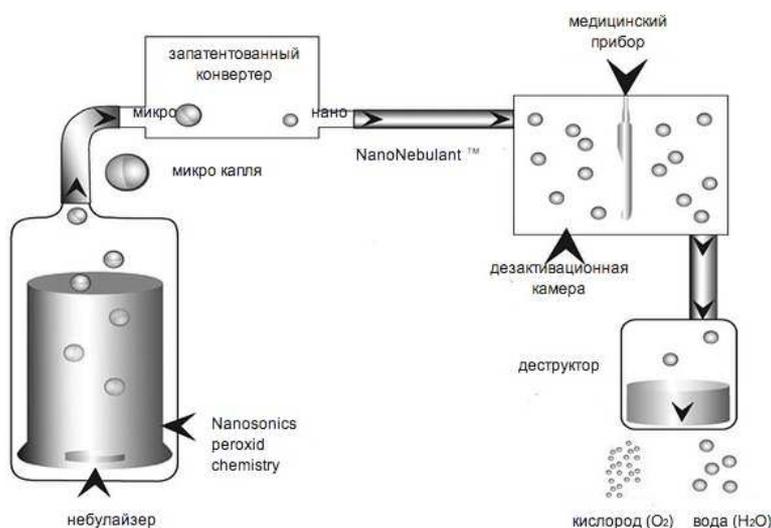


Рис. 1. Процесс обработки Trophon

## Библиографический список

1. Frolov, S. V. Automated Information System for Monitoring Health of Schoolchildren / S. V. Frolov, M. A. Lyadov, S. A. Loskutov // Biomedical Engineering. – 2015. – Vol. 49(1). – Pp. 1 – 6.
2. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.
3. Фролов, С. В. Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Менеджер здравоохранения. – 2013. – № 11. – С. 50 – 61.
4. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 553 – 561.
5. Фролова, Т. А. Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник ТГТУ. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.
6. Potlov, A. Yu. Three-Dimensional Representation of Late Arriving Photons for the Detection of Inhomogeneous in Diffuse Optical Tomography / A. Yu. Potlov, S. G. Proskurin, S. V. Frolov // Quantum Electronics. – 2014. – Vol. 44(2). – Pp. 174 – 181.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ ЭМГ-СИГНАЛА

**Н. А. Скворцов**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(nikola-2552@mail.ru)

Одной из наиболее острых медико-социальных проблем является инвалидность. Ежегодно во всем мире признается большой процент людей с инвалидностью, у большей половины которых ампутированы конечности. Только в России – свыше 1 млн. человек. К причинам, приводящим к ампутации различных конечностей, относят военные конфликты, дорожно-транспортные и производственные травмы, стихийные бедствия и техногенные катастрофы, а также такие заболевания, как облитерирующие поражения сосудов, атеросклероз и сахарный диабет. Ранние изобретения в области протезирования имели такие проблемы, как отсутствие авторегулирования, негибкость, недолговечность.

Также проблемой механических протезов было отсутствие какой-либо связи с организмом.

В последние годы в сфере протезирования появилось такое направление, как «биомехатроника», которое представляет собой соединение робототехники и нервных клеток человека.

Современные биоэлектрические протезы обычно управляются одним из трех основных методов управления: нейрокомпьютерный, нейроэлектрический, электромиографический (миоэлектрический) [1 – 6].

Главными плюсами электромиографического метода управления является его неинвазивность и простота организации управления протезом.

Результат работы протезов с таким методом управления напрямую зависит от нескольких факторов: от количества информативных площадей, от расположения электродов на информативной поверхности, изменения положения электродов в процессе эксплуатации. Основным условием для использования протезов с электромиографическим методом управления является сохранность активности и целостности мышечного волокна, отвечающего за управление отсутствующей конечности.

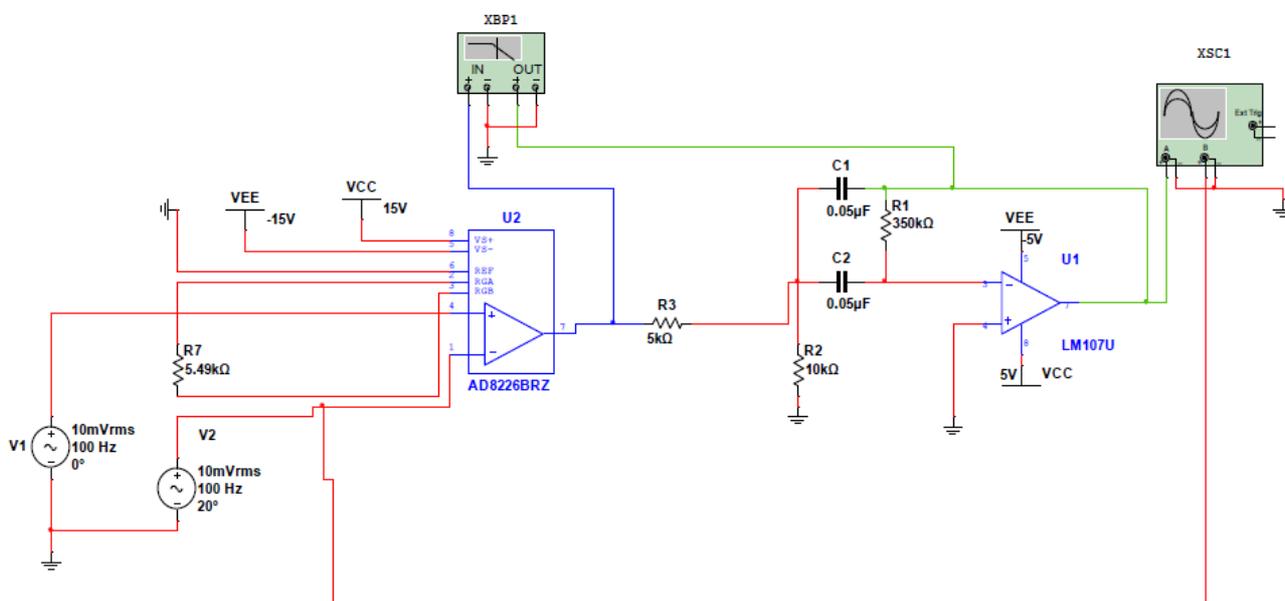


Рис. 1. Компьютерная модель устройства обработки ЭМГ-сигнала

### Библиографический список

1. Proskurin, S. G. Detection of an Absorbing Heterogeneity in a Biological Object During Recording of Scattered Photons / S. G. Proskurin, A. Yu. Potlov, S. V. Frolov // Biomedical Engineering. – 2013. – Vol. 46(6). – Pp. 219 – 223.

2. Фролова, Т. А. Информационные модели для оценки медицинского устройства / Т. А. Фролова, М. С. Фролова // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. – Вып. 4, Т. 3 / под общ. ред. В. А. Немтинова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – С. 123 – 128.

3. Фролова, Т. А. Information Models of a Medical Device for its Evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

4. Фролова, М. С. Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 4(58). – С. 139 – 145.

5. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

6. Фролова, М. С. Системы поддержки принятия решений для задач оснащения лечебных учреждений медицинской техникой / М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – Специальный выпуск № 52. – С. 106 – 111.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АППАРАТОВ ДЛЯ НИЗКОЧАСТНОЙ МАГНИТОТЕРАПИИ**

**А. В. Гришина**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: [alinkagri2002@gmail.com](mailto:alinkagri2002@gmail.com))

Магнитотерапия – лечение, основанное на влиянии магнитного переменного поля низкой частоты на человеческий организм в целом либо отдельную его часть. Такое воздействие не намагничивает ткани пациента, но позволяет передавать магнитные свойства таким компонентам, как элементы крови и вода. Глубина проникновения магнитного поля около 5 см.

Магнитные поля по направлению силовых линий могут быть постоянными и переменными и генерироваться в непрерывном или в прерывистым (импульсном) режимах с различной частотой, формой и длительностью импульсов. Магнитное поле, возникающее между северным и южным полюсами магнита, может быть однородным и неоднородным. Магнитотерапия помогает снизить воспаления и зуд, отеки, улучшить кровоснабжение и регенерацию тканей.



Рис. 1. Аппарат «Полюс-2»



Рис. 2. Аппарат «АЛМАГ Плюс»

Благодаря возможности передвижения аппарат магнитотерапии «Полюс-2» можно использовать не только в физиотерапевтических кабинетах, но и в палатах лечебно-профилактических учреждений прямо у кровати больного для лечебного воздействия низкочастотным магнитным полем на любые участки тела пациента (рис. 1). Применяется при ишемической болезни сердца, гипертонической болезни, заболеваниях органов дыхания и пищеварения, периферических сосудов, опорно-двигательного аппарата (в том числе остеохондроз), периферической и центральной нервной системы, мочевыводящей и половой систем.

Низкочастотное магнитное поле улучшает кровоснабжение тканей, ускоряет васкуляризацию, эпителизацию язвенных поверхностей, заживление ран, репаративную регенерацию. Эффективное средство против зуда, отеков, различных воспалений, а также для улучшения трофики.

В настоящее время на рынке существует около 15 видов аппаратов, но бóльшим спросом пользуется «АЛМАГ Плюс» (рис. 2).

Аппарат магнитотерапевтический АЛМАГ Плюс (Еламед) – это современный отечественный аппарат магнитотерапии. Подходит для применения как дома, так и в различных лечебных учреждениях.

Подходит для лечения широкого спектра заболеваний: травмы, переломы, различные виды искривления позвоночника, подагра, ушибы, заболевания суставов, межпозвоночные грыжи и пр.

По техническим характеристикам значительно превосходит своего предка «Полюс-2».

## 1. Технические характеристики Алмаг Плюс

Характеристики	Параметры
Магнитное поле (МП)	Бегущее и неподвижное
Амплитуда индукции при бегущем МП, мТл	Главный режим – $20\pm 6$ ; сниженный – $8\pm 2$
Частота генерации импульса при бегущем МП, Гц	6,25
Амплитуда индукции при неподвижном МП, мТл	$6\pm 2$
Частота генерации импульса при неподвижном МП, Гц	100
Электропитание	Сетевое, 220 В с частотой 54 Гц
Мощность, Вт	110
Кабель питания от блока до активных элементов, м	1,2
Длина шнура питания, м	2
Общая масса, кг	Не более 0,8

### Библиографический список

1. Применение бионического подхода при синтезе систем управления многомерными объектами высокой размерности / С. В. Фролов, А. А. Коробов, А. Ю. Потлов, Т. А. Фролова // Математические методы в технологиях и технике. – 2021. – № 6. – С. 67 – 70.

2. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19(3). – С. 553 – 561.

3. Фролов, С. В. Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2. – С. 112 – 117.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ИНСУЛЬТОВ

Д. Е. Судаков, К. С. Савинова

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: sudakov.dima1702@yandex.ru; savinova.k94@mail.ru)

Ишемический инсульт – это поражение ткани головного мозга в результате недостаточного снабжения головного мозга кровью и кислородом вследствие закупорки сосудов, по причине, например, тромбоза. Помимо закупорки, причиной инсульта может являться кровоизлияние при разрыве мозгового сосуда с пропитыванием излившейся кровью части мозгового вещества.

Основным методом диагностики инсультов является компьютерная томография, как правило, с контрастом, либо магнитно-резонансная томография головного мозга. Однако есть все предпосылки для использования более простого и доступного метода диагностики, а именно электроэнцефалографии (ЭЭГ).

При тромбозах и стенозах с возможными проявлениями в виде парезов, перемежающейся слепоты и афазии на ЭЭГ отражаются низкочастотными колебаниями  $\theta$ -ритма, который в норме появляется во время неглубокого сна, и  $\delta$ -ритма, который обнаруживается во всех зонах мозга, во время глубокого сна. При острой фазе эти ритмы наблюдаются локально, соответствуя зоне ишемии. Особый диагностический интерес представляет выявленная тесная корреляция между объемом кровотока в бассейне пораженного сосуда, измеренным ангиографически, и средней частотой ритмической активности в этой области.

При ишемических изменениях в бассейне вертебробазилярных сосудов наблюдается картина генерализованных билатерально-синхронных медленных волн или иногда явления десинхронизации с диффузной  $\beta$ -активностью, соответствующие поражению стволовых неспецифических ретикулярных систем мозга.

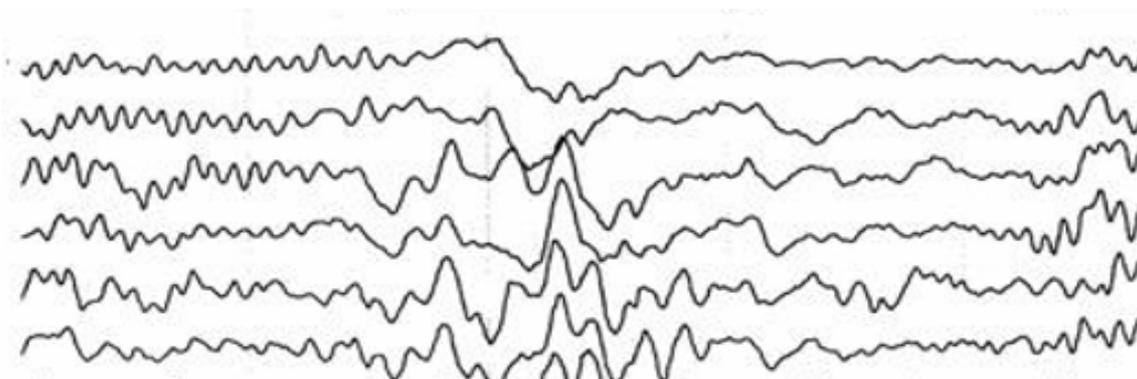


Рис. 1. Вспышка медленных волн на ЭЭГ

ЭЭГ с проведением функциональной компрессионной пробы оказывает значительную помощь в диагностике поражений магистральных артерий головного мозга и в оценке коллатерального кровообращения. В виде функциональных проб рекомендуются приемы, вызывающие временное ограничение притока крови в магистральные сосуды мозга (проба Матаса). При окклюзии внутренней сонной артерии компрессия гомолатеральной общей сонной артерии вызывает снижение кровотока по глазничному анастомозу (ГА), а при компрессии контрлатеральной – ограничение кровотока по передней соединительной артерии (ПСА).

Отклонение ЭЭГ при инсультах является значительным, но не ярко выраженным, если не искать специально, то можно упустить изменения. Для выявления таких отклонений целесообразно применять искусственные нейронные сети. Однако для их обучения необходимо большое количество сингалов ЭЭГ с отклонениями от нормы. Часть таких сигналов можно получить с достаточной точностью, если использовать математические модели мезоскопической активности кортекса. Такие модели отталкиваются от принципов усреднения свойств групп нейронов. А так как электроэнцефалограф регистрирует суммарную активность нейронов головного мозга – это позволяет таким моделям быть с ним в одинаковом пространстве и получать модели, близкие к реальным сигналам ЭЭГ.

### **Библиографический список**

1. Судаков, Д. Е. Модель электронного глаза человека с использованием искусственной нейронной сети / Д. Е. Судаков, В. В. Дубровин // Энергосбережение и эффективность в технических системах. – 2016. – С. 521–522.
2. Фролова, М. С. Информационная модель медицинской техники на основе объектно-ориентированного подхода / М. С. Фролова, Т. А. Фролова, И. А. Толстухин // Вопросы современной науки и практики. – 2015. – № 4. – С. 139 – 145.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРСТИК ЖЕЛЧИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПЕЧЕНИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЖЕЛТУХЕ**

**К. Ю. Кандурова, Е. В. Потапова**  
**Орловский государственный университет**  
**имени И. С. Тургенева, Россия, Орел**

(e-mail: kandkseniya@gmail.com; potapova\_ev\_ogu@mail.ru)

В настоящее время своевременное определение и прогнозирование развития печеночной недостаточности занимают важное место в проблеме улучше-

ния результатов лечения больных с обструкцией желчевыводящих путей. Нарушение проходимости желчевыводящих путей является причиной развития тяжелых нарушений функции печени и всего организма [1], и именно, печеночная недостаточность как одно из самых частых осложнений, является основной причиной летального исхода при механической желтухе.

Четкое представление и понимание происходящих в печени структурно-функциональных изменений является залогом успеха терапии. Современная оценка функционального состояния печени при диагностике базируется на косвенных данных экспериментальных, биохимических и инструментальных исследований, дополненных клиническими наблюдениями. Представляет интерес разработка и внедрение новых диагностических технологий для оценки функционального состояния печени при проведении билиарной декомпрессии. Для решения данной задачи представляется возможным внедрение относительно простых, быстрых и доступных методов оптической диагностики.

Целью работы явилось *in vitro* исследование оптических характеристик образцов желчи из разных долей печени пациента с механической желтухой злокачественной этиологии.

Исследование было одобрено Этическим комитетом Орловского государственного университета (протокол заседания № 14 от 24.01.2019). Для измерений рассматривался случай пациентки (возраст 64 года) с диагностированной опухолью Клацкина, которая образуется в месте слияния правого и левого желчных протоков и блокирует желчевыводящие пути в воротах печени. Забор желчи осуществлялся отдельно из желчевыводящих систем правой и левой долей печени при проведении чрескожно-чреспеченочной пункционной холангиографии под ультразвуковым и рентгенологическим контролем. Исследования проводились в тот же день не позднее 5 ч после получения. Спектральные характеристики образцов желчи измеряли на спектрофотометре Shimadzu UV-2600 с интегрирующей сферой ISR-2600Plus (Shimadzu Corporation, Япония) в диапазоне 220...1400 нм. Результаты измерений были использованы для расчета коэффициента поглощения методом обратного добавления-удвоения [2].

При визуальном осмотре желчь, полученная из правого протока, имела характерный коричнево-зеленый цвет, тогда как жидкость левого протока была не окрашена и почти прозрачна. Это различие обуславливает значительное снижение пропускания и отражения света в видимом диапазоне от образца желчи из правого протока и, соответственно, повышение коэффициента поглощения в полосе 350...500 нм, характерной для пигмента желчи билирубина. В ближнем инфракрасном диапазоне, где основной вклад в оптические характеристики вносят липиды и вода, отличия не наблюдаются. Причиной различий

в результатах из-за отличий химического состава желчи могут быть разные размеры долей, объем протоков в них, степень блокады, функциональное состояние доли каждой печени. В ходе лечения отмечалось изменение цвета желчи в разных протоках и, соответственно, ее состава и оптических свойств в сторону исчезновения наблюдаемых ранее различий.

Таким образом, предлагаемый подход демонстрирует перспективность для получения новых знаний об оптических свойствах желчи, так и для разработки диагностических критериев в целях их дальнейшего применения, в том числе, для *in vivo* диагностики степени печеночной недостаточности.

### **Библиографический список**

1. Гальперин, Э. И. Механическая желтуха: состояние «мнимой стабильности», последствия «второго удара», принципы лечения / Э. И. Гальперин // *Анналы хирургической гепатологии*. – 2011. – Т. 16, № 3. – С. 16 – 25.

2. Prahl, S. A. Determining the Optical Properties of Turbid Media by Using the Adding-Doubling Method / S. A. Prahl, M. J. C. van Gemert, A. J. Welch // *Applied Optics*. – 1993. – Vol. 32, No. 4. – Pp. 559 – 568.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда  
проект № 21-15-00325*

## **ОПТИМАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО КАБИНЕТА ЛЕЧЕБНОЙ ФИЗКУЛЬТУРЫ**

**А. Д. Мелехина**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: [nastya.teslenko.99@list.ru](mailto:nastya.teslenko.99@list.ru))

Оснащение кабинета лечебной физкультуры является сложным и трудоемким процессом. Кабинет лечебной физкультуры должен включать в себя технические средства, которые будут соответствовать потребностям современного уровня медицины [1].

Стандарт оснащения кабинета лечебной физкультуры в соответствии с приказом Минздравсоцразвития РФ от 01.12.2005 № 753 «Об оснащении диагностическим оборудованием амбулаторно-поликлинических и стационарно-поликлинических учреждений муниципальных образований» включает в себя следующие наименования: аппарат для вибрационного массажа, велоэргометр, весы медицинские с ростомером, динамометр ручной и становой, измеритель артериального давления, метроном, механоаппараты блочные, механоаппараты

для лечения суставно-мышечной патологии, облучатель бактерицидный, пульсоксиметр, спирометр, угломер для определения подвижности суставов конечностей и пальцев, устройство тракционное аутогравитационное.

Мировая медицина каждый год совершенствует методы реабилитации. Над разработками трудятся команды ведущих специалистов, которые имеют большой опыт в реабилитологии и точно знают, как можно помочь пациенту [2].

Одним из таких инновационных медицинских систем является Habilect – комплекс виртуальной реабилитации и диагностики пациентов с двигательными и когнитивными нарушениями вследствие травм и заболеваний.

Системы Хабилект – это серия инновационных продуктов на базе высокоточных бесконтактных сенсоров (рис. 1). Линейка продуктов позволяет создать 3D-модель пациента и провести исследование движений и центра тяжести, быстро назначить курс ЛФК, помочь и мотивировать в его выполнении.

Комплекс адаптирован, в том числе, под восстановление и диагностику пациентов, после перенесенного COVID-19 и тяжелых форм пневмонии с разработанными практикующими врачами методическими рекомендациями и готовыми протоколами работы.

При помощи Хабилекта возможно проведение стабилметрического тестирования, анализа движений и курса тренировок лечебной физкультуры. Система Хабилект использует биологическую обратную связь (БОС) для повышения мотивации пациента к тренировкам, а также для точного контроля динамики лечения в стационаре и амбулаторно.

Области применения Хабилект:

- неврологическая реабилитация;
- ортопедическая реабилитация;
- спортивная медицина;
- телемедицина (дистанционная реабилитация);
- восстановление когнитивных функций.



Рис. 1. Система Хабилект

На сегодняшний день применение телекоммуникационных, компьютерных технологий [3, 4] позволяет решать многие задачи, связанные с реабилитацией пациентов – это экономит время, силы, средства.

### **Библиографический список**

1. Фролов, С. В. Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений / С. В. Фролов, М. С. Фролова, А. Ю. Потлов // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 35 – 45.

2. Фролов, С. В. Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения / С. В. Фролов, М. С. Фролова // Менеджер здравоохранения. – 2013. – № 11. – С. 50 – 61.

3. Фролова, М. С. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении / М. С. Фролова, С. В. Фролов // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 553 – 561.

4. Фролова, Т. А. Information models of a medical device for its evaluation / Т. А. Фролова, М. С. Фролова, И. А. Толстухин // Вестник ТГТУ. – 2015. – Т. 21, № 4. – С. 587 – 591.

### **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУППЫ КРОВИ**

**А. А. Аристов, Д. С. Серпенев, Ю. А. Розенбаум, Ю. Н. Ворончихина**  
**Национальный исследовательский Томский политехнический**  
**университет, Россия, Томск**

(e-mail: aristov@tpu.ru; dss38@tpu.ru; julia-rozz@mail.ru; ynv3@tpu.ru)

Определение группы крови – необходимое условие перед выполнением гемотрансфузии (переливания крови) и при любой хирургической операции [1].

В медицинских учреждениях используются крупногабаритные анализаторы, способные проводить большое количество анализов. Однако из-за больших размеров и низкой скорости исследования, их невозможно применять в экстренных ситуациях. Таким образом, при определении группы крови экстренно, используется ручной метод. Согласно исследованию [2], вероятность получения ошибочного результата при таком методе составляет 0,41...1,16%. Таким образом, цель данной работы – разработка малогабаритного автоматизированного устройства с высокой скоростью определения группы крови.

В основе определения группы крови лежит реакция агглютинации. Для ускорения данного процесса предлагается использовать вибрационное воздействие. Оценка степени агглютинации будет проводиться с помощью метода капельного фотометрирования, разработанного А. А. Аристовым, Ю. А. Розенбаум и Г. С. Евтушенко [3].

Таким образом, разработанное устройство состоит из двух главных блоков – вибрационной платформы и фотометрической части.

Далее была сконструирована вибрационная платформа, с возможностью регулировки амплитуды, скорости и частоты движения каретки с капельными образцами. На данной вибрационной платформе были проведены предварительные испытания, целью которых являлось определение влияния характеристик вибрационного воздействия на скорость агглютинации капельного образца.

В ходе проведения исследования удалось определить параметры вибрационного воздействия, при которых капельный образец не растекался, а также полностью агглютинировал в течение 60 с.

Таким образом, в результате исследования была подтверждена эффективность оказания вибрационного воздействия для ускорения процесса агглютинации. В дальнейшем на разработанном устройстве планируется провести ряд экспериментальных исследований для выявления наиболее оптимальных режимов вибрационного воздействия на капельный образец крови.

### **Библиографический список**

1. Watkins, W. M. The ABO Blood Group System: Historical Background / W. M. Watkins // Transfusion Medicine. – 2001. – No. 11. – Pp. 243 – 265.
2. Особенности национального определения группы крови / Е. В. Жибурт, А. В. Караваев, Н. Н. Глазов, Е. А. Шестаков // Вестник Росздравнадзора. – 2012. – № 2. – С. 66 – 68.
3. Аристов, А. А. Разработка автоматизированного метода оценки процесса агглютинации эритроцитов для определения группы крови человека / А. А. Аристов, Ю. А. Розенбаум, Г. С. Евтушенко // Медицинская техника. – 2021. – № 5. – С. 19 – 23.

## **ИСТОРИЯ ОСНАЩЕНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКОЙ ЛЕЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ТАМБОВСКОГО РЕГИОНА**

**С. В. Фролов, В. О. Лычагина**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: lychagina1609@rambler.ru)**

Анализируя современное оснащение медицинской техникой лечебных учреждений г. Тамбова, возникает немало вопросов, связанных с историей по-

явления различного медицинского оборудования на службе у тамбовских врачей. В частности, почему одни приборы и медицинские аппараты нашли применение в Тамбове, а другие – нет. Становление базы медицинского оборудования в городе Тамбове можно разделить на пять этапов.

**1 этап (с 1901 по 1921 гг.).** Первым прибором, непосредственно применявшимся в лечебно-оздоровительных процессах, оказался всем хорошо известный прибор – медицинский термометр. О его широком внедрении в медицинскую практику впервые узнали из докладов, сделанных на XI губернском съезде земских врачей, проходившем в декабре 1910 г. Другим значительным фактом, ознаменовавшим собой начало становления базы медицинского оборудования в Тамбове, явилась организация в Тамбовской губернской больнице первого рентгеновского кабинета. Это было в 1913 г. Сам рентгеновский аппарат находился в Тамбове с 1901 г. Применение его носило ограниченный характер, так как отсутствовали специалисты по использованию аппарата и условия для его успешного применения.

**2 этап (начало 20-х годов – начало 50-х гг. XX в.).** Дальнейшее развитие базы медицинского оборудования и его совершенствование в здравоохранительных учреждениях г. Тамбова не имело заметного движения вплоть до конца 30-х гг. XX века. Только одно направление в развитии медицинского оборудования в медицинских учреждениях г. Тамбова имело достаточное развитие. Это было оборудование, которое использовалось в стоматологии. Уже во второй половине XX в. многие стоматологи оснастили свои кабинеты педальными бормашинами, считавшимися тогда современными и высокоэффективными образцами медицинской техники. Другим действенным шагом в становлении базы медицинского оборудования, сделанным в предвоенные годы, можно считать внедрение аппаратуры глубокого холода. Подобное оборудование впервые было применено на станции переливания крови в Тамбове в 1937 г.

**3 этап (начало 50-х – конец 60-х гг. XX в.).** Он характеризуется постепенным переоснащением хирургических операционных новыми образцами осветительного оборудования, активизацией рационализаторских разработок технического характера, выполнявшихся тамбовскими врачами. Подобная осветительная аппаратура заметно облегчила проведение хирургических операций. В последующие годы эти медицинские светильники были дополнены оптическими светоотражателями.

**4 этап (с начала 70-х гг. до 1989 г.).** В это время в г. Тамбове были введены в действия целый ряд новых больниц и медучреждений, в которые были поставлены новейшие образцы медицинского оборудования, такие как лапароскоп, эндоскоп, аппарат искусственной почки и тепловизор. Появились Вторая

городская больница, Областные детская и офтальмологическая больницы, вошли в строй действующих новый хирургический и диагностический корпусы Тамбовской областной больницы.

**5 этап (с 1989 г. по настоящее время).** Характеризуется резким увеличением различных видов современной медицинской техники. Прежде всего, оборудование, которым оснащен Тамбовский филиал МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика Федорова. Появились современные аппараты в отделениях Тамбовской областной больницы и в центрах медицинской помощи. В июне 2015 года в Тамбовской области начал работу Центр ядерной медицины. Благодаря этой работе в Тамбовскую область за точной и своевременной диагностикой приезжают пациенты из Саратовской и Пензенской областей, Мордовии и Дагестана, других регионов страны. По уровню оснащенности и квалификации персонала медицинский центр соответствует ведущим российским профильным учреждениям.

В 2003 году в Тамбовском государственном техническом университете состоялся первый набор студентов по специальности «Инженерное дело в медико-биологической практике». Первый выпуск инженеров – в 2008 г. Как самостоятельная структура, кафедра «Биомедицинская техника» была организована в 2006 г. С тех пор кафедра готовит специалистов по медицинской технике, которые создают, обслуживают, ремонтируют, продают и закупают современные медицинские приборы, аппараты и системы.

Таким образом, становление современной базы медицинской техники, применяемой в учреждениях здравоохранения г. Тамбова, началось сто лет назад, и оно не стоит на месте, с каждым годом все больше и больше совершенствуясь.

## **УМНАЯ ОДЕЖДА: СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА**

**А. Ю. Тычков, Д. Л. Овчинников**

**Пензенский государственный университет, Россия, Пенза**

**(e-mail: tychkov-a@mail.ru)**

В современном обществе острой гранью стоит вопрос здравоохранения. Особенно данная проблема актуальна для сотрудников магазинов и гипермаркетов. Согласно статистике, в торговой сети «Пятерочка» (X5 Retail Group) количество работников на 2020 г. составляет почти 339 тысяч человек, у «Магнита» этот показатель составляет 316 тысяч человек, «Лента» – 43 тысячи человек. Большую часть персонала составляют продавцы-консультанты, которые либо находятся на кассах, расположенных около выхода, либо в зале магазина.

Поэтому сквозняк и низкая некомфортная температура становятся довольно серьезной проблемой для сохранения здоровья.

Для решения данной проблемы сотрудникам магазинов выдается форма, которая не является утепленной. Исправить данный недостаток возможно двумя способами: встраивание нагревательных элементов или включение вставок с «теплым» материалом. Однако последний способ не может претендовать на универсальное решение. При более холодной температуре он будет эффективен, однако при более теплом помещении, эффект будет противоположным – человеку не будет комфортно, возникает риск перегрева организма. Первый вариант является наиболее универсальным, так как позволяет использовать спец-одежду в более широком диапазоне температур, с активной индивидуальной настройкой микроклимата, но только при условии, что нагревательным элементом будет управлять специальный модуль. В отличие от обычных нагревательных элементов без контроля, наличие управляющего модуля позволит автоматизировать данный процесс, более эффективно использовать энергию аккумулятора (powerbank). При добавлении соответствующих модулей система контроля тепла позволит снимать статистику использования и отправлять ее на сервер для дальнейшего изучения. Это позволит не допускать переохлаждения организма и гипертермии у человека.

Авторами настоящей статьи предлагается устройство, структурная схема которого приведена на рис 1.

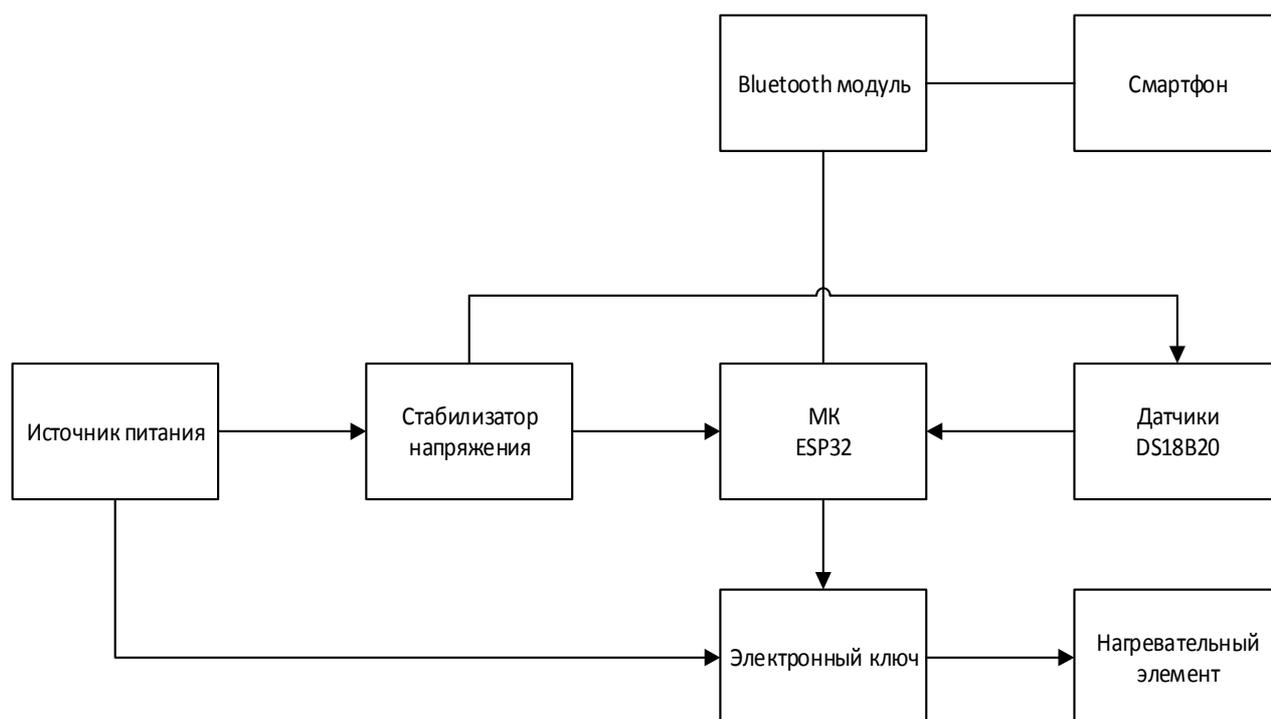


Рис. 1. Структурная схема устройства

Управление устройством возможно как с помощью телефона через протокол Bluetooth, так и с помощью элементов управления (кнопок) на самом устройстве. Это позволяет комфортно управлять не только «современному» поколению, но и более «старшему» слою населения.

Таким образом, данная идея призвана решить проблему сохранения тепла под одеждой как для обширного списка профессий, так и для повседневного использования. За счет гибкости системы, каждый сможет комфортно пользоваться ей.

**Секция 4**  
**ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**  
**РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ ТАМБОВСКОГО РЕГИОНА**

---

**АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ СВЯЗИ  
В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ**

**А. Г. Тростянский, И. И. Кочегаров, Н. К. Юрков,  
В. А. Трусов, В. Я. Баннов**

**Пензенский государственный университет, Россия, Пенза**

Благодаря развитию цифровых технологий и массовому внедрению Интернета, услуги связи стали неотъемлемым, обязательным условием нормальной жизни человека. Особенно востребованными они стали в условиях пандемии новой коронавирусной инфекции, когда электросвязь стала единственным средством не только для общения с близкими, но также для работы, обучения и реализации повседневных нужд.

Разветвленная сеть таксофонов на территории России была создана еще во времена СССР.

В начале 2000-х годов Правительством страны было принято решение об осуществлении массовой телефонизации сельских насланных пунктов. Федеральной целевой программой «Социальное развитие села до 2010 года», утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации от 03.12.2002 № 858, предусматривалось повышение доступности услуг телефонной связи на сельских территориях.

Массовое распространение мобильных компьютерных устройств привело к необходимости расширения перечня универсальных услуг связи и создания новой инфраструктуры.

Федеральным законом от 03.02.2014 № 9-ФЗ в Перечень универсальных услуг связи была включена услуга по передаче данных и предоставлению доступа к информационно-телекоммуникационной сети Интернет с использованием точек доступа.

Точки доступа, функционирующие с использованием технологии Wi-Fi, стали основным способом обеспечения доступа пользовательского оборудования абонента к сети Интернет на территории сельских населенных пунктов.

Таким образом, за прошедшие 20 лет была создана инфраструктура, предназначенная для оказания универсальных услуг связи, состоящая из трех

элементов: таксофоны, пункты коллективного доступа к сети Интернет, точки доступа к сети Интернет.

Потребности в услугах связи можно разделить на базовые, основные и современные, представив в виде пирамиды

Базовый уровень предполагает возможность передачи голосовых сообщений по сетям телефонной.

Основной уровень предполагает доступ к сети Интернет на скорости, достаточной для работы с порталом Госуслуг, сайтами государственных органов, отправки сообщений, использования видеосвязи.

Современный уровень предполагает возможность совершения голосовых вызовов доступ к сети Интернет независимо от местоположения абонента, в том числе в движении, а также скорость доступа к сети Интернет, достаточную для работы с видеоконтентом высокого разрешения.

Говоря о перспективах развития средств коллективного доступа к услугам связи, нельзя обойти внимание вопрос экономической эффективности. Операторы, обеспечивающие содержание и развитие инфраструктуры, являются коммерческими предприятиями, которые должны функционировать по законам рынка.

Исходя из изложенного, целесообразным является объединение всех средств оказания универсальных услуг в рамках единого сооружения связи – универсального пункта оказания услуг связи, которое должно обслуживаться одним оператором универсального обслуживания и субсидироваться в установленном законом порядке.

Обязательными элементами универсального пункта оказания услуг связи должны являться таксофон, автоматизированная почтовая станция, миниАТС, точка доступа к сети Интернет, работающая по технологии Wi-Fi, и каналобразующая аппаратура, обеспечивающая обмен данными с узловой АТС.

Разработка и внедрение универсальных пунктов оказания услуг связи позволит усовершенствовать телекоммуникационную инфраструктуру сельских населенных пунктов и снизить цифровое неравенство, обеспечив жителей доступными и качественными услугами связи, отвечающими мировым стандартам.

### **Библиографический список**

1. История таксофона... в СССР и России. – URL : <https://maxpark.com/community/8561/content/7138438>
2. Первый этап организации системы универсального обслуживания. – URL : [https://rossvyaz.gov.ru/upload/gallery/217/15717\\_76aad98a19e12edf94b0b7a8768ba463e8b762a3.pdf](https://rossvyaz.gov.ru/upload/gallery/217/15717_76aad98a19e12edf94b0b7a8768ba463e8b762a3.pdf)

3. Всероссийская перепись населения 2002 года. Территория, число районов, населенных пунктов и сельских администраций по субъектам РФ. – URL : [http://www.perepis2002.ru/ct/doc/1\\_ТОМ\\_01\\_03.xls](http://www.perepis2002.ru/ct/doc/1_ТОМ_01_03.xls)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИОПЛАТФОРМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ РЭС НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ**

**И. С. Косырев, Д. В. Помещиков**

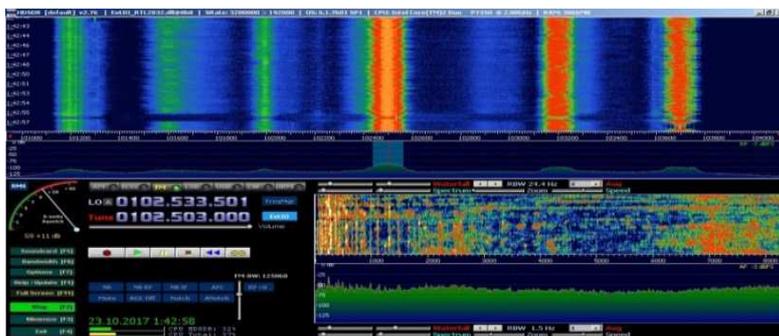
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: ilya.kosyrev@bk.ru)**

В настоящее время программно-определяемые радиоплатформы являются одним из самых перспективных направлений развития радиосвязи. Это связано с тем, что можно проводить тонкую настройку работы в радиочастотах различных диапазонов, анализируя сигнальный спектр в реальном времени. Данная возможность осуществляется с помощью программных комплексов, ориентированных на решение задач обеспечения электромагнитной обстановки радиоэлектронных средств новых поколений в виде графического программного интерфейса HSDR [1, 2].

Используя программно-определяемую платформу на основе контроллера Realtek RTL2832, можно анализировать спектры электрических сигналов, наблюдать доминирующую частоту, мощность, искажения, гармонику, полосу пропускания и другие спектральные компоненты сигнала, которые трудно обнаружить во временной области в реальном времени. Эти параметры полезны для характеристики таких электронных устройств, как беспроводные передатчики [2].

Программный комплекс HSDR обладает широкими возможностями использования (рис. 1). Программа может использоваться для радиоастрономических исследований и спектрального анализа радиочастотных сигналов [3]. HSDR предлагает удобную визуализацию предоставляемой информации для выполнения дальнейших расчетов и предсказания необходимых параметров.

Использование программно-аппаратных комплексов, направленных на обеспечение электромагнитной обстановки для работы программно-определяемых радиоплатформ в сетях нового поколения, позволяет в реальном времени анализировать спектр радиочастотных диапазонов. Главным преимуществом программно-определяемых радиоплатформ является их широкий спектр возможностей применения в различных вариантах реализации РЭС новых поколений [4].



**Рис. 1. Интерфейс программного комплекса HSDR**

Применение программно-определяемых радиоплатформ позволит при меньших, по сравнению с использованием классических анализаторов спектра финансовых затратах, проводить анализ радиообстановки на качественном уровне.

### **Библиографический список**

1. Липатников, В. С. Моделирование устройств цифровой обработки сигналов с помощью программного инструмента GNU Radio / В. С. Липатников // Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2015 : 17-я Междунар. конф. – Т. 2. – М., 2015. – С. 641 – 645.
2. Максфилд, К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца / К. Максфилд. – М. : Додэка-XXI, 2007. – 408 с.
3. Belousov, O. A. Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / O. A. Belousov, D. Yu. Muromtsev, M. P. Belyaev // Journal of Physics : Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk ; Russian Federation. – Vol. 998, Issue 1. – 13 April 2018.
4. Сеницын, Е. А. Особенности обработки сложных фазоманипулированных радиолокационных сигналов методом обратных пульсаций / Е. А. Сеницын, Д. А. Чиненов // Успехи современной радиоэлектроники. – 2015. – № 3. – С. 119 – 121.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ РАДИОПОЛЯРНОГО КОДИРОВАНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ В СЕТЯХ 5G NR**

**А. О. Смирнов, Д. В. Помещиков, П. А. Таенков, М. А. Крынков**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
 (e-mail: lexa.smirnov.00@mail.ru; rebirth263@gmail.com)

В настоящее время лидеры рынка производства оборудования для телекоммуникационных систем ведут активные исследования технологии 5G NR.

Технология 5G или New Radio (NR) – это следующее поколение мобильных сетей, которое следует за технологией четвертого поколения LTE. Изначально технология LTE разрабатывалась в целях предоставления высокоскоростной передачи данных. Однако в ходе развития также была добавлена функциональность, чтобы поддержать новые области применения. Например, возможность массового подключения малобюджетных устройств для IoT (Internet of Things), что требует особых требований к беспроводным сетям передачи данных. Эти требования сильно отличаются от изначально установленных требований для сетей LTE. В отличие от LTE, технология 5G разрабатывается для различных областей применения изначально. Принято выделять три основные области применения для сетей 5G, представленных на рис. 1:

1. eMBB (enhanced Mobile BroadBand) – предоставление улучшенного широкополосного мобильного доступа.

2. mMTC (massive Machine-Type Communication) – возможность подключения очень большого числа устройств (датчики, счетчики и т.д.).

3. URLLC (Ultra-Reliable and Low-Latency Communication) – предоставление высоконадежного соединения с очень низкой задержкой передачи данных.

eMBB (enhanced Mobile BroadBand) – расширенная мобильная широкополосная связь, представляет собой прогрессивное развитие мобильной сети передачи данных. Как упоминалось ранее, это ранний этап развития технологии LTE. Технология 5G должна обеспечивать клиентам высокое качество обслуживания и высокую скорость передачи данных. Десятки гигабайт в секунду считаются целью скорости передачи данных 5G. Для обеспечения таких



Рис. 1. Области применения 5G

высоких скоростей передачи данных используются очень ширококанальные и многоантенные технологии передачи данных. Технология 5G распознает частоты миллиметровых волн, поскольку почти все низкочастотные диапазоны предварительно настроены на использование каналов в сотни МГц или единиц ГГц. В этот диапазон входит столько свободных частот, сколько необходимо. Кроме того, технология 5G использует низкие частоты сантиметрового диапазона и частоты ниже 1 ГГц. Многоантенная технология позволяет улучшить спектральную эффективность системы и создать диаграммы направленности, увеличивающие зону покрытия сети. Последнее особенно важно при использовании частот миллиметрового диапазона.

mMTC (Masive Machine-Type Communication) – эта область применения позволяет подключать большое количество недорогих устройств. Примеры таких устройств включают в себя различные датчики, счетчики, сенсоры и пр. Помимо невысокой стоимости, эти устройства отличаются низким энергопотреблением. Это необходимо для обеспечения длительного времени работы с автономным питанием. Объем данных, передаваемых этими устройствами, также незначителен. Следовательно, высокие скорости передачи данных не являются существенным фактором в области mMTC.

URLLC (Ultra-Reliable and Low-Latency Communication) – этот тип услуги характеризуется низкими задержками передачи данных и высокой надежностью и доступностью соединения. Примеры ситуаций или областей применения, где такие требования актуальны: дистанционное управление роботами и другими мелкими механизмами, автоматизация производственной линии, различные сценарии в таких областях, как беспилотные летательные аппараты и др. Для поддержки потребностей, возникающих в этих сценариях, функции 5G предлагают набор специальных механизмов. Например, поддержка так называемых mini-slot, позволяющая передавать данные по беспроводному интерфейсу между базовой станцией и клиентским устройством за очень короткое время. Кроме того, с технологией 5G требования ко времени обработки данных намного больше, как на стороне базовой станции, так и на стороне мобильного устройства, т.е. время обработки данных намного меньше, чем у технологии LTE.

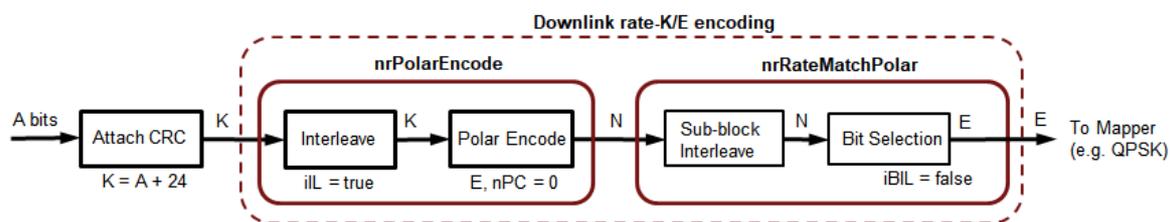
Для управления сетями 5G существует множество методов. В качестве одного из методов, реализующих алгоритмы управления, рассмотрим метод радиополярного кодирования. Выбор полярных кодов в качестве метода кодирования каналов управления для системы связи 5G NR доказал достоинства открытия Арикана [1] и обеспечил их применение в коммерческих системах. Основанное на концепции поляризации каналов, это новое семейство кодирования обеспечивает достижение пропускной способности, а не просто приближение к

пропускной способности. Обладая лучшей или сравнимой производительностью, чем LDPC и турбокоды, он заменяет сверточные коды с хвостовыми битами, используемые в системах LTE для каналов управления. Он применяется для управляющей информации нисходящей и восходящей линии связи (DCI/UCI) для варианта использования расширенной мобильной широкополосной связи (eMBB), а также для широковещательного канала (VCH). Альтернативно схема кодирования канала для каналов данных для eMBB определена как гибкая LDPC для всех размеров блоков.

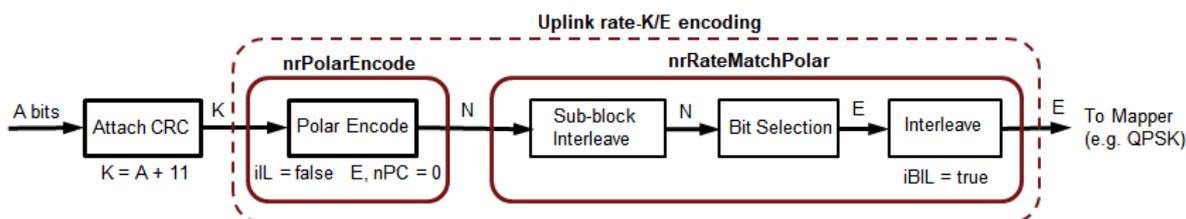
Следующая схема, представленная на рис. 2, детализирует обработку на стороне передачи для нисходящей линии связи с выделенными соответствующими компонентами и их параметрами.

Для нисходящей линии связи входные биты чередуются перед полярным кодированием. Таким образом, биты CRC, добавленные в конце информационных битов, распределяются по схеме CA-Polar. Это чередование не указано для восходящей линии связи. Полярное кодирование использует независимый от SNR метод, в котором надежность каждого подканала вычисляется в автономном режиме, а упорядоченная последовательность сохраняется для максимальной длины кода. Свойство вложенности полярных кодов позволяет использовать эту последовательность для любой скорости кода и всех длин кодов, меньших максимальной длины кода.

На следующей схеме, представленной на рис. 3, подробно показана обработка на стороне передачи для восходящей линии связи для размера полезной нагрузки более 19 бит и без сегментации кодовых блоков с выделенными соответствующими компонентами и их параметрами.



**Рис. 2. Обработка на стороне передачи для нисходящей линии связи**



**Рис. 3. Обработка на стороне передачи для восходящей линии связи**

Полярно закодированный набор битов ( $N$ ) согласуется по скорости для вывода заданного количества битов ( $E$ ) для отображения элемента ресурса. Закодированные биты перемежаются субблоками и передаются в кольцевой буфер длины  $N$ . В зависимости от желаемой кодовой скорости и выбранных значений  $K$ ,  $E$  и  $N$  либо повторение ( $E \geq N$ ), либо прокалывание или сокращение ( $E < N$ ) реализуется путем чтения выходных битов из буфера:

- для прокалывания биты  $E$  берутся с конца;
- для сокращения биты  $E$  берутся с самого начала;
- для повторения  $E$  битов повторяются по модулю  $N$ .

Для нисходящей линии связи выбранные биты передаются блоку отображения модуляции, тогда как для восходящей линии связи они дополнительно чередуются перед отображением. На стороне получателя восстановление скорости выполняется для каждого из случаев:

- для прокалывания соответствующие LLR для удаленных битов устанавливаются равными нулю;
- для сокращения соответствующие LLR для удаленных битов устанавливаются в большое значение;
- для повторения выбирается набор LLR, соответствующих первым  $N$  битам.

Неявное CRC-кодирование битов сообщения нисходящей линии связи (DCI или BCH) или восходящей линии связи (UCI) диктует использование CRC-Aided Successive Cancellation List Decoding (CA-SCL) [2] в качестве алгоритма декодера канала. Хорошо известно, что декодирование CA-SCL может превосходить коды Turbo или LDPC [3], и это было одним из основных факторов принятия полярных кодов 3GPP. Тал и Варди [4] описывают алгоритм декодирования SCL с точки зрения правдоподобия (вероятностей). Однако из-за потери значимости собственные вычисления численно нестабильны. Чтобы решить эту проблему, Stimming et. al. [5] предлагают декодирование SCL исключительно в области логарифмического отношения правдоподобия (LLR). Декодирование по списку характеризуется параметром  $L$ , который представляет количество оставшихся наиболее вероятных путей декодирования. В конце декодирования наиболее вероятным кодовым путем среди  $L$  путей является выход декодера. Однако с увеличением  $L$  производительность декодера также улучшается с эффектом убывающей отдачи. Для входного сообщения, которое объединяется с CRC, декодирование CA-SCL удаляет все пути, для которых CRC недействителен, если хотя бы один путь имеет правильный CRC. Это дополнительное понимание окончательного выбора пути еще больше повышает

производительность, по сравнению с декодированием SCL. Для нисходящей линии связи используется CRC из 24 бит, а для восходящей линии указаны CRC из 6 и 11 бит, которые зависят от значения  $K$ .

На схеме, изображенной на рис. 4, показано, как ранее описанные компоненты для полярного кодирования используются в моделировании коэффициента ошибок по блокам (BLER).

Для каждого обрабатываемого кадра выполняются следующие шаги:

- генерируются случайные биты  $K$ -crcLen;
- CRC вычисляется и добавляется к этим битам;
- добавленные биты CRC кодируются в полярном коде в соответствии с длиной блока исходного кода;
- согласование скорости выполняется для передачи  $E$  битов;
- биты  $E$  модулируются QPSK;
- добавлен белый гауссовский шум указанной мощности;
- зашумленный сигнал демодулируется с помощью мягкой QPSK для вывода значений LLR;
- восстановление скорости выполняется с учетом прокалывания, укорочения или повторения;
- восстановленные значения LLR подвергаются полярному декодированию с использованием алгоритма CA-SCL, включая обратное перемежение.

Из декодированных  $K$  битов первые  $K$ -crcLen биты сравниваются с битами, переданными для обновления метрик BLER и частоты ошибок по битам (BER).

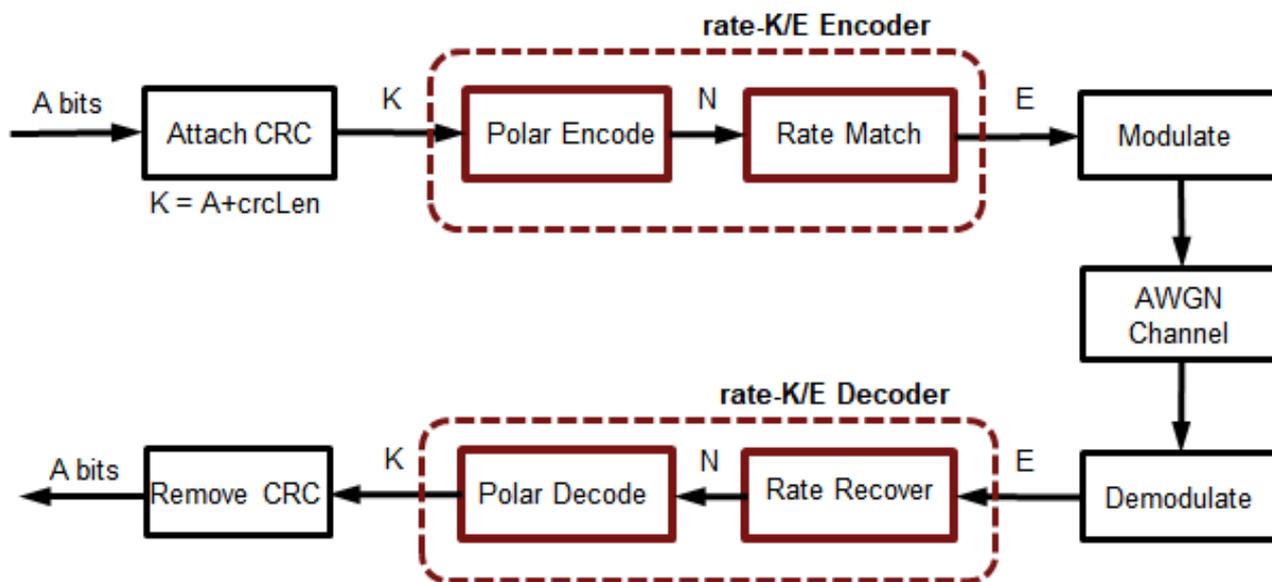


Рис. 4. Моделирование коэффициента ошибок по блокам

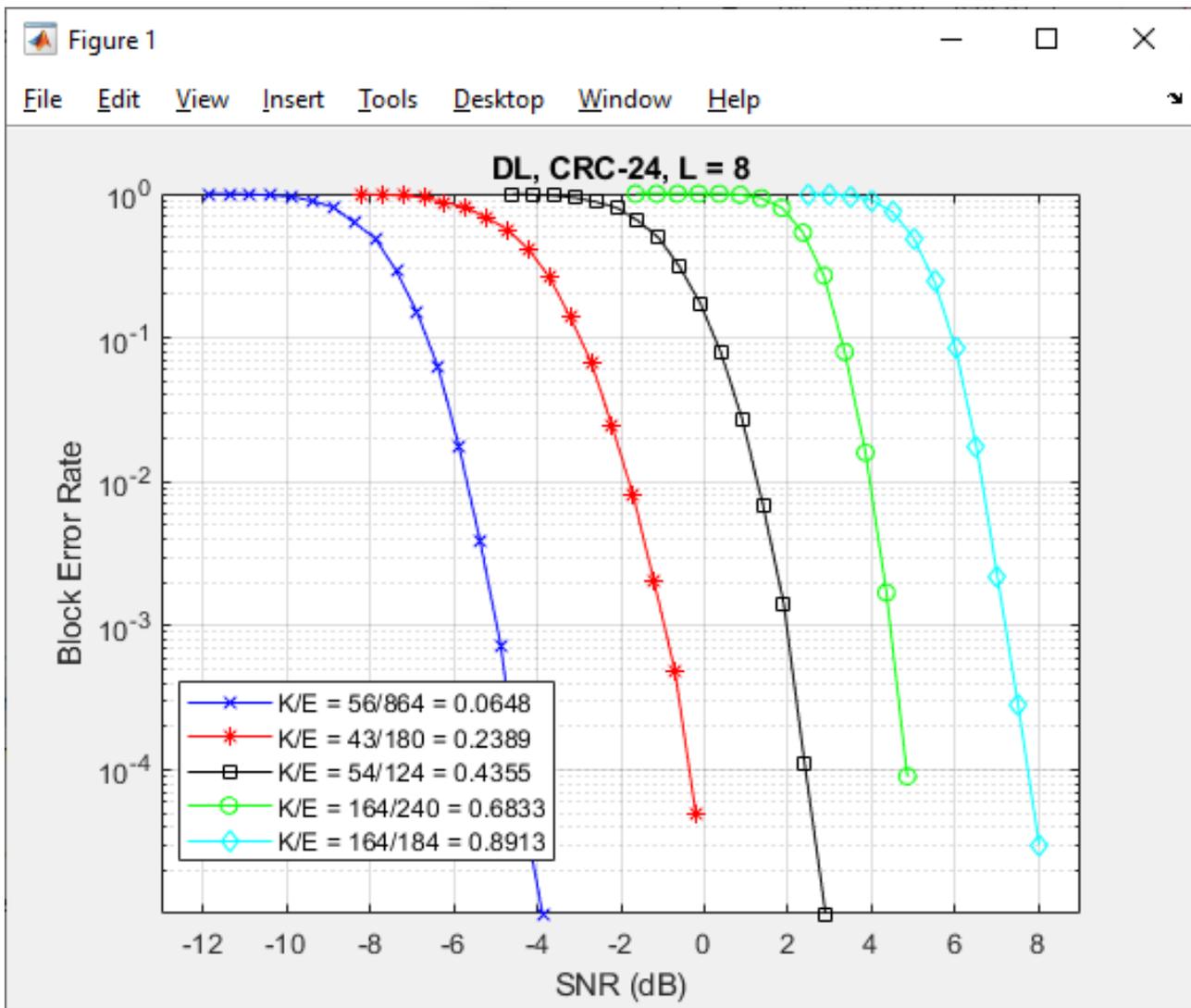


Рис. 5. Результаты моделирования метода радиополярного кодирования

Приведенные на рис. 5 результаты были получены путем моделирования такого метода в среде MATLAB. Для каждой точки SNR до 1000 ошибок кадров или максимум  $100 \times 10^3$  кадров, в зависимости от того, что произошло раньше. Результаты производительности BLER указывают на пригодность полярных кодов в канале связи и их неявную поддержку совместимости скоростей на уровне битов.

В данной статье показана одна из схем полярного кодирования, заданная 3GPP для информации канала управления New Radio и широковещательного канала. Он показывает использование компонентов для всех этапов обработки, таких как кодирование, согласование скорости, восстановление скорости и декодирование и использует их в канале с QPSK по каналу AWGN. Выделенные результаты производительности для различных кодовых скоростей и длин сообщений демонстрируют соответствие опубликованным тенденциям в пределах отклонений параметров и предположений моделирования.

## Библиографический список

1. Арикана, Э. Channel Polarization: A Method for Constructing Capacity-Achieving Codes for Symmetric Binary-Input Memoryless Channels / Э. Арикана // IEEE Transactions on Information Theory. – 2009. – Pp. 3051 – 3073.
2. Ниу, К. CRC-Aided Decoding of Polar Codes / К. Ниу, К. Чен // IEEE Transactions on Information Theory. – 2012. – Pp. 1668 – 1671.
3. Ниу, К. Beyond Turbo Codes: Rate Compatible Punctured Polar Codes / К. Ниу, К. Чен, Дж. Р. Лин // IEEE International Conference on Communications. – 2013. – Pp. 3423 – 3427.
4. Таль, И. List Decoding of Polar Codes / И. Таль, А. Варди // IEEE Transactions on Information Theory. – 2015. – Pp. 2213 – 2226.
5. Стимминг, А. Б. LLR-Based Successive Cancellation List Decoding of Polar Codes / А. Б. Стимминг, М. Б. Паризи, А. Бург // IEEE Transaction on Signal Processing. – 2015. – Pp. 5165 – 5179.

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ НЕЧЕТКО-НЕЙРОННОГО ВЫВОДА В ДИАГРАММООБРАЗУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ СИСТЕМ ПОСТАНОВКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО БАРЬЕРА ОТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**М. М. Кирюпин, О. А. Белоусов, В. В. Носков, К. С. Сайфуллозода**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: mik6339@yandex.ru)

В современных реалиях и участившихся диверсионных действий с использованием возможностей воздушного пространства таких как: аэросъемка засекреченных объектов, личностный шпионаж, перенос взрывоопасных грузов и т.д. посредством беспилотных летательных аппаратов (БЛА), актуальной проблемой является выявление и устранение данных противоправных действий специализированными системами.

В связи с этим актуальной задачей для обеспечения безопасности объектов является разработка высокоэффективных систем радиоэлектронного подавления (РЭП) для создания пространственного барьера от проникновения БЛА, которые позволят дезориентировать летательный аппарат, перехватить управляющий сигнал, а также привести к выходу из строя и уничтожению несанкционированного устройства.

Важнейшим звеном данной системы можно обозначить систему из антенного комплекса и диаграммообразующего устройства, функционирующего под

управлением высокоэффективного алгоритма, формирующего диаграмму направленности (ДН) необходимой формы для организации помеховой среды и реализации пространственного барьера. Данная система должна обладать такими характеристиками как: быстроедействие, помехоустойчивость к внешним воздействующим факторам, способность модификации ДН и обучение системы в реальном масштабе времени и т.д.

Для реализации вышеуказанных требований необходимо отойти от применения адаптивных алгоритмов настройки ДН, не способных из-за своей сложности подбора универсальных весовых коэффициентов и подстройки системы в реальном времени, соответствовать данным требованиям. Для их реализации необходимо применение интеллектуальных алгоритмов, таких как алгоритмы нечетко-нейронного управления [1, 3], способных к адаптации, самообучению и преобразованию нечетких поступающих входных переменных в необходимую функцию для формирования необходимой ДН.

Данные алгоритмы позволяют аппроксимировать с произвольной точностью любую нелинейную функцию многих переменных суммой нечетких функций одной переменной. В отличие от классических нечетких систем, в них вместо непосредственного расчета уровня активации конкретных правил вывода, выполняется адаптивный подбор параметров функции фуззификации. Наибольшую популярность среди данных алгоритмов имеет модель вывода Такаги-Сугено-Канга (ТСК).

В данной модели функция заключения определяется нечетким, но точечным образом. Благодаря этому дефуззификатор, как в моделях классической нечеткой логики, на выходе системы не требуется, а модель вывода значительно упрощается. Общая формула модели ТСК может быть представлена в следующем виде:

$$\text{если } x_1 \text{ это } A_1 I x_2 \text{ это } A_2 I \dots I x_n \text{ это } A_n, \text{ то } y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

Запись этого же выражения в векторной форме выглядит следующим образом:

$$\text{если } x \text{ это } A, \text{ то } y = f(x), \quad (2)$$

где  $f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – четкая функция.

В этой зависимости часть, относящаяся к условию, совпадает с моделью Мамдами–Заде (классической моделью нечеткой логики). Принципиальное отличие касается заключения, которое представляется в форме функциональной зависимости, чаще всего – в виде полиномиальной функции нескольких переменных [2]. Классическое представление этой функции, чаще всего используемое на практике, – это полином первого порядка

$$y = f(x) = p_0 + \sum_{i=1}^N p_i x_i, \quad (3)$$

в котором коэффициенты  $p_0, p_1, \dots, p_n$  – это цифровые веса, подбираемые в процессе обучения модели. Еще более простая модель вывода ТСК получается, если применять функцию  $f(x)$  в виде полинома первого порядка, в котором

$$y = f(x) = p_0. \quad (4)$$

Если в модели вывода ТСК используется несколько ( $M$ ) правил, то выход системы определяется как их средневзвешенное. Приписывая каждому правилу вес  $w_i$ , получим выходной сигнал, представляемый в виде

$$y = \frac{\sum_{i=1}^M w_i y_i}{\sum_{j=1}^M w_j}, \quad (5)$$

или

$$y = \sum_{i=1}^M \frac{w_i}{\sum_{j=1}^M w_j} y_i = \sum_{i=1}^M w'_i y_i. \quad (6)$$

Необходимо отметить, что в выражении (4) веса  $w_i$  отвечают условию нормализации  $\sum_{i=1}^M \frac{w_i}{\sum_{j=1}^M w_j} = 1$ . Если для каждого  $i$ -го правила (где  $i = 1, 2, \dots, M$ ) реализуется функция ТСК первого порядка

$$y_i = p_{i0} + \sum_{j=1}^N p_{ij} x_j, \quad (7)$$

то можно получить описание выходной функции модели ТСК в формате

$$y = \sum_{i=1}^M \frac{w_i}{\sum_{j=1}^M w_j} \left( p_{i0} + \sum_{j=1}^N p_{ij} x_j \right), \quad (8)$$

которая линейна относительно всех входных параметров системы  $x_j$  для  $j = 1, 2, \dots, N$ .

Веса  $w_i$ , присутствующие в формуле (8), являются нелинейными параметрами функции  $y$ . В адаптивных системах они подвергаются обучению для дос-

тижения: наилучшей приспособленности модели к заданным значениям, тогда как в неадаптивных системах они уточняются для определения уровня активации условия в правиле вывода непосредственно в процессе анализа данных. Подбор этих уровней – это результат агрегирования правил, соответствующих конкретным компонентам вектора  $x$  условия; он выполняется с использованием логического или алгебраического произведения так же, как это происходит в классической модели нечеткой логики (Мамдани–Заде) [1].

На основании вышеизложенного можно сделать следующий вывод, что применение модели нечетко-нейронного вывода в диаграммообразующем устройстве антенной решетки системы построения пространственного барьера от БЛА, за счет своей гибкости, способен решить такие проблемы как: быстродействие системы, помехоустойчивость к внешним воздействующим факторам, способность модификации ДН под поставленные задачи, а также обучение системы в реальном масштабе времени.

### **Библиографический список**

1. Осовский, С. Нейронные сети и обработка информации / С. Осовский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 334 с.
2. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – 2-е изд., стереотип. – М. : Горячая линия – Телеком, 2013. – 384 с.
3. Борисов, В. В. Нечеткие модели и сети / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федулов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.

## **СТРУКТУРА НЕЧЕТКО-НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДИАГРАММООБРАЗУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ СИСТЕМ ПОСТАНОВКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО БАРЬЕРА ОТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**М. М. Кирюпин, О. А. Белоусов, В. В. Носков, К. С. Сайфуллозода**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: mik6339@yandex.ru)

Учитывая совершенствование технологий в области беспилотных летательных аппаратов (БЛА), все чаще возникают проблемы обнаружения данных объектов в воздушном пространстве посредством классических систем радиоэлектронного подавления (РЭП) из-за низкого быстродействия систем, под-



При  $M$  правилах вывода агрегирование выходного результата сети проводится по следующей формуле:

$$y(x) = \frac{1}{\sum_{k=1}^M w_k} \sum_{k=1}^M w_k y_k(x), \quad (3)$$

где  $y(x) = p_{k0} + \sum_{j=1}^M w_k y_k(x)$ .

При данном условии, заданном выражением (3) [1], данную сеть можно разделить на пять слоев.

Первый слой выполняет раздельную фуззификацию каждой переменной  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), определяя для каждого  $k$ -го правила вывода значение коэффициента принадлежности в соответствии с применяемой функцией фуззификации. Данный слой является параметрическим с параметрами адаптации  $c_j^{(k)}$ ,  $\sigma_j^{(k)}$ ,  $b_j^{(k)}$  в процессе обучения [1].

Второй слой выполняет агрегирование отдельных переменных  $x_i$ , определяя результирующее значение коэффициента принадлежности для вектора  $x$  (уровень активации правил вывода). Слой является параметрическим.

Третий слой представляет собой генератор функции ТСК, рассчитывающий значения  $y_k(x) = p_{k0} + \sum_{j=1}^N p_{kj} x_j$ . В этом слое также проводится умножение

сигналов  $y_k(x)$  на значение  $w_k$ , сформированное в предыдущем слое. Это параметрический слой, в котором адаптации подлежат линейные веса  $p_{kj}$  для  $k = 1, 2, \dots, M$  и  $j = 1, 2, \dots, N$ , определяющие функцию следствия модели ТСК.

Четвертый слой составляют два нейрона-сумматора, один из которых рассчитывает взвешенную сумму сигналов  $y_k(x)$ , а второй определяет сумму весов  $\sum_{k=1}^M w_k$ . Этот слой также является параметрическим.

Последний, пятый слой (непараметрический), состоящий из единственного выходного нейрона, – это нормализующий слой, в котором веса подвергаются нормализации в соответствии с формулой (3). Выходной сигнал  $y(x)$  определяется в следующем выражении:

$$y(x) = f(x) = \frac{f_1}{f_2}. \quad (4)$$

Из приведенного описания следует, что нечеткая сеть ТСК содержит только два параметрических слоя (первый и третий), параметры которых уточняются в

процессе обучения. Параметры первого слоя являются нелинейными, поскольку они относятся к нелинейной функции (2), а параметры третьего слоя – линейными весами, так как они относятся к параметрам  $p_{kj}$  линейной функции ТКС.

При уточнении функциональной зависимости (3) для сетей ТСК получаем:

$$y(x) = \frac{1}{\sum_{k=1}^M \left[ \prod_{j=1}^N \mu_A^{(k)}(x_j) \right]} \sum_{k=1}^M \left[ \prod_{j=1}^N \mu_A^{(k)}(x_j) \right] \left[ p_{k0} + \sum_{j=1}^N p_{kj} x_j \right]. \quad (5)$$

Если принять, что в конкретный момент времени параметры условия зафиксированы, то функция  $y(x)$  является линейной относительно переменных  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ).

При наличии  $N$  входных переменных каждое правило формирует  $N + 1$  переменных  $p_j^{(k)}$  линейной зависимости ТСК. При  $M$  правилах вывода это дает  $M(N + 1)$  линейных параметров сети. В свою очередь, каждая функция принадлежности использует три параметра ( $c, s, b$ ), подлежащих адаптации. Если принять, что каждая переменная  $x_i$  характеризуется собственной функцией принадлежности, то при  $M$  правилах вывода мы получим  $2MN$  нелинейных параметров. В сумме это дает  $M(4N + 1)$  линейных и нелинейных параметров, значения которых должны подбираться в процессе обучения сети.

На практике для уменьшения количества адаптируемых параметров оперируют меньшим количеством неизвестных функций принадлежности для отдельных переменных, руководствуясь правилами, в которых комбинируются функции принадлежности различных переменных. Если принять, что каждая переменная  $x_i$  имеет  $m$  различных функций принадлежности, то максимальное количество правил, которое можно создать при комбинировании, составит:  $M = mN$  (при трех функциях принадлежности, распространяющихся на две переменные, это  $32 = 9$  правил вывода). Таким образом, суммарное количество нелинейных параметров сети при  $M$  правилах вывода уменьшается с  $3MN$  в общем случае до  $3MN_1/N$  [2]. Количество линейных параметров при подобной модификации остается без изменений.

На основании вышеизложенного можно сделать следующий вывод, что применение модели нечетко-нейронного вывода, при реализации алгоритма управления на ДОУ, способно решить такие проблемы как: быстроедействие системы, помехоустойчивость к внешним воздействующим факторам, способность модификации ДН под поставленные задачи, а также обучение системы в реальном масштабе времени.

## Библиографический список

1. Осовский, С. Нейронные сети и обработка информации / С. Осовский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 334 с.
2. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – 2-е изд., стереотип. – М. : Горячая линия – Телеком, 2013. – 384 с.
3. Борисов, В. В. Нечеткие модели и сети / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федулов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ СИСТЕМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РАДИОМОНИТОРИНГА, ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ В ТЯЖЕЛОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКЕ

**М. А. Кудряшов, О. А. Белоусов, М. А. Крынков**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: maximkudryashov969@gmail.com)

В настоящее время широкое использование метеорологических станций, предназначенных для мониторинга параметров атмосферы, требует применения эффективных и малогабаритных радиолокационных станций. Данные станции существуют в большом количестве, но они, как правило, не могут эффективно работать в условиях тяжелой метеорологической обстановки.

Главным недостатком существующих антенных систем, используемых на метеостанциях, является механический привод, так как скорость переключения и скорость формирования необходимой диаграммы направленности напрямую зависит от скорости движения механического привода. Так же весомым недостатком является невозможность работы в многоканальном режиме, что очень важно при работе в тяжелых метеоусловиях.

Под понятием феноменологической модели ФАР будем понимать модель, которая верно показывает основные явления, происходящие в моделируемой антенной системе, однако из-за того, что при моделировании учитываются не все параметры антенной системы, результат моделирования нельзя считать исключительно достоверным.

Использование метода построения феноменологических моделей позволит синтезировать сложные антенные системы и комплексы без использования методов натурального моделирования и без построения физических моделей, так

как этот подход показывает максимально приближенные к реальной физической модели результаты, в которых расхождение с физической моделью составляет менее пяти процентов.

Для решения поставленных задач будет построена цилиндрическая фазированная антенная решетка. Основными достоинствами решеток данной формы являются: возможность широкоугольного сканирования лучом без изменения формы и ширины в азимутальной плоскости; сканирование в угломестной плоскости; удобство размещения выпуклых антенных систем на некоторых объектах.

Опираясь на вышеизложенные факты, синтезируем антенную решетку на базе квадрифилярных излучателей, которая может решать задачи современных метеорологических РЛС. Данная антенная решетка состоит из трех колец, состоящих из восьми излучателей.

Антенная решетка обладает коэффициентом усиления порядка 16 дБи. Также АР обладает многолучевостью, что необходимо при работе в многоканальном режиме.

В результате моделирования АР можно сделать вывод, что применение такой антенной решетки в комплексах метеорологических РЛС позволит улучшить следующие характеристики аэрологического радиолокатора:

- 1) электронное сканирование в пределах  $360^\circ$  по азимуту;
- 2) возможность работать в многоканальном режиме, сопровождая до 25 зондов одновременно.

Таким образом, применение данной фазированной цилиндрической антенной решетки позволит строить эффективные радиолокационные системы с хорошими массогабаритными и электрическими показателями, которые смогут демонстрировать высокий КПД при работе в тяжелых метеорологических условиях.

### **Библиографический список**

1. Воскресенский, Д. И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Д. И. Воскресенский. – М. : Радиотехника, 2012. – 744 с.

2. Синтез цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEEE802.11, IEEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносков, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник ТГТУ. – 2015. – № 21. – С. 266 – 272.

3. Зырянов, Ю. Т. Антенны : учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю. Т. Зырянов. – URL: <https://e.lanbook.com/book/133478> (дата обращения: 03.05.2022).

## **СИНТЕЗ ИЗЛУЧАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СТРУКТУР МЕТОДОМ ПОСТРОЕНИЯ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ КОМПЛЕКСОВ ПОГОДНОГО МОНИТОРИНГА**

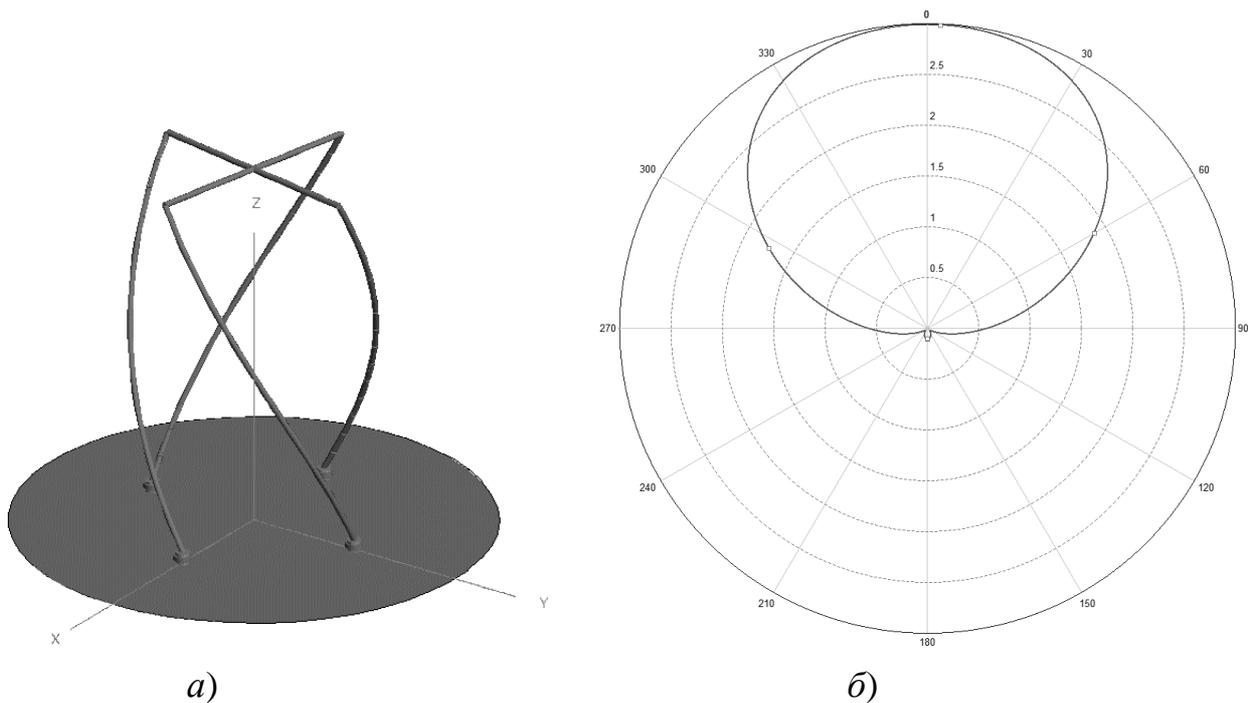
**М. А. Кудряшов, О. А. Белоусов, П. А. Таенков, М. А. Крынков**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: maximkudryashov969@gmail.com)

В настоящее время существуют различные системы аэрологического зондирования, такие как: МАРЛ-А, АВК-1, AIR-3А-RT2, RT-20, МРЗ-3АТ. Все перечисленные антенные системы обладают релевантными характеристиками и недостатками. Из явных недостатков подобных комплексов можно выделить следующие: малое количество ведения радиозондов, небольшая дальность сопровождения зонда, невозможность быстрого управления лучом [1].

Поэтому для выполнения задачи модернизации подобных комплексов необходимо разработать такую антенную решетку, которая может минимизировать количество вышеуказанных недостатков. К таким комплексам можно отнести антенные решетки, использующие алгоритмы управления на базе искусственного интеллекта. Важнейшим этапом разработки антенной решетки является выбор и построение феноменологической модели излучателя. Для решения задач, поставленных перед комплексами климатического и погодного мониторинга, самым оптимальным вариантом излучателя, на котором будет базироваться антенная решетка, являются излучатели на основе замедляющих структур, в частности спиральные излучатели. Все многообразие спиральных излучателей может быть сведено к двум основным типам: классические спиральные излучатели и квадрифилярные спиральные излучатели. Для решения поставленной задачи произведем синтез квадрифилярной спиральной антенны (КСА) в диапазоне 1678 МГц, который входит в состав в качестве элемента интеллектуальной фазированной антенной решетки.

Для того чтобы данная антенна излучала с круговой поляризацией, напряжения должны формироваться с одинаковыми амплитудами, но сдвинуты по фазе относительно друг друга на  $90^\circ$ . Такие КСА имеют свободные параметры, к которым можно отнести  $\alpha$ -угол намотки и диаметр  $D$ . Для управления характеристик излучения антенны, такими как диаграмма направленности и коэффициент эллиптичности, достаточно менять данные параметры.

Для получения основных характеристик данной излучающей структуры будем использовать метод, который основан на построении феноменологических моделей. Он позволяет достаточно оперативно определить параметры вновь синтезируемой антенной структуры и провести анализ характеристик этой структуры.



**Рис. 1. 3D-модель (а) и диаграмма направленности КСА (б)**

На рисунке 1 представлены результаты моделирования.

### **Библиографический список**

1. Фрадин, А. З. Антенно-фидерные устройства : учебное пособие / А. З. Фрадин. – М. : Связь, 1977. – 440 с.
2. Зырянов, Ю. Т. Антенны : учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю. Т. Зырянов. – URL: <https://e.lanbook.com/book/133478> (дата обращения: 03.05.2022).

## **МОНИТОРИНГ, ФИКСАЦИЯ И АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**А. Ю. Дмитриевцев, Ю. Т. Зырянов**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: [dmitrievcev978@gmail.com](mailto:dmitrievcev978@gmail.com); [zut-tmb@mail.ru](mailto:zut-tmb@mail.ru))

Мониторинг, фиксация, а также анализ определяющих параметров являются важнейшим звеном при работе различных устройств и систем. Сложная техническая структура и большое количество измеряемых и фиксируемых параметров требуют большого объема используемых ресурсов, как челове-

ских – для непосредственного контроля в режиме реального времени, так и вычислительных – для возможности фиксации определяющих параметров за определенный период времени [1 – 4].

В данной статье в качестве объекта мониторинга и фиксации определяющих параметров будет рассмотрена телекоммуникационная система типа Iskratel Si3000.

Как изображено на рис. 1, система мониторинга данной информационно-измерительной и управляющей систем (ИИУС) позволяет осуществлять контроль за основными параметрами системы. Выбор контролируемых параметров обусловлен их важностью и влиянием на работу всей системы в целом.

Для анализа и полученных данных, их структуризации и обработки целесообразно использование нейронных сетей или алгоритмов машинного обучения. Данный подход позволит как анализировать состояние определяющих параметров в реальном времени, так и прогнозировать их при большой базе данных.

Таким образом, можно сделать вывод, что контроль определяющих параметров с помощью нейронных сетей позволяет облегчить процесс мониторинга и фиксации определяющих параметров информационно-измерительных и управляющих систем.

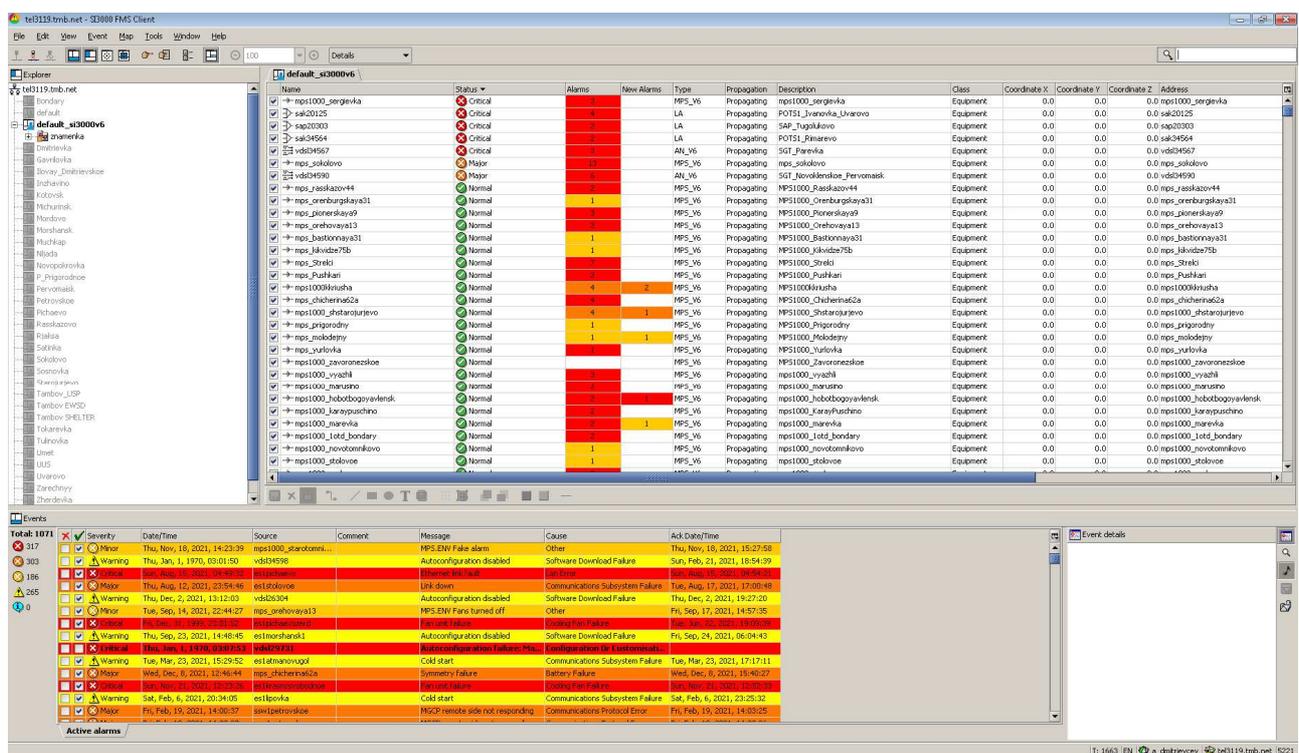


Рис. 1. Система мониторинга определяющих параметров

## Библиографический список

1. Рязанов, И. Г. Техническое диагностирование информационно-измерительной и управляющей системы с применением нейросетевых технологий / И. Г. Рязанов, Ю. Т. Зырянов, А. Ю. Наумова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2019. – № 5. – С. 37 – 46.
2. Оценка надежности сетевых информационных структур / Ю. Ю. Громов, В. Е. Дидрих, А. И. Елисеев, Ю. В. Минин, О. Г. Иванова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2016. – № 1. – С. 33 – 39.
3. Об одном подходе к формированию смешанной системы управления техническим состоянием радиотехнических средств / Ю. Т. Зырянов, В. В. Лебедев, Д. Н. Ледовских, И. Г. Рязанов // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 3(19). – С. 49 – 59.
4. Основы технической эксплуатации радиотехнических систем специального назначения : учебник / В. Н. Ратушняк, И. Н. Ищук, К. А. Малыков, Ю. Т. Зырянов и др. – Красноярск, 2015. – С. 53 – 55.

## ОСНОВНЫЕ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

А. Ю. Дмитриевцев<sup>1</sup>, И. Е. Попов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: dmitrievcev978@gmail.com);

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет, Россия, Воронеж  
(e-mail: popposhta@mail.ru)

На этапе проектирования любой системы очень важным моментом является рассмотрение дестабилизирующих факторов, которые будут оказывать влияние на работоспособность системы [1 – 3].

Основными внешними дестабилизирующими факторами в большинстве случаев являются механические воздействия, изменение температуры деталей устройства, непостоянство напряжений источников питания, изменение влажности и давления окружающей среды, внешние электромагнитные поля.

В качестве рассматриваемой информационно-измерительной и управляющей системы используем систему Iskratel SI3000v6, установленную в уличный климатический шкаф (рис. 1).



**Рис. 1. Внешний вид климатических шкафов с установленным в них оборудованием**

Повышение температуры, а также ее снижение до критически низких цифр приводит к преждевременному полному или частичному выходу их строя оборудования. Чаще всего это происходит из-за несвоевременного технического обслуживания, что приводит к засорению фильтров и снижению пропускной способности воздушных потоков. Повышенная влажность приводит к окислению и разрушению токоведущих частей плат, к повышенной коррозии металлических деталей, как следствие, усложняется извлечение и установка модулей. При повышении нагрузки на оборудовании или приближении к предельным значениям, значительно повышается тепловыделение от устройств. В случае слабого обдува, возникает перегрев, что в последующем может привести к выходу из строя.

Таким образом, можно сделать вывод, что дестабилизирующие факторы очень сильно влияют на работоспособность оборудования и могут привести к его полному выходу из строя [4, 5].

### **Библиографический список**

1. Рязанов, И. Г. Техническое диагностирование информационно-измерительной и управляющей системы с применением нейросетевых технологий / И. Г. Рязанов, Ю. Т. Зырянов, А. Ю. Наумова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2019. – № 5. – С. 37 – 46.

2. Оценка надежности сетевых информационных структур / Ю. Ю. Громов, В. Е. Дидрих, А. И. Елисеев, Ю. В. Минин, О. Г. Иванова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2016. – № 1. – С. 33 – 39.

3. Об одном подходе к формированию смешанной системы управления техническим состоянием радиотехнических средств / Ю. Т. Зырянов, В. В. Лебедев, Д. Н. Ледовских, И. Г. Рязанов // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 3(19). – С. 49 – 59.

4. Основы технической эксплуатации радиотехнических систем специального назначения : учебник / В. Н. Ратушняк, И. Н. Ищук, К. А. Малыков, Ю. Т. Зырянов и др. – Красноярск, 2015. – С. 53 – 55.

5. Колобов, А. Б. Приборы диагностики и контроля технического состояния / А. Б. Колобов, Ф. Б. Огурцов, А. Л. Ветошкин // Состояние и перспективы развития электротехнологий (IX Бенардосовские чтения) : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Иваново, 8 – 10 июня 1999 г. – Иваново : Иванов. гос. энергет. ун-т им. В. И. Ленина, 1999. – С. 292.

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОЗОНДОВ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ПЛАТФОРМ**

**Р. Д. Карих, Н. В. Заходякин, В. П. Семичастнов, Д. В. Заварзин**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: KarikhRD@yandex.ru)

В настоящее время на фоне интенсивного развития высокоэффективных кабельных, радиорелейных и спутниковых систем связи значение декаметровой (ДКМ) связи не теряет своей актуальности. Стоимость ДКМ радиоканалов на порядок ниже, а помехозащищенность в условиях конфликтных ситуаций выше в сравнении со спутниковыми каналами связи. ДКМ радиосвязь является единственным средством связи в областях, не имеющих инфраструктуры, в труднодоступных районах, поэтому является актуальным ее использование в ведущих отраслях экономики, таких как нефтяная и газовая промышленность, морское судоходство, аэронавигация и геология. Однако изменчивость состояния ионосферы, которая оказывает существенное влияние на условия распространения радиоволн ДКМ диапазона, приводит к необходимости диагностики состояния линии связи, определяя и прогнозируя в реальном времени ее основные характеристики, а по ним возможно оценивать и прогнозировать информационно-технические характеристики систем связи [1].

Использование радиозондов, которые будут построены с использованием программно-определяемой платформы (SDR), позволит на основании данных, полученных при ионосферном и трансionoсферном зондировании, выбрать наилучший актуальный, ограниченный по частоте спектр радиовещания в декаметровом диапазоне, а также провести моделирование и формирование дневного, недельного и месячного журнала проведения радиосвязи [2].

Суть трансionoсферного зондирования заключается в радиолокации слоев атмосферы при помощи сигналов высокой частоты. Для этих целей применяют источники как естественного характера, например, объекты космического радиоизлучения, так и антропогенного, к которым относят искусственные спутники Земли, оснащенные передатчиками радиосигналов [3].

Так как для прогнозирования ионосферной и трансionoсферной обстановки требуется специалист, проводящий ручную соответствующую настройку оборудования по полученным актуальным данным ионосферной обстановки, то данный процесс занимает длительный период времени. Но при помощи программно-определяемой платформы с вшитым программным обеспечением данный процесс можно значительно ускорить, уменьшить вероятность ошибок и погрешностей в расчетах, что позволит в короткий период времени выйти на сеанс радиосвязи [4].

Таким образом, можно сказать, что благодаря простому решению в виде программно-определяемой платформы мы сможем упростить процесс диагностики состояния линии связи, определяя и прогнозируя в реальном времени ее основные характеристики, уменьшая затрачиваемое время на подготовку и настройку оборудования, что повлечет за собой более быстрый выход на сеанс связи с другими станциями радиосвязи [5].

### **Библиографический список**

1. Хуторова, О. Г. Зондирование атмосферы и ионосферы радиосигналами спутниковых навигационных систем : учебное пособие / О. Г. Хуторова. – Казань : Казан. федер. ун-т, 2011. – 117 с.
2. Данилкин, Н. П. Радиозондирование ионосферы спутниковыми и наземными ионозондами / Н. П. Данилкина // Тематический выпуск, посвященный 70-летию сотрудника ИПГ, профессора Н. П. Данилкина ; под ред. д-ра техн. наук, проф. С. И. Авдюшина. – М., 2008.
3. Агарышев, А. И. Возможности систем передачи информации КВ-диапазона с вынесенным ретранслятором / А. И. Агарышев // Современные

проблемы радиоэлектроники и связи : матер. VIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых и специалистов. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2009. – С. 40 – 45.

4. Белоусов, О. А. Синтез цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEEE802.11, IEEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник ТГТУ. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 266 – 272.

5. Белоусов, О. А. Антенная решетка на основе широкополосной планарно-щелевой антенны с экспоненциальным изменением ширины щели для систем беспроводного широкополосного доступа / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 2(56). – С. 184 – 194.

## **ОСОБЕННОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИОСИСТЕМ**

**В. В. Помещиков, Д. А. Караваяев, В. В. Носков, А. А. Тришаков**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: v.pomeschikov@yandex.ru)

В настоящее время последнее поколение сетей сотовой связи стандарта 5G NR находится на этапе активного внедрения и освоения на территории нашей страны. Однако дефицит зарубежного оборудования и отсутствие отечественных аналогов, способных удовлетворить потребности телекоммуникационных компаний, привело к необходимости разработки собственного продукта.

В результате было принято решение о разработке отечественной базовой станции 5G на базе программно-определяемой радиоплатформы, способной работать в заданных программно-частотных диапазонах в широкой полосе, т.е. не только на уже существующих стандартах 5G и 4G, но и с заделом на будущее.

Однако даже при таких преимуществах, по сравнению с классическими базовыми станциями, полностью собранными под фиксированный частотный диапазон, при загрузке программного кода под иной частотный диапазон, также возникает необходимость заменять и привязанные к определенному диапазону конструктивы, а именно, усилители мощности и фильтры [1].

Для того чтобы уменьшить затраты на переоборудование базовых станций при переходе на требуемые заказчику частотные диапазоны, имеет место применять сверхширокополосные усилители мощности, предлагающие универсальность применения подобной технологии при высоких качестве и надежности.

Основой конструкции сверхширокополосного усилителя мощности сантиметрового диапазона являются относительно низковольтные дискретные транзисторы на нитриде галлия (GaN) с длиной затвора 0,15...0,25 мкм и рабочим напряжением 20...28 В. Это связано с тем, что при повышении рабочего напряжения пропорционально увеличивается активная часть оптимального импеданса нагрузки, требуемого для обеспечения максимума выходной мощности или КПД, при этом его паразитные части должны изменяться мало [2].

Топологические решения разрабатываются при помощи специализированных систем автоматического проектирования, таких как AWR Microwave Office, для того чтобы на выходе получить точно рассчитанные электрические параметры производительности, связанные с физическими характеристиками конструкции, а также учесть всевозможные возбуждения сигналов сложной формы в системах связи.

Таким образом, разработка сверхширокополосных усилителей мощности представляет собой актуальную проблему на сегодняшний день, поскольку их применение представляет собой универсальное решение для работы в широком спектре сантиметрового диапазона в отечественных базовых станциях нового поколения, позволяющие с минимальными затратами получить устройство с гибкой и качественной возможностью переконфигурации.

### **Библиографический список**

1. Применение алгоритмов нечеткой логики в системе управления диаграммообразующим устройством гибридной зеркальной антенны / О. А. Белосусов, Е. В. Рязанов, А. С. Колмыкова, А. И. Дякин // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31, № 4. – С. 757 – 762.

2. Микроэлектронные устройства СВЧ / Н. Т. Бова, Ю. Г. Ефремов, В. В. Конин и др. – Киев : Техжка, 1984. – 184 с.

*Исследование проводится при грантовой поддержке Фонда содействия инновациям (Группа ВЭБ.РФ) по программе «Проектная команда. Электроника» в рамках программы «У.М.Н.И.К» по договору № 52ГУРЭС14/72795 от 28.12.2021 г.*

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГРАФОВОГО АНАЛИЗА ПРИ СИНТЕЗЕ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИОПЛАТФОРМ СТАНДАРТА 5G NR

Д. В. Помещиков, А. О. Смирнов, И. С. Косырев

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов

(e-mail: rebirth263@gmail.com)

В настоящее время наблюдается тенденция использования программно-определяемых радиоплатформ для реализации высокоскоростных широкополосных сетей стандарта 5G NR. Для работы с ними необходим полноценный программный комплекс, способный взаимодействовать напрямую с аппаратной частью. Осуществлять точную настройку и получать детальную информацию о работе программно-определяемой радиоплатформы в реальном времени можно только с помощью качественного графического интерфейса, использующего методы графового анализа, которым является программный комплекс GNU Radio [1, 2].

**GNU Radio** – это программный инструментарий, который предоставляет разработчикам программно-определяемых радиосистем готовые модули, обеспечивающие основные функции цифровой обработки сигналов. Данный программный комплекс позволяет работать с программно-определяемыми платформами, используя готовые модули, написанные на C++, для взаимодействия которых друг с другом используется Python.

GNU Radio является программой с открытым исходным кодом, которая используется для цифровой обработки сигналов. Сбор программы для SDR-платформы осуществляется с помощью графовых блоков. В библиотеке программного комплекса уже имеются готовые к использованию блоки, но при желании можно создать собственные подпрограммы. Все действия управления и получения информации можно визуально отобразить в программе GNU Radio Companion (GRC) [2]. Благодаря использованию графовых методов визуализации программный комплекс легок в освоении и позволяет сэкономить немало времени на написании программного кода для программно-определяемой радиоплатформы [3].

Данный программный инструментарий позволяет визуализировать данные, которые получает программно-определяемая радиоплатформа. Вывод данных осуществляется с помощью блоков QT GUI Time Sink, USRP Sink, File Sink. Если первые два блока выводят информацию в реальном времени, то третий блок записывает данные в файл для сравнения и более подробного рассмотрения.

Применение подобной структуры позволяет значительно упростить работу с программным кодом. Один блок GRC – это целый массив кода C++, и визуализация данного массива в виде удобного графа помогает увидеть явные связи с другими массивами (блоками).

GNU Radio существенно упрощает работу с современными программно-определяемыми радиоплатформами, и они на основе данного программного комплекса могут использоваться для построения сетей высокоскоростного широкополосного доступа 5G NR и других поколений и стандартов [4]. Благодаря использованию графового метода визуализации данный программный комплекс способен решать множество задач по оптимизации написания программного кода для программно-определяемых радиоплатформ.

### **Библиографический список**

1. Липатников, В. С. Моделирование устройств цифровой обработки сигналов с помощью программного инструмента GNU Radio / В. С. Липатников // 17-я Междунар. конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA–2015». – Т. 2. – М., 2015. – С. 641 – 645.

2. Максфилд, К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца / К. Максфилд. – М. : Издательский дом «Додэка–XXI», 2007. – 408 с.

3. Muromtsev, D. Yu. Intelligent Sensor in Control Systems for Objects with Changing Thermophysical Properties / D. Yu. Muromtsev, O. A. Belousov, M. P. Belyaev // Journal of Physics : Conference Series. – International Scientific and Technical Conference on Metrology, Standardization, Quality: Theory and Practice, MSQ 2017. – Omsk; Russian Federation. – Vol. 998, Issue 1. – 13 April 2018.

4. Сеницын, Е. А. Особенности обработки сложных фазоманипулированных радиолокационных сигналов методом обратных пульсаций / Е. А. Сеницын, Д. А. Чиненов // Успехи современной радиоэлектроники. – 2015. – № 3. – С. 119 – 121.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЛИС СЕРИИ 5578ТС094 ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИОСИСТЕМ ПОКОЛЕНИЯ 5G NR**

**А. А. Тришаков, Д. А. Караваев, М. А. Крынков, К. С. Сайфуллозода**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: trishakov2016@yandex.ru)

Программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) является неотъемлемой частью при проектировании программно-определяемых радиосис-

тем поколения 5G NR, а так как стандарт пятого поколения ежедневно развивается, то в рамках импортозамещения международной электронной компонентной базы можно использовать новую серию ПЛИС 5578, которая содержит шесть слоев металлизации и напряжение питания 1,8 В.

ПЛИС – интегральная микросхема, использующаяся при создании конфигурируемых цифровых электронных устройств.

ПЛИС серии 5578ТС094 проектируются как блок пользовательской памяти (БПП) с логическими блоками, в основе которых адаптивный логический модуль (АЛМ). Структура логического блока представлена на рис. 1, в нее входят восемь АЛМ, которые имеют восемь выходных данных и одну произвольную шести входовую или две произвольные двух-, трех- или четырехходовые функции [1].

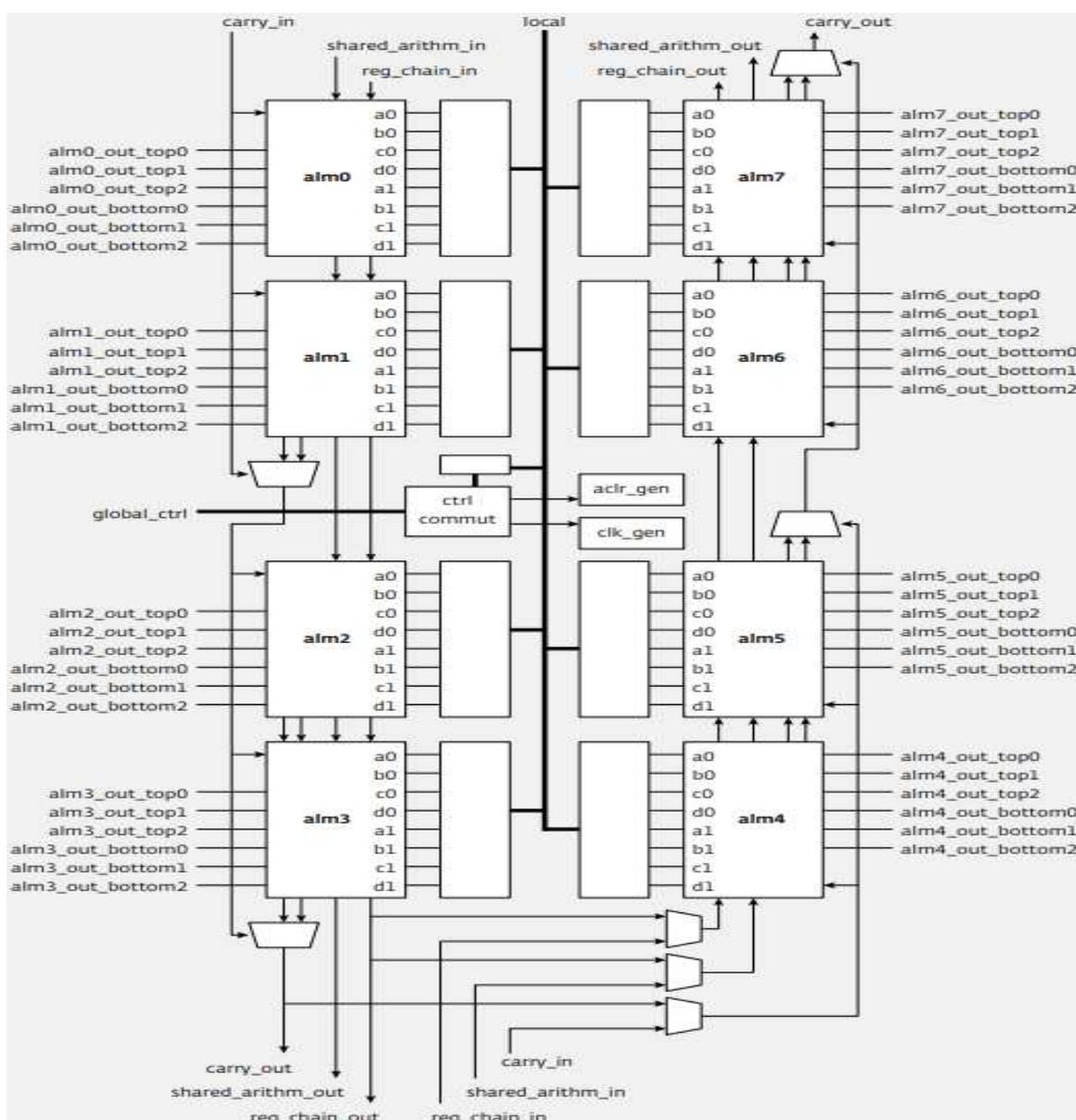
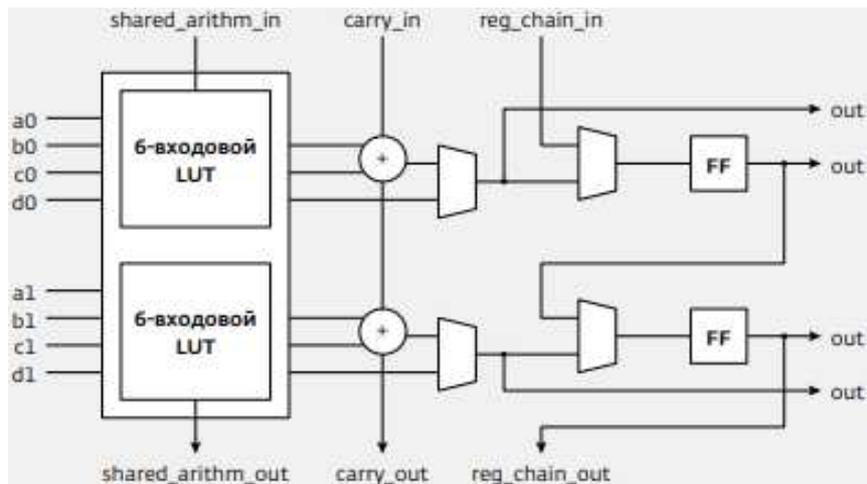


Рис. 1. Схема логического блока ПЛИС серии 5578ТС



**Рис. 2.** Схема АЛМ ПЛИС серии 5578ТС

Структуру АЛМ составляют четыре 3-входовых и два 4-входовых LUT, два выделенных сумматора и два триггера с возможностью синхронного и асинхронного сброса, синхронной загрузки из нескольких источников, использования обратной связи и обвода триггера (рис. 2).

БПП служит для высокоэффективного хранения пользовательских данных, передачи данных с помощью FIFO, хранения буферов и т.д.

Блок пользовательской памяти имеет следующие характеристики [2]:

- 4096 бит памяти на блок;
- поддержка различных конфигураций портов.

Блок цифровой обработки сигналов служит для эффективной реализации функций, которые реализуются при цифровой обработке сигналов. Блок-ЦОС ПЛИС серии 5578 близок по структуре к блоку-ЦОС ПЛИС Altera Cyclone II.

Все входные и выходные регистры в пределах одного ЦОС-блока управляются одним тактовым сигналом, сигналом разрешения тактирования и асинхронным сбросом. Для определения знакового представления переменных используются сигналы: signa и signb [4].

Исходя из вышеизложенного, можно сказать, что применение ПЛИС серии 5578ТС094 при построении программно-определяемых радиосистем поколения 5G NR актуально. Данное решение позволит упростить работу с обслуживанием устройств пятого поколения, при этом продукция будет содержать увеличенную емкость встроенной памяти и ЦОС-блоки.

### **Библиографический список**

1. Максфилд, К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца / К. Максфилд. – М. : Издательский дом «Додэка–XXI», 2007. – 408 с.

2. Конструирование блоков радиоэлектронных средств : учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, О. А. Белоусов, И. В. Тюрин, Р. Ю. Курносов. – СПб. : Лань, 2022. – 288 с.

3. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств : учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин, О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов. – СПб. : Лань, 2021. – 412 с.

4. Проектирование функциональных узлов и модулей радиоэлектронных средств [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д. Ю. Муромцев [и др.]. – СПб. : Лань, 2018. – 252 с.

*Исследование проводилось при грантовой поддержке Фонда содействия инновациям (Группа ВЭБ.РФ) по программе «Проектная команда. Электроника» в рамках программы «У.М.Н.И.К» по договору № 52ГУРЭС14/72795 от 28.12.2021 г.*

## **ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ В СРЕДЕ DELTA DESIGNER ДЛЯ РАДИОСИСТЕМ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ**

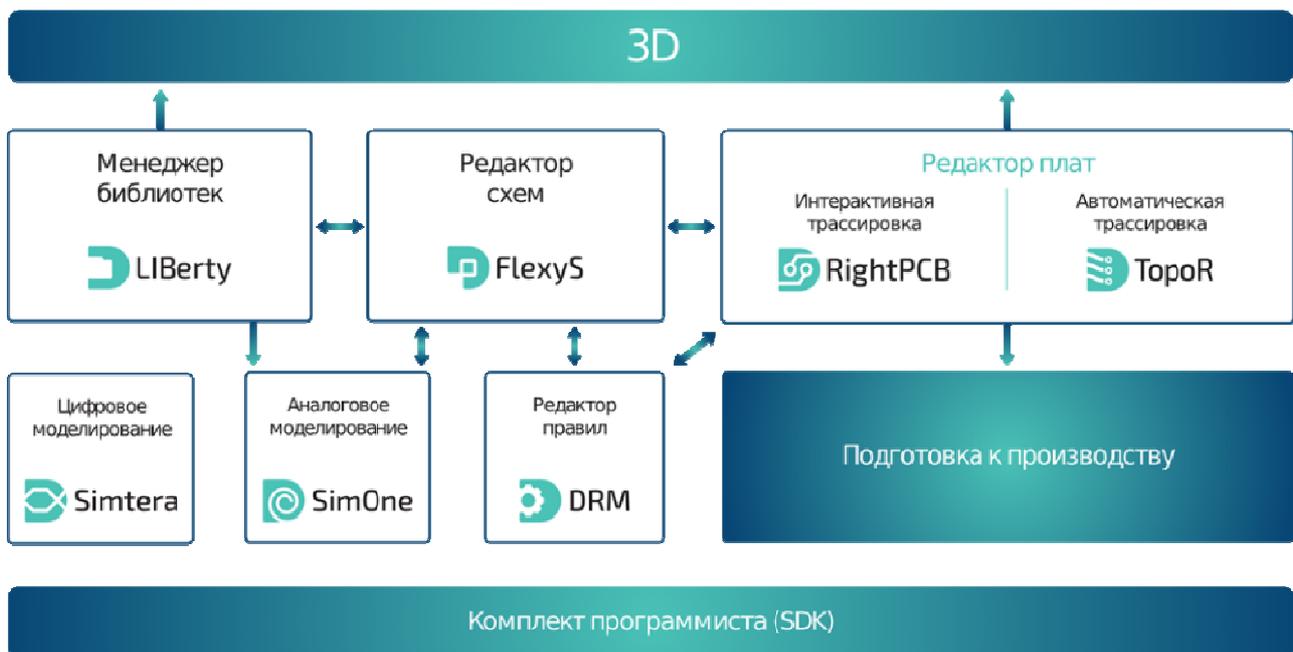
**А. А. Тришаков, Д. А. Караваев, Л. С. Ожогина, О. С. Якушов**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: trishakov2016@yandex.ru; mr.karavaev2016@yandex.ru;  
balabanova.lara2013@yandex.ru)

В настоящее время сложно представить мир без систем автоматизированного проектирования, в связи с тем, что электроника не стоит на месте и с каждым днем развивается, в особенности радиосистемы пятого поколения, обладающие сложной иерархической структурой. В создании таких устройств нам поможет среда Delta Designer, которая является чисто российской разработкой.

Delta Designer – программное обеспечение, поддерживающее Российские ГОСТы, а также позволяющее взаимодействовать с зарубежными стандартами. САПР построена на базе транзакционной СУБД IPR, обеспечивающей целостность, надежность и безопасность хранения данных [1].

В Delta Designer реализованы современные методы подхода к автоматизации проектных работ и система в целом полностью соответствует требованиям, предъявляемым к средствам автоматизированного проектирования электронных устройств. Функционал данного САПР способен обеспечить рядом итераций при разработке электронных устройств (рис. 1) [2]:

– формирование базы данных радиоэлектронных компонентов и поддержание ее в актуальном состоянии;



**Рис. 1. Функционал САПР Delta Designer**

- разработка схем электрических принципиальных;
- проведение моделирования аналоговых и цифровых схем; анализ результатов моделирования;
- разработка конструкции печатных плат;
- расположение компонентов и проведение полуавтоматической и автоматической трассировки печатных плат;
- выпуск конструкторской документации (в соответствии со стандартами);
- выпуск производственной документации, в том числе для автоматизированных производственных линий;
- подготовка данных для составления перечня закупаемых изделий и материалов, необходимых для реализации проекта.

Проектирование печатного монтажа является наиболее сложным этапом в цикле разработки электронного устройства и включает следующие этапы [3]:

- разработка конструктивов ПП: создание необходимого количества слоев, организация подводки цепей земли и питания, размещение крепежных узлов, деталей и т.д.;
- задание правил проектирования печатного монтажа: минимальный зазор между элементами, минимально разрешенные размеры токоведущих соединений и т.д.;
- размещение электронных компонентов на наружных слоях печатной платы;

– прокладка соединений на слоях ПП в соответствии с заданной электрической схемой и правилами проектирования печатного монтажа.

Для трассировки печатных плат в Delta Designer существует два редактора: TopoR и RightPCB.

RightPCB – классический трассировщик печатных плат (рис. 2).

Преимущества данного трассировщика являются:

– автоинтерактивная трассировка соединений под углом, кратным  $45^\circ$  ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и т.д.);

– автоматический поиск кратчайших соединений в лабиринте печатного монтажа с учетом всех заданных ограничений;

– подключение трассируемых соединений к контактным площадкам в любых точках контуров этих площадок с контролем «острых» углов и соблюдения заданных зазоров;

– минимизация количества точек поворотов в трассируемых соединениях;

– построение межслойных переходов для коммутации соединений в цепи, расположенных на разных слоях двухслойных и многослойных ПП;

– трассировка дифференциальных пар.

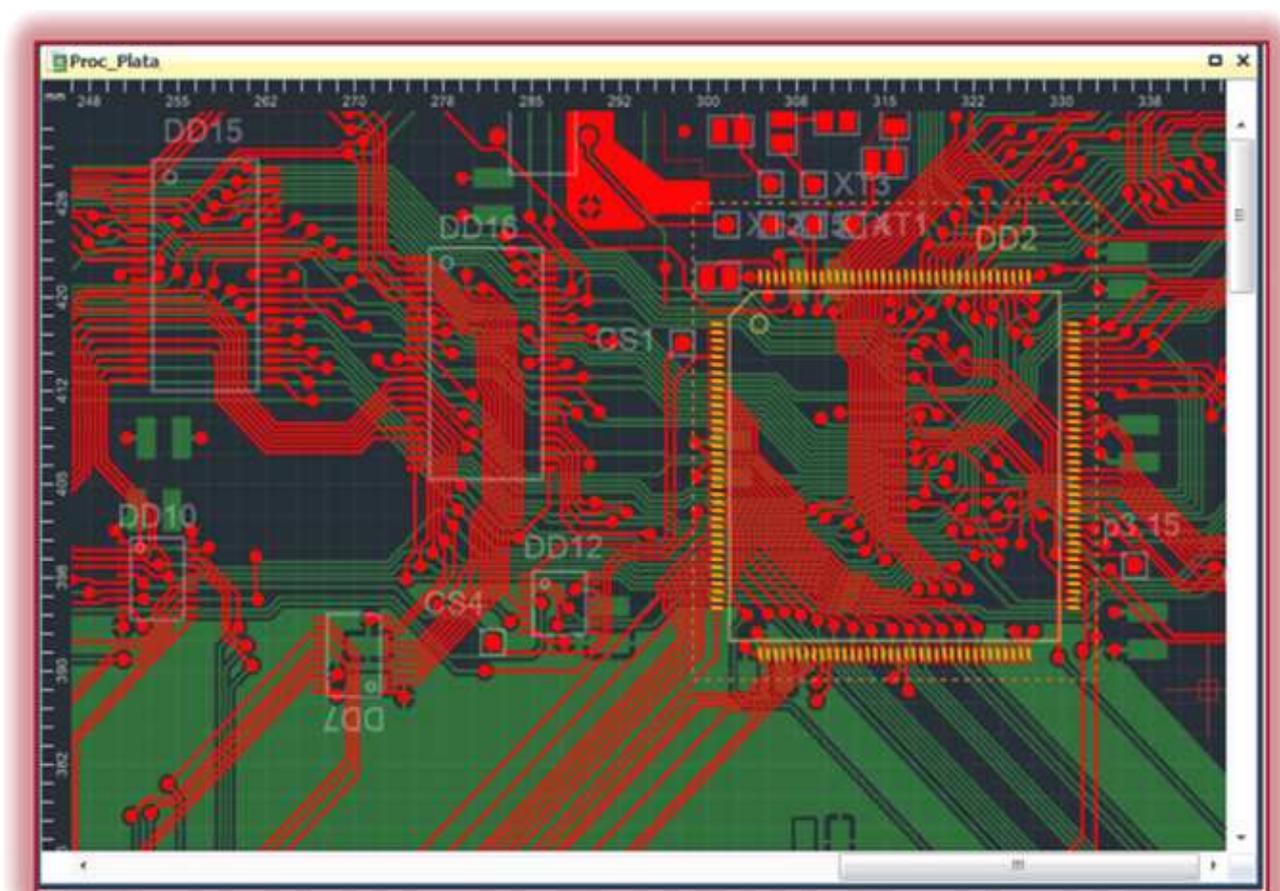


Рис. 2. Трассировка печатной платы в редакторе RightPCB

ТороR – высокопроизводительный топологический трассировщик печатных плат, не имеющий аналогов [4].

Использование топологической трассировки ТороR обеспечивает значительное сокращение сроков проектирования печатных плат, повышение их технологичности, надежности и качества при одновременном снижении затрат на производство (рис. 3).

Преимуществом данного трассировщика являются:

- высокая скорость, что значительно сокращает время проектирования ПП;
- снижение протяженности параллельных трасс и уменьшение перекрестных электромагнитных помех;
- решение сложных задач и нахождение нетрадиционных решений;
- широкий набор инструментов;
- проводники без изломов, что позволяет эффективно использовать неиспользованное пространство.

ТороR отличается тем, что не имеет преимущественных направлений трассировки, кратных  $45^\circ$ . Автотрассировка под произвольными углами обеспечивает более экономичное использование коммутационного пространства. За счет этого уровень электромагнитных перекрестных помех снижается в несколько раз, по сравнению с разводкой других САПР.

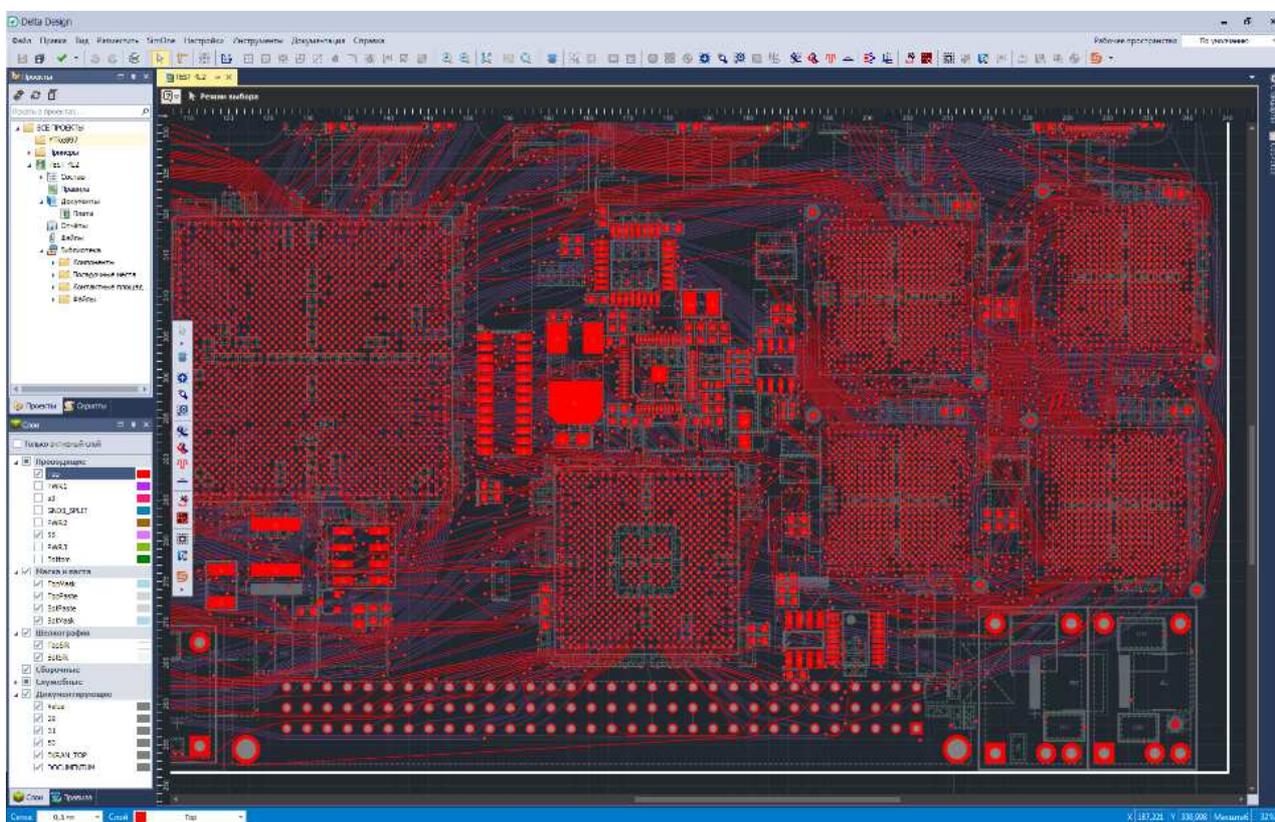


Рис. 3. Трассировка печатной платы в редакторе ТороR

Так же Delta Designer имеет функцию комплект программиста, благодаря которой можно по завершению трассировки печатной платы приступить к написанию кода, который в дальнейшем будет использоваться при работе с данным устройством, что ускорит процесс проектирования электронного устройства.

Комплект программиста (SDK) – расширение функциональных возможностей данной САПР и автоматизация отдельных проектных операций, которые провели пользователи. В поставку Delta Designer включен набор инструментальных средств для разработки скриптов на языке С#, доступа к основным функциям системы через открытый программный интерфейс работы со схемой, печатной платой, библиотеками электронных компонентов [5].

Таким образом, рассмотренные вышеизложенные принципы проектирования подтверждают, что САПР Delta Designer значительно упростит и ускорит процесс проектирования быстродействующих цифровых устройств для радиосистем пятого поколения.

### **Библиографический список**

1. Малюх, В. Введение в современные САПР / В. Малюх. – М. : Гостехиздат, 2014. – 192 с.
2. Компания Eremex: Delta Deisgner : официальный сайт. – М., 2008. – URL : <https://www.eremex.ru/products/delta-design/> (дата обращения: 19.04.2022).
3. Конструирование блоков радиоэлектронных средств : учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, О. А. Белоусов, И. В. Тюрин, Р. Ю. Курносов. – СПб. : Лань, 2022. – 288 с.
4. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств : учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, И. В. Тюрин, О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносов. – СПб. : Лань, 2021. – 412 с.
5. Проектирование функциональных узлов и модулей радиоэлектронных средств [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д. Ю. Муромцев и др. – СПб. : Лань, 2018. – 252 с.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПОВЫШЕННЫМ КПД НА ОСНОВЕ НИТРИД-ГАЛЛИЕВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР**

**И. Н. Кочетов, В. В. Помещиков, П. А. Таенков, М. А. Крынков**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: igor.kochetov.97@mail.ru)

С развитием телекоммуникационных систем разрабатывается и внедряется оборудование, основанное на новых технологиях. Ему требуется соответст-

вующее высококачественное питание, отличное от того, которое использует основное оборудование.

В связи с этим возникает потребность в разработке новых высокоэффективных вторичных источников питания. Решением данного вопроса является использование в них полупроводниковых нитрид-галлиевых структур.

Использование в современных источниках питания и преобразователях GaN-транзисторов является достаточно перспективным направлением развития электроники [1]. Так, у полупроводников на основе нитрида галлия бóльшая ширина запрещенной зоны, что позволяет достичь высокой стабильности параметров при температурных колебаниях, напряженность электрического поля значительно выше, а удельное сопротивление в открытом состоянии намного меньше.

Однако при проектировании силовых устройств на GaN-структурах присутствует ряд особенностей, которые требуют особого внимания. Одной из них являются параметры затвора транзистора [2]. У него низкое пороговое напряжение, а также он имеет меньшую емкость затвора, чем у МОП-транзистора. Это является как достоинством, так и недостатком. Решением в этом случае является уменьшение паразитной индуктивности в цепях затвора [3].

Другим немаловажным фактором является скорость нарастания напряжения на стоке GaN-транзистора. Оно достаточно высоко, что позволяет снизить потери при «жестком» переключении, но усиливаются электромагнитные помехи, что могут повлиять на цепи управления и выводу устройства из строя. Для избежания этого следует выбирать соответствующие драйвер затвора и источник его питания.

Еще одна особенность заключается в температурных режимах работы ключа и особенностью расположения элементов устройства. Для наилучшей работы требуется соблюдать минимальную длину затворных цепей, а значит, драйвер затвора находится в непосредственной близости от транзистора, имеющего высокую температуру. В связи с этим рекомендуется выбирать драйверы и источники питания, которые обладают надежностью работы при высоких температурах.

Для организации работы транзисторов на основе нитрида галлия требуются специальные драйверы. Они формируют управляющие токи и напряжения. Их использование позволяет решить часть проблем, возникающих в процессе проектирования. Производители современной микроэлектроники изготавливают эти драйверы вместе с источниками их питания в едином микросхемном корпусе, что позволяет значительно минимизировать размеры преобразователя [4].

Таким образом, использование нитрид-галлиевых транзисторов при разработке источников питания и преобразователей имеет свои особенности, однако при грамотном проектировании эти устройства будут значительно превосходить по своим параметрам устройства, построенные на основе кремниевых транзисторов. Именно такие устройства будут востребованы для нового современного телекоммуникационного оборудования.

### **Библиографический список**

1. Маниктала, С. Импульсные источники питания от А до Z / С. Маниктала ; пер. с англ. – К. : МК-Пресс ; СПб: КОРОНА-ВЕК, 2014. – 256 с.
2. Браун, М. Источники питания. Расчет и конструирование / М. Браун ; пер. с англ. – К. : МК-Пресс, 2007. – 288 с.
3. Мэк, Р. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению / Р. Мэк ; пер. с англ. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 272 с.
4. Конструирование блоков радиоэлектронных средств : учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, О. А. Белоусов, И. В. Тюрин, Р. Ю. Курносов. – СПб. : Лань, 2022. – 288 с.

### **РАСПРОСТРАНЕНИЕ КОРОТКИХ РАДИОВОЛН В ИОНОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**

**Н. В. Заходякин, Р. Д. Карих, В. П. Семичастнов, Д. В. Заварзин**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: [zakhodyakin00@mail.ru](mailto:zakhodyakin00@mail.ru))

В начале XX века был открыт слой атмосферы Земли, позже названный ионосферой, способный отражать радиоволны, а также оказывающий немалое влияния на работу различных систем радиосвязи и навигации. Ионосфера – часть верхней атмосферы Земли, где плотность находящихся свободных электронов достаточна, чтобы оказывать значимое влияние на распространение радиоволн. Ионизацией называют процесс расщепления газовых молекул ультрафиолетовыми лучами солнца на положительно заряженные частицы, а именно на ионы и на электроны.

Наличие в верхних слоях атмосферы свободных электронов определяет электрические параметры ионизированного газа, а именно – его диэлектрическую проницаемость и проводимость. Электронной плотностью называют число электронов, которые содержатся в единице объема воздуха. Электронная

плотность ионосферы не постоянна на различных высотах, это приводит к отражению и преломлению радиоволн в ионосфере [1].

Объемные неоднородности ионизированного газа вызывают рассеивание радиоволн, а указанные выше явления определяют условия распространения радиоволн в ионосфере и могут быть использованы в одних случаях, а в других – учтены во время работы сеанса радиопередачи

Короткие (КВ) или декаметровые (ДКМ) радиоволны с частотами от 3 до 30 МГц распространяются на большие расстояния по Земле путем множественных последовательных отражений от ионосферы и поверхности Земли, именно благодаря этому свойству возможна радиопередача на большие расстояния. Обычно, проникая в ионосферу Земли, КВ радиоволны преломляются, а при достаточной ионизации атмосферы – могут возвратиться обратно на поверхность Земли [2].

В первом случае, ионизация атмосферы настолько слабая, что радиоволны могут пройти через слой, лишь немного искажая свой путь. Во втором варианте ионизации достаточно, чтобы радиоволны смогли отразиться от атмосферы и вернуться на поверхность. И в последнем исходе ионизирующий слой настолько силен, что испускаемые радиоволны полностью поглощены [3].

Значительное влияние для распространения КВ радиоволн имеет угол падения на ионосферу. Так называемый эффект «зоны молчания» возникает, когда ионизация недостаточна для отражения радиоволн, которые падают под крутым углом. Все радиоволны, испускаемые антенной под углом, превышающим значение критического угла, проходят через ионосферу, а те, что с меньшим значением, возвращаются на поверхность. [4]

Таким образом, имея знания и представление о распространении КВ радиоволн в ионосфере Земли, можно добиться максимальной эффективности передачи радиосигнала от условной точки А до точки Б.

### **Библиографический список**

1. Грудинская, Г. П. Распространение радиоволн : учебное пособие / Г. П. Грудинская. – М., 1975. – 280 с.
2. Альперт, Я. Л. Распространение низкочастотных электромагнитных волн в волноводе Земля – ионосфера / Я. Л. Альперт, Э. Г. Гусева, Д. С. Флигель ; АН СССР. Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн. – М. : Наука, 1967. – 123 с.
3. Фейнберг, Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности / Е. Л. Фейнберг ; РАН. Физ. ин-т им. П. Н. Лебедева. – 2-е изд. – М. : Наука: Физматлит, 1999. – 495 с.

4. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов. – 2-е изд., доп. – СПб. : Лань, 2022. – 448 с.

## **LTE- И LTE-A-СТАНДАРТЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ**

**П. А. Ворогушин**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: pavel\_vorogushin1998@mail.ru)

*Аннотация:* в данной статье описываются LTE- и LTE-A-стандарты телекоммуникации.

*Ключевые слова:* телекоммуникация; беспроводная широкополосная связь; пропускная способность; спектральная эффективность; скорость передачи данных.

Телекоммуникация – это передача знаков, сигналов, сообщений, письменного текста, изображений, звуков или сведений любого рода посредством проводных, радио-оптических или других электромагнитных систем. Телекоммуникация происходит, когда при обмене информацией между участниками связи используются технологии. Передача происходит либо электрически через физические носители, такие как кабели, либо с помощью электромагнитного излучения.

В области телекоммуникаций Long-Term Evolution (LTE) является стандартом для беспроводной широкополосной связи для мобильных устройств и терминалов передачи данных, основанной на GSM/EDGE- и UMTS/HSPA-технологии. Это увеличивает емкость и скорость с использованием другого радиоинтерфейса вместе с улучшениями базовой сети [1].

Стандарт разработан 3GPP (Проект партнерства третьего поколения) и указан в его серии документов версии 8 с небольшими улучшениями, описанными в версии 9. LTE иногда известен как 3.95G и продавался как «4G LTE» и как «Advanced 4G», но он не соответствует техническим критериям беспроводной услуги 4G, как указано в сериях документов 3GPP Release 8 и 9 для LTE Advanced.

Целью LTE было увеличение пропускной способности и скорости беспроводных сетей передачи данных с использованием новых методов и модуляции DSP (цифровой обработки сигналов), которые были разработаны на рубеже тысячелетий. Следующей целью было изменение и упрощение сетевой архитектуры до системы на основе IP со значительно уменьшенной задержкой пере-

дачи по сравнению с 3G-архитектурой. Беспроводной интерфейс LTE не совместим с сетями 2G и 3G, поэтому он должен работать в отдельном радиочастотном спектре.

Характеристики LTE:

- пиковая спектральная эффективность: нисходящий канал 16 бит/с/Гц (при MIMO 4×4); восходящий канал 4 бит/с/Гц
- поддерживаемая ширина канала: до 20 МГц
- задержка передачи данных: ~5 мс.
- осуществление передачи данных со скоростью до 100 Мбит/с, что соответствует 12,5 Мб/с.

Характеристики LTE-A:

- пиковая спектральная эффективность: нисходящий канал 30 бит/с/Гц (при MIMO 8×8); восходящий канал 16,1 бит/с/Гц (при MIMO 4×4)
- поддерживаемая ширина канала: до 100 МГц
- задержка передачи данных: ~5 мс
- осуществление передачи данных на скоростях от 100 Мбит/с (12,5 Мб/с) до 1 Гбит/с (125 Мб/с).

Основными преимуществами LTE-A-стандарта перед LTE является:

- увеличение количества передающих и приемных антенн вплоть до 8 с каждой стороны (MIMO 8×8);
- Carrier Aggregation – объединение частотных каналов, суммарная ширина которых может достигать 100 МГц;
- Coordinated Multipoint (CoMP) Transmission/Reception – обслуживание одного абонента несколькими базовыми станциями;
- HetNet – гетерогенные сети, использование пико- и микробазовых станций.

Базовые технологические возможности развиваются дальше, что ведет к еще более высоким скоростям передачи данных и более высокой плотности размещения базовых станций, и следующий шаг в эволюции развития называется LTE-Advanced [2]. Направлен он на получение скоростей, свыше 1 Гбит/с.

### Библиографический список

1. LTE-Advanced – это будущее, но эволюционное // Открытые системы : официальный сайт. – URL: <https://osp.ru/news/articles/2012/07/13012665> (дата обращения: 10.04.2022).
2. LTE // The 3rd Generation Partnership Project : сайт. – URL: <https://3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte> (дата обращения: 10.04.2022).

# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ РАСЧЕТА РЕБРИСТО-СТЕРЖНЕВОЙ АНТЕННЫ

П. А. Ворогушин

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов  
(e-mail: pavel\_vorogushin1998@mail.ru)

*Аннотация:* описываются параметры ребристо-стержневой антенны.

*Ключевые слова:* антенны бегущей волны; ребристо-стержневая антенна; коэффициент замедления; диэлектрическая стержневая антенна.

Расчет электрических параметров ребристо-стержневой антенны проводится аналогично расчету параметров диэлектрической стержневой антенны.

Фазовая скорость, с которой электромагнитная волна распространяется вдоль диэлектрического стержня, зависит от диэлектрической проницаемости материала стержня, а также от отношения диаметра стержня  $d$  к длине волны (рис. 1) [2].

Величина диаметра стержня, соответствующая этому условию, может быть определена по формуле

$$d_{\min} = \frac{0,4\lambda}{\sqrt{\epsilon_{\Gamma} - 1}}.$$

Максимальный диаметр стержня должен удовлетворять неравенству [3]

$$d_{\max} \Rightarrow \frac{0,4\lambda}{\sqrt{\epsilon_{\Gamma} - 1}}.$$

По выбранному значению  $d_{\max}$  и по графику (рис. 1) находится замедление  $\xi = c / v_{\phi}$ .

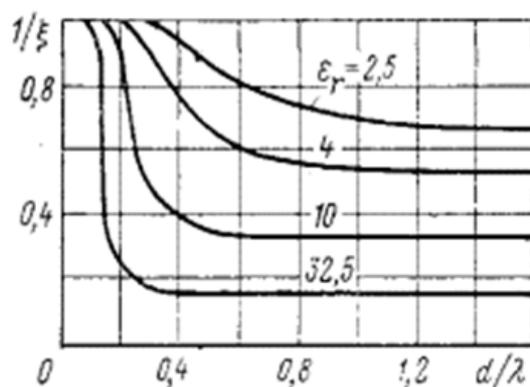


Рис. 1. Зависимость обратной величины коэффициента замедления ( $1/x = v_{\phi} / c$ ) волны типа HE11 от отношения  $d/l$  от  $\epsilon_{\Gamma}$

ДН антенны выражается формулой

$$f(q) = f_0(q) fC(q).$$

Ширина диаграммы направленности определяется выражением

$$2\theta_{0,5}^0 \approx 60^\circ \sqrt{\frac{\lambda}{L}}.$$

С другой стороны, максимальный коэффициент направленного действия антенны достигается при длине стержня, равной

$$L = \frac{\lambda_{\text{ср}}}{2(\xi - 1)}.$$

КНД антенны можно определить по формуле [1]

$$D_0 \approx (7...8) \frac{L}{\lambda_{\text{ср}}}.$$

Таким образом, подбор параметров антенны позволяет увеличить КНД и сузить диаграмму направленности.

### **Библиографический список**

1. Юрцев, О. А. Резонансные и апертурные антенны : методическое пособие / О. А. Юрцев. – Минск : БГУИР, 2000. – 89 с.
2. Зырянов, Ю. Т. Антенны учебное пособие / Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов. – Тамбов, 2014. – 128 с.
3. Жук, М. С. Проектирование антенно-фидерных устройств / М. С. Жук, Ю. Б. Молочков. – М. : Энергия, 1966. – 648 с.

## **ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В МЕДИЦИНЕ**

**Т. К. Гончарова, И. А. Попов**

**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: streltsova.ttanya@yandex.ru)

Медицинская термография – это метод дистанционного обследования пациентов с помощью специального прибора – тепловизора, позволяющего улавливать ИК-излучение и преобразовывать его в изображение – термограмму, которая регистрирует распределение тепла на поверхности тела.

Начало развития термографии берет в 1840-х г., когда британский ученый Джон Гершель в результате экспериментов с естественным солнечным светом, что сейчас является ИК-излучением, получил первое тепловое изображение. После данного открытия многие ученые внесли вклад в углубление знаний об ИК-излучении. Однако быстрой возможности успешно реализовать практическое использование тепловидения не оказалось, но за это время были открыты законы радиации Кирхгофа, Стефана, Больцманна, Вина и Планка. Эти законы учтены в современной тепловизионной и радиотермометрической технике, что позволяет, измеряя излучение тел, определять их температуры. Приемники дистанционного действия (тепловизоры, ИК и миллиметровые радиотермометры) регистрируют радиояркостную температуру, т.е. температуру, соответствующую мощности электромагнитного излучения тела человека. Но уже к середине XX века интенсивная и успешная работа по военному использованию ИК-технологии способствовала созданию первых тепловизоров.

История создания тепловизоров для медицинского применения включает в себя несколько поколений приборов. Немецкий физик-спектроскопист Мариан Черни в 1925 г. разработал эвапорограф. Его ученик Боулинг Барнс в 1950-х гг. построил первый тепловизор на основе термисторов. Один из таких приборов и применил канадский акушер-гинеколог и медицинский исследователь Рэй Лоусон для получения термограммы молочных желез. В 1956 году он опубликовал работу с использованием ИК-визуализации, в которой сообщил о выявлении области с повышенной температурой на поверхности тела в проекции верифицированных злокачественных опухолей молочной железы у 26 женщин. Исследование Рэй Лоусона можно считать началом нового диагностического метода клинической термографии, или медицинского тепловидения.

Достоинства тепловидения являются: абсолютная безвредность и визуальная наглядность, простота и быстрота получения результатов при высокой информативности. Существующие тепловизоры для медицинской практики обладают высоким температурным разрешением, более узким температурным диапазоном, оптимальным разрешением матрицы изображения, небольшие габариты, удобное программное обеспечение, которое позволяет вести долговременную диагностику в режиме реального времени с записью и с последующим сохранением данных, обладают мобильностью и отсутствием привязки к кабинету с заданными свойствами.

Температура на поверхности тела является интегральным показателем и в ее формировании принимают участие: сосудистая сеть (артерии и вены, лимфатическая система), уровень метаболизма в органах и теплопроводность тела. При анализе термограмм должны учитываться все эти факторы. Главным из

них является сосудистая сеть, который и определяет основные направления использования ИК-тепловидения в клинической медицине. Увеличение притока крови или, наоборот, его уменьшение, вызванное сужением сосудов (стеноз) или их закупоркой (окклюзия), приводит к повышению или снижению температуры тканей соответственно. Результативность и качество диагностики также зависит от опытного и грамотного специалиста в области медицинской термографии.

Так, в настоящее время жителям Тамбовской области доступен инновационно-информативный, безопасный метод обследования женских молочных желез в ряде частных клиник г. Тамбова. Тепловизионный метод исследования позволяет выявить раннюю стадию заболевания.

Современная тепловизионная диагностика имеет основания стать одной из главных информационных технологий с обширной областью применения в медицинской практике.

### **Библиографический список**

1. Михеев, С. В. Основы инфракрасной техники : учебное пособие / С. В. Михеев. – СПб. : Университет ИТМО, 2017. – С. 52 – 54.

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАДИОВОЛНОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ СО СЛОЖНОЙ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРОЙ**

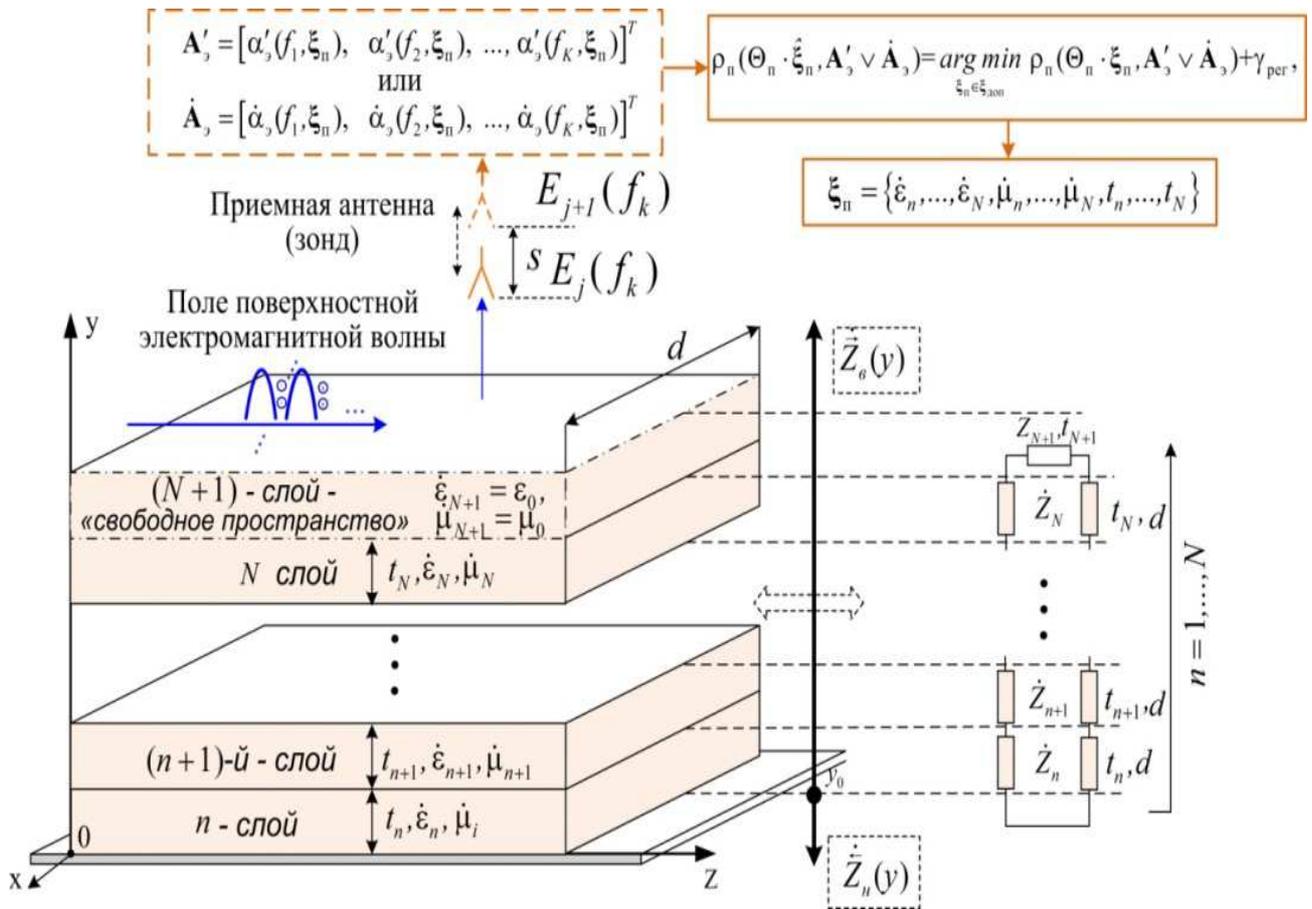
**А. И. Казьмин, П. А. Федюнин, В. А. Манин**

**ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора**

**Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Россия, Воронеж**

(e-mail: [alek-kazmin@yandex.ru](mailto:alek-kazmin@yandex.ru))

Одним из способов достижения требуемых характеристик материалов и покрытий (МП), работающих в диапазоне СВЧ, является реализация их в виде многослойных диэлектрических и магнитодиэлектрических структур с диэлектрическими и магнитными потерями [1]. При этом, с точки зрения основного целевого назначения, – работа в диапазоне СВЧ, эффективность многослойных МП будет определяться их электрофизическими и геометрическими параметрами (ЭФП), к важнейшим из которых относятся комплексные диэлектрическая и магнитная проницаемости  $\epsilon$  и  $\mu$ , а также толщина слоев МП  $t$  [1, 2].



**Рис. 1.** Геометрия задачи измерения ЭФП многослойных МП

Исходя из этого, разработка перспективных радиоволновых методов контроля ЭФП многослойных МП является актуальной научной задачей.

Геометрия задачи измерения ЭФП многослойных МП с помощью методов поверхностных электромагнитных волн (ПЭМВ) представлена на рис. 1.

Методы ПЭМВ основаны на измерении вектора ЭФП многослойных МП  $\xi_\pi = \{\dot{\epsilon}_n, \dots, \dot{\epsilon}_N; \dot{\mu}_n, \dots, \dot{\mu}_N; t_n, \dots, t_N\}$  по частотной зависимости комплексного коэффициента ослабления (КО) поля ПЭМВ, возбуждаемой в исследуемом образце:

$$\mathbf{A}_\pi = [\alpha'(f_k, \xi_\pi), \dots, \alpha'(f_K, \xi_\pi)], \quad k = 1, \dots, K, \quad (1)$$

где  $\alpha'(f_k, \xi_\pi) = \frac{1}{J \sum_{j=1}^J \frac{1}{s} \ln \left( \frac{E_j}{E_{j+1}} \right)}$  – действительная часть КО поля ПЭМВ МП;

$E_j$  и  $E_{j+1}$  – значения напряженности электрического поля ПЭМВ измеренные по нормали к поверхности МП в точках измерений  $y$  и  $y + s$ ;  $s$  – расстояние между точками измерений;  $J$  – количество точек измерения;  $\xi_\pi = \{\dot{\epsilon}_n, \dots, \dot{\epsilon}_N; \dot{\mu}_n, \dots, \dot{\mu}_N; t_n, \dots, t_N\}$  – вектор ЭФП многослойного МП;

$\dot{\epsilon}_n, \dots, \dot{\epsilon}_N$  – комплексные диэлектрические проницаемости слоев;  $\dot{\mu}_n, \dots, \dot{\mu}_N$  – комплексные магнитные проницаемости слоев;  $t_n, \dots, t_N$  – толщины слоев многослойного МП;  $K$  – количество частот измерений, путем решения операторного уравнения первого рода [2]:

$$\Theta_{\Pi} \xi_{\Pi} = \dot{\alpha}(f_k, \xi_{\Pi}), \quad \xi_{\Pi} \in \Xi_{\Pi}, \quad \dot{\alpha}(f_k, \xi_{\Pi}) \in \mathbf{A}_{\Pi}, \quad (2)$$

где  $\Xi_{\Pi}$  – метрическое пространство векторов  $\xi_{\Pi}$  для ММ;  $\mathbf{A}_{\Pi}$  – метрическое пространство КО поля ПЭМВ для многослойного МП;  $\Theta_{\Pi}$  – нелинейный оператор для многослойного МП, осуществляющий преобразование множества значений вектора  $\xi_{\Pi}$  в множество значений КО поля ПЭМВ  $\dot{\alpha}(f_k, \xi_{\Pi})$ .

### Библиографический список

1. Многослойные поглощающие структуры из композитных материалов / А. П. Виноградов, А. Н. Лагарьков, А. К. Сарычев, И. Г. Стерлина // Радиотехника и электроника. – 1996. – Т. 41, № 2. – С. 158 – 161.
2. Казьмин, А. И. Методологические принципы определения электрофизических параметров материалов и покрытий со сложной внутренней структурой с помощью поверхностных электромагнитных волн / А. И. Казьмин // Дефектоскопия. – 2022. – № 3. – С. 34 – 49.

## ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА РЕБРИСТО-СТЕРЖНЕВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЯХ ДЛЯ СЕТЕЙ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

**В. И. Тетюхин, О. А. Белоусов, П. А. Таенков, Д. А. Караваяев**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: [tetjukhin@mail.ru](mailto:tetjukhin@mail.ru))

Для реализации требований, заявленных стандартом сетей связи пятого поколения, таких как пиковая скорость передачи данных, минимальная задержка, поддержание связи при максимальной скорости передвижения объектов и максимальная плотность подключенных в городских условиях устройств, в том числе из мира Интернета вещей, требуется разработка нового приемопередающего оборудования, в частности антенных систем. Они обязаны соответствовать таким условиям, как использование широкополосного сигнала, применение технологии работы в кросс-поляризации и формирование многолучевых диаграмм направленности в реальном времени [1]. К таким антенным системам

относятся цифровые антенные решетки. Их применение позволит формировать сигналы цифровым способом, в том числе при помощи программно-определяемых радиосистем и совместно с интеллектуальным алгоритмом, базирующимся на технологиях искусственного интеллекта и алгоритмах нечеткой логики [2].

В связи с этим возникает задача синтеза феноменологической модели такой решетки для получения основных электродинамических характеристик и оценки возможности ее применения в сетях пятого поколения.

Для решения данной задачи предлагается использовать ребристо-стержневые излучатели [3], так как они обладают высоким коэффициентом усиления, линейностью волнового сопротивления для нужного диапазона частот и возможностью работы в кросс-поляризации. Чтобы обеспечить оптимальное количество лучей и необходимое покрытие, была выбрана плоскокольцевая антенная решетка, состоящая из девяти рядов по четыре излучателя. Построим феноменологическую модель плоскокольцевой антенной решетки для диапазона 4,7 ГГц (рис. 1).

На основе результатов анализа феноменологической модели антенной решетки мы получили следующие результаты: на основной частоте диаграмма направленности имеет три лепестка шириной  $60^\circ$  по уровню  $-3$  дБ, коэффициент усиления 11,1 дБ и коэффициент направленного действия 13 дБ.

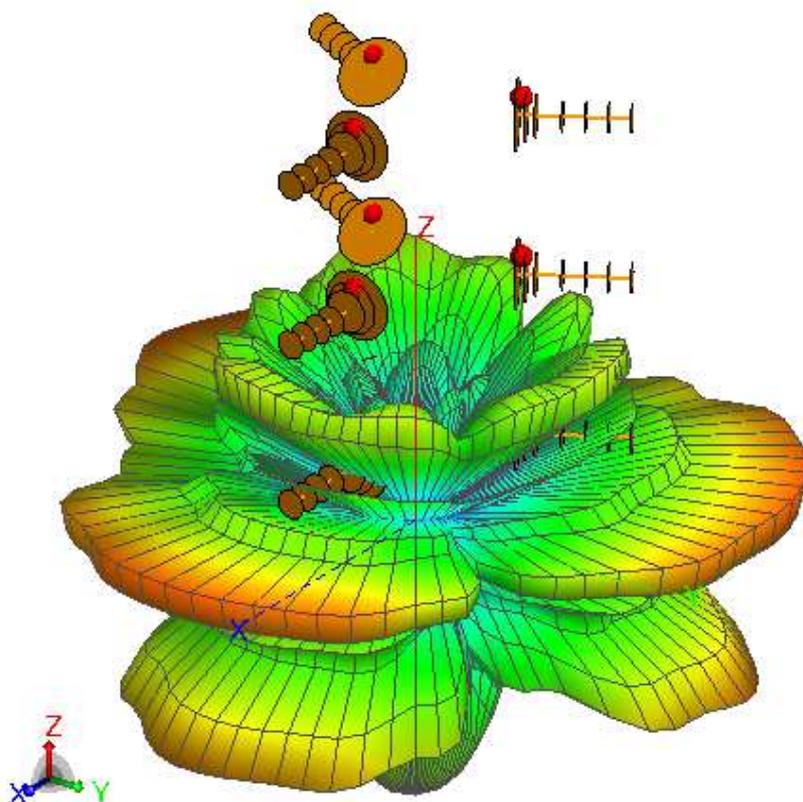


Рис. 1. Модель антенной решетки с трехмерной диаграммой направленности

Таким образом, полученная антенная решетка подходит для применения в сетях передачи данных, соответствующих стандарту 5G, за счет чего появится возможность увеличить пропускную способность и формировать многолучевые диаграммы направленности в реальном времени, подстраивая их под сценарий использования. Применение данного типа цифровых антенных решеток ускорит развертывание сети передачи данных пятого поколения за счет большей зоны покрытия.

### **Библиографический список**

1. Воскресенский, Д. И. Активные фазированные антенные решетки / Д. И. Воскресенский, А. И. Канащенков. – М. : Радиотехника, 2004. – 456 с.
2. Воскресенский, Д. И. Проектирование фазированных антенных решеток / Д. И. Воскресенский, В. И. Степаненко. – М. : Радиотехника, 2012. – 744 с.
3. Синтез излучателя для сетей беспроводного широкополосного доступа на основе замедляющих электродинамических структур / А. Ю. Дмитриевцев, О. А. Белоусов, М. А. Кудряшов, В. И. Тетюхин, М. М. Кирюпин // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2021. – Т. 24, № 3. – С. 36 – 45.

*Исследование проводится при грантовой поддержке Фонда содействия инновациям (Группа ВЭБ.РФ) по программе «У.М.Н.И.К» по договору № 17092ГУ/2021 от 18 ноября 2021 г.*

## **АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОЛУЧЕВЫХ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ СЕТЕЙ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ**

**В. И. Тетюхин, К. С. Сайфуллозода, В. В. Помещиков, А. О. Смирнов**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: tetjukhin@mail.ru)

Стандарт сетей связи пятого поколения предъявляет такие требования, как пиковая скорость и минимальная задержка передачи данных в условиях максимальной плотности устройств и скорости их перемещения. Для реализации данных требований необходимо использовать антенные системы, способные формировать многолучевые диаграммы направленности в реальном времени.

К таким антенным системам относятся цифровые антенные решетки. Они используют сигналы, формируемые цифровым способом программно-определяемыми радиосистемами, использующими алгоритмы формирования многолучевых диаграмм направленности [1, 2].

В связи с этим возникает задача разработки интеллектуального алгоритма, базирующегося на технологиях искусственного интеллекта и алгоритмах нечеткой логики, для получения диаграмм направленности и оценки возможности его применения в диаграммообразующих устройствах [3].

Рассмотрим диаграмму направленности в горизонтальной плоскости линейной эквидистантной антенной решетки с изотропными излучателями [4]:

$$F(\varphi) = \frac{\sin^2\left(\pi \frac{Nd}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\sin^2\left(\pi \frac{d}{\lambda} \sin \varphi\right)}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество элементов антенной решетки;  $d$  – расстояние между ними;  $\lambda$  – длина волны;  $\varphi$  – азимутальный угол.

Разработанный алгоритм позволяет управлять шириной (рис. 1) и направлением (рис. 2) главного лепестка, а также их количеством (рис. 2, б).

На основе результата работы данного алгоритма можно сделать вывод, что данный алгоритм способен формировать диаграммы направленности различных конфигураций, необходимых для работы в сетях пятого поколения.

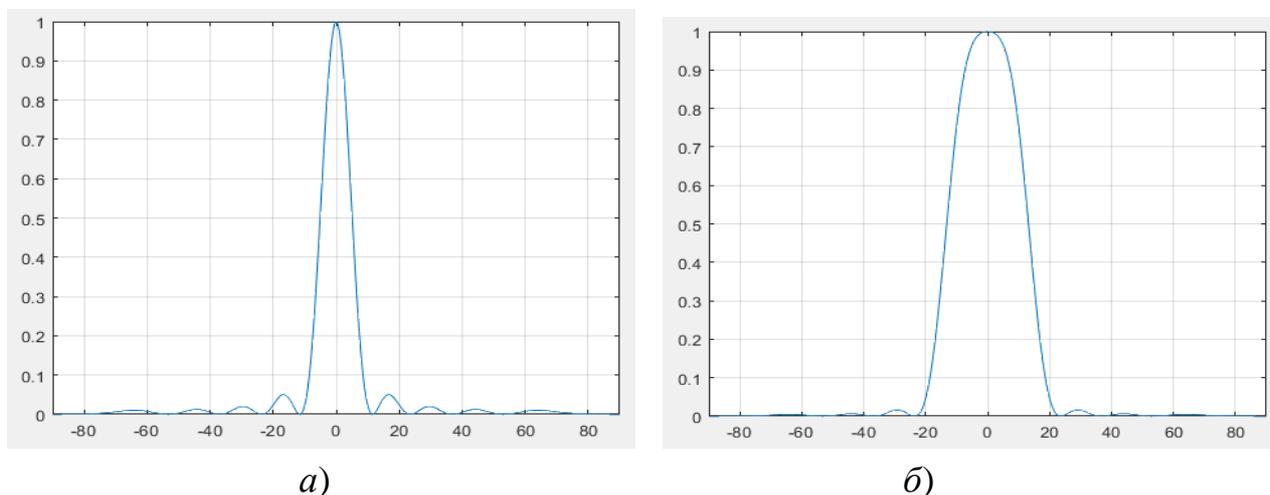
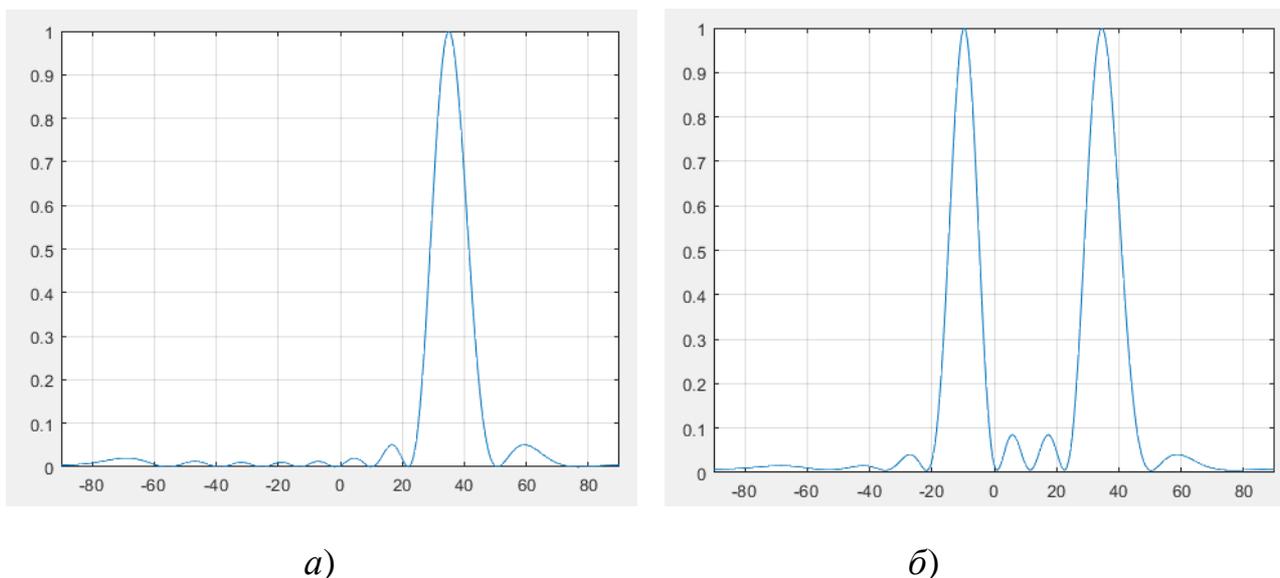


Рис. 1. Главный лепесток шириной 10° (а) и 20° (б)



**Рис. 2. Главный лепесток по направлению  $+35^\circ$  (а);  
два главных лепестка по направлению  $-10^\circ$  и  $+35^\circ$  (б)**

### Библиографический список

1. Скобелев, С. П. Фазированные антенные решетки с секторными парциальными диаграммами направленности / С. П. Скобелев. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 320 с.
2. Хансен, Р. С. Фазированные антенные решетки. 2-е изд. / Р. С. Хансен. – М. : Техносфера, 2012. – 560 с.
3. Development of antenna system for use in meteorological and climatic control complexes / M. A. Kudryashov, O. A. Belousov, V. I. Tetyukhin, M. M. Kiryupin, V. P. Belyaev, I. V. Nagornova, E. G. Bezzateeva // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2182. – Pp. 012094.
4. Чернышова, Т. И. Информационная технология оценки метрологической надежности аналого-цифрового преобразователя информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносков, М. А. Каменская // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2021. – Т. 2. – С. 310 – 312.

*Исследование проводилось при грантовой поддержке Фонда содействия инновациям (Группа ВЭБ.РФ) по программе «У.М.Н.И.К» по договору № 17092ГУ/2021 от 18 ноября 2021 г.*

# ТЕХНОЛОГИИ УСКОРЕННОГО СИНТЕЗА КОНФИГУРАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ ОДНОКРИСТАЛЬНЫХ СВЕРХБОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ТРАНСИВЕРОВ

**В. В. Помещиков, А. О. Смирнов, Р. О. Козадаев, П. А. Таенков**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: v.pomeschikov@yandex.ru)

В наши дни трансиверы играют существенную роль в жизни современного человека и общества в целом. Трансиверы применяются для приема-передачи данных между станциями – компьютерами, ЭВМ, серверами, устройствами связи для транспортировки в сетевой среде, для соединения ее элементов. Широкое распространение получили в сфере телекоммуникации и технологий, обслуживающих Интернет, компьютерные сети [1].

Не обошло стороной применение трансиверов в программно-определяемых радиоплатформах. Программно-определяемые радиоплатформы (или же SDR) – это приемник или передатчик, основанный на технологии, позволяющей с помощью программной конфигурации устанавливать или изменять рабочие радиочастотные параметры, включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность [2].

Для тонкой и точной настройки и получения необходимых выходных параметров необходимо применять соответствующее программное обеспечение. Для каждого семейства трансиверов имеется собственное специализированное программное обеспечение, в котором наиболее понятно и в достаточной степени интуитивно можно настроить частоты приема и передачи, сгенерировать требуемую конфигурацию и цифровую генерацию схем фильтров (рис. 1), модулей синхронизации, и т.п. [3].

Подобное решение значительно ускоряет синтез радиосистем на базе цифровых трансиверов, поскольку в иных случаях необходимо создавать программный код для конфигурации необходимых параметров вручную, что означает высокую трудоемкость разработки, значительные затраты времени и повышенную вероятность возникновения ошибок.

Таким образом, применение технологии ускоренного синтеза при конфигурации широкополосного канала передачи сигналов сверхбольших интегральных схем цифровых трансиверов, способных благодаря программной конфигурации изменять собственную структуру, в значительной степени снижает порог освоения подобных устройств соответствующими специалистами и в значительной степени увеличивает скорость время разработки.



волновую систему параметров. Матрица  $S$  параметров связывает между собой отраженные волны напряжения и мощности на зажимах многополюсника. Полученные матрицы  $S$  параметров можно использовать при построении диаграммы Вольперта–Смита.

В качестве примера предлагается рассмотреть анализ усилительного каскада, выполненного на НЕМТ GaN транзисторе 6П9142А2 разработки НИИЭТ. Схема представлена на рис 1.

Перечень элементов к схеме приведен в табл. 1.

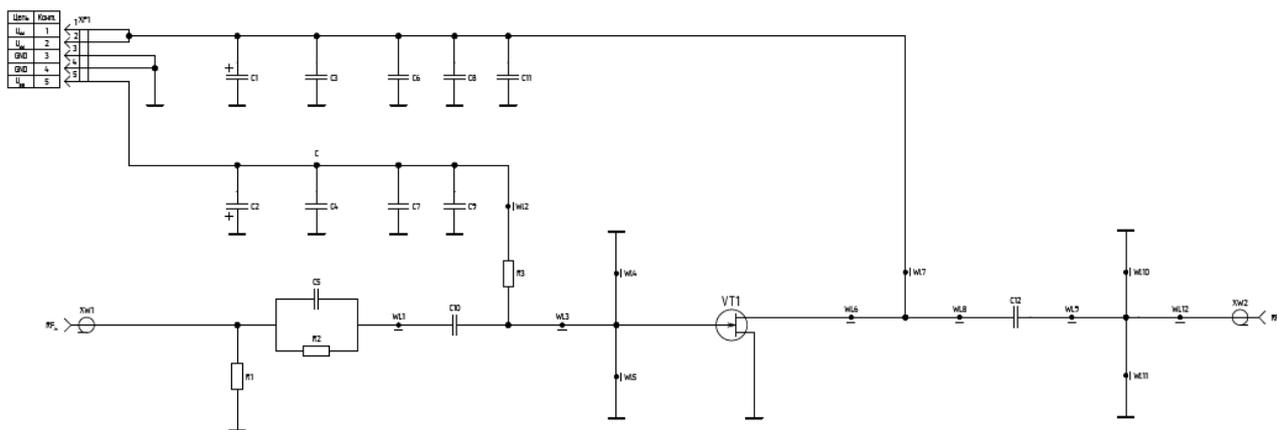


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная усилителя мощности

### 1. Перечень элементов схемы усилителя мощности

Позиционное обозначение	Номинальное значение	Погрешность	Производитель
C1	33 мкФ	± 20%	United Chemi-Con
C2	10 мкФ	± 10%	Vishay
C3	1 мкФ	± 10%	КЕМЕТ
C4, C6	0,033 мкФ	± 5%	КЕМЕТ
C5	1,3 пФ	± 0,1 пФ	АТС
C7, C8	470 пФ	± 5%	Kyocera AVX
C9, C11	8,2 пФ	± 0,25 пФ	АТС
C10	2,7 пФ	± 0,1 пФ	АТС
C12	3,6 пФ	± 0,1 пФ	АТС

Позиционное обозначение	Номинальное значение	Погрешность	Производитель
R1	470 Ом	$\pm 5\%$	Panasonic
R2	50 Ом	$\pm 5\%$	Vishay
R3	360 Ом	$\pm 5\%$	Panasonic
VT1	–	–	НИИЭТ

На рисунке 2 представлена диаграмма Вольперта–Смита.

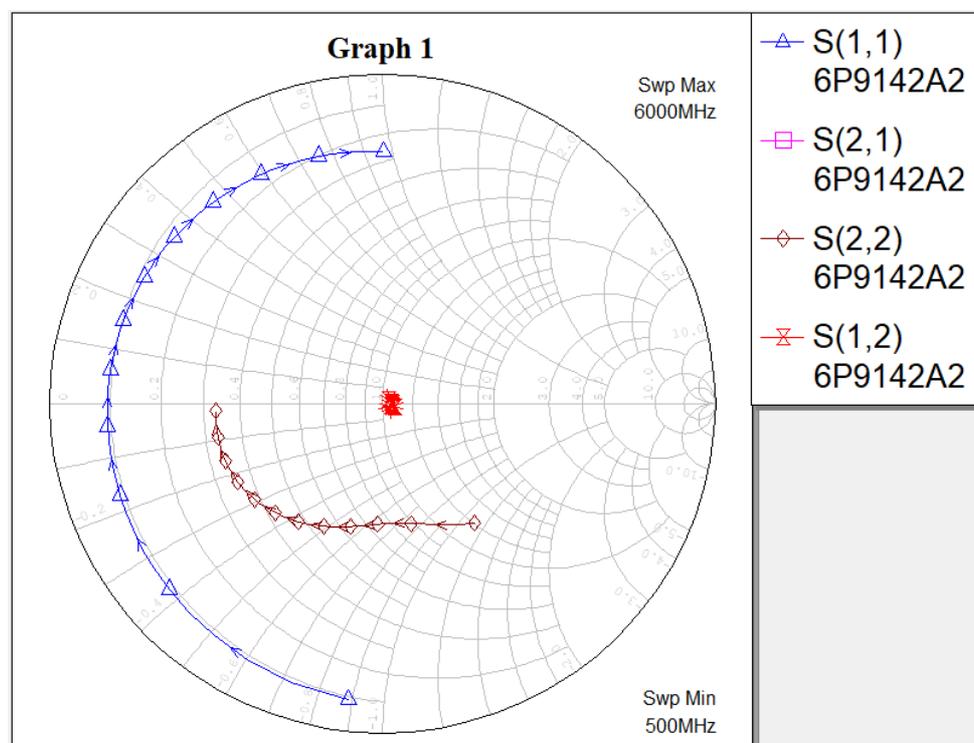


Рис. 2. Диаграмма Вольперта–Смита

### Библиографический список

1. Синтез цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEEE802.11, IEEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносков, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник ТГТУ. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 266 – 272.

2. Антенная решетка на основе широкополосной планарно-щелевой антенны с экспоненциальным изменением ширины щели для систем беспроводного широкополосного доступа / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносков, П. А. Горш-

ков, А. Г. Рязанова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 2(56). – С. 184 – 194.

3. Metal Semiconductor Field Effect Transistor Based on Single Crystal GaN / M. A. Khan, J. N. Kuznia, A. R. Bhattaral, D. T. Olsen // Appl. Phys. Lett. – 1993. – vol. 62(15). – Pp. 1786–1787.

4. Berglund, B. High Efficiency Power Amplifiers / B. Berglund, J. Johansson, T. Lej // Ericsson Review. – 2006. – No. 3.

5. RF and Microwave Power Amplifier and Transmitter Technologies / F. H. Raab, P. Asbeck, St. Cripps, P. B. Kenington, Z. B. Popovich, N. Potheary, J. F. Sevic, N. O. Sokal // High Frequency Electronics. – 2003. – P. 2. – Pp. 22 – 36.

*Исследование проводилось при грантовой поддержке Фонда содействия инновациям (Группа ВЭБ.РФ) по программе «Проектная команда. Электроника» в рамках программы «У.М.Н.И.К» по договору № 52ГУРЭС14/72795 от 28.12.2021 г.*

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ НА ОСНОВЕ НИТРИД-ГАЛЛИЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ДЛЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ 5G**

**Д. А. Карavaев, В. В. Носков, П. А. Таенков, К. С. Сайфуллозода**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: mr.karavaev2016@yandex.ru)

В настоящие дни во всем мире достаточно высокими темпами идет широкое развитие технических средств, обеспечивающих мобильную сотовую связь согласно стандарту радиосвязи пятого поколения.

Основные сложности, которые возникают при проектировании усилителей мощности для таких систем, заключаются в подборе подходящего транзистора, который обладал бы в заданном частотном диапазоне рядом определенных характеристик. В России для систем радиосвязи пятого поколения выделен диапазон частот 4,7...4,9 ГГц. Очень узкий ряд транзисторов способен обеспечить достаточные значения выходной мощности и коэффициента полезного действия в данном частотном диапазоне. Поэтому предлагается использовать транзисторы нитрид-галлиевой структуры. Эти транзисторы предпочтительны по ряду причин: во-первых, они обладают высокой подвижностью электронов, во-вторых, они обладают высокой скоростью насыщения. Также у них высокая плотность мощности, широкий диапазон рабочих частот и высокая теплопро-

водность. Эти свойства делают усилители, построенные на базе таких транзисторов, наиболее предпочтительными.

При разработке топологии печатной платы все индуктивности предлагается делать в виде микрополосковых линий, что даст на диапазоне 4,7...4,9 ГГц подходящую добротность. В качестве согласующих элементов применяются трансформаторы на длинных линиях с длиной плеч, равной  $\lambda/4$ .

В качестве примера такой разработки предлагается рассмотреть усилитель мощности, выполненный на транзисторе 6П9142А2 разработки НИИЭТ. Данный транзистор с высокой подвижностью электронов, как заявляет производитель, был создан специально для применения в базовых станциях мобильной сотовой связи. Он может работать и в линейном, и в импульсном режимах, имея пиковую выходную мощность 8 Вт. Усилитель, выполненный на данном транзисторе, имеет структурную схему, представленную на рис. 1.

Была синтезирована электрическая принципиальная схема данного усилителя, проведен расчет элементной базы. Схема представлена на рис. 2. Перечень элементов к схеме приведен в табл. 1.



Рис. 1. Схема структурная усилителя мощности на GaN транзисторе 6П9142А2

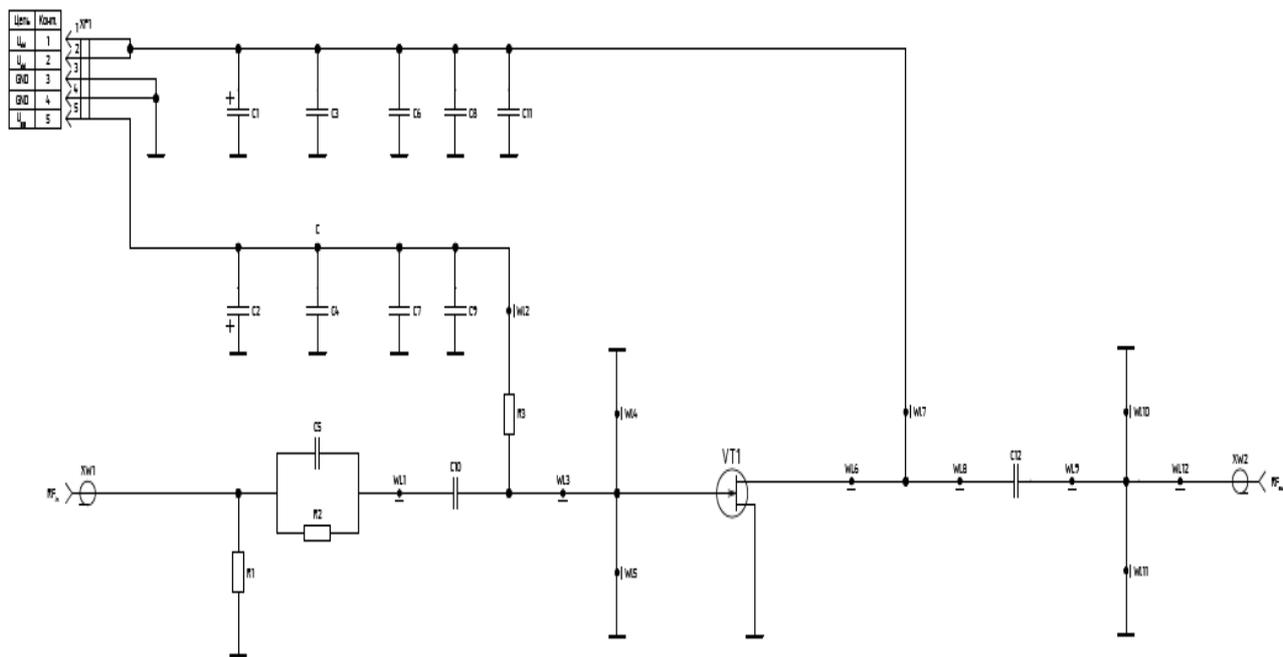


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная усилителя мощности

## 1. Перечень элементов схемы усилителя мощности

Позиционное обозначение	Номинальное значение	Погрешность	Производитель
C1	33 мкФ	± 20%	United Chemi-Con
C2	10 мкФ	± 10%	Vishay
C3	1 мкФ	± 10%	KEMET
C4	0,033 мкФ	± 5%	KEMET
C5	1,3 пФ	± 0,1 пФ	ATC
C6	0,033 мкФ	± 5%	KEMET
C7	470 пФ	± 5%	Kyocera AVX
C8	470 пФ	± 5%	Kyocera AVX
C9	8,2 пФ	± 0,25 пФ	ATC
C10	2,7 пФ	± 0,1 пФ	ATC
C11	8,2 пФ	± 0,25 пФ	ATC
C12	3,6 пФ	± 0,1 пФ	ATC
R1	470 Ом	± 5%	Panasonic
R2	50 Ом	± 5%	Vishay
R3	360 Ом	± 5%	Panasonic
VT1	–	–	НИИЭТ

На рисунке 3 представлен вариант топологии для данного усилителя мощности.

Спроектированный усилитель при частоте 4,8 ГГц имеет характеристики, представленные в табл. 2.

GaN транзисторы на текущий момент являются наиболее подходящим решением в качестве активного элемента усилителей мощности для технических средств, обеспечивающих высокоскоростной радиодоступ по стандарту связи пятого поколения. Решение практически безальтернативное, поскольку на текущий момент для полосы частот 4,7...4,9 ГГц довольно мало транзисторов, способных дать необходимый уровень усиления.

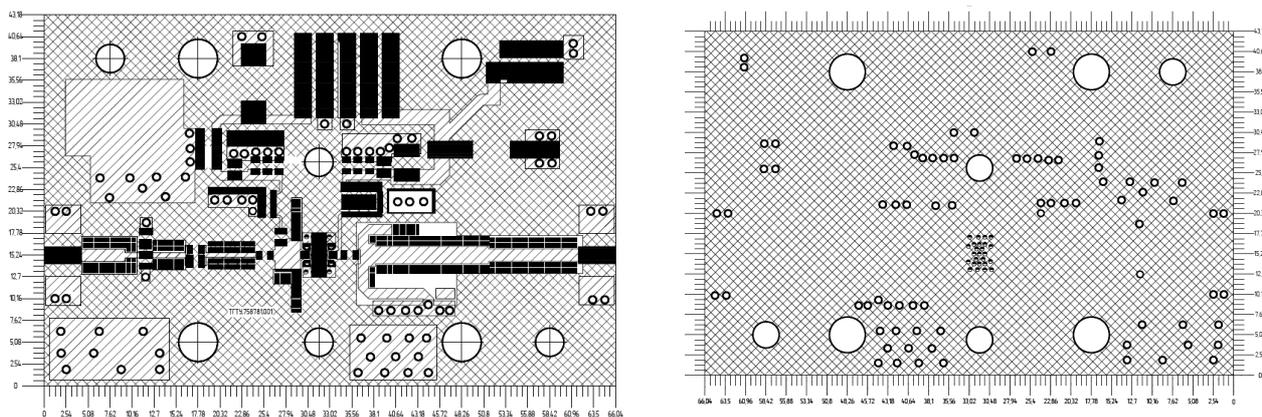


Рис. 3. Вариант топологии усилителя мощности

## 2. Характеристики усилителя мощности при частоте 4,9 ГГц

Параметр	Значение
Выходная мощность	20 дБм
КУ	12 дБ
КПД	40%
Входные обратные потери	-8 дБ
Диапазон рабочих температур	от -40 до +150 °С

### Библиографический список

1. Синтез цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEEE802.11, IEEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносков, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник ТГТУ. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 266 – 272.
2. Антенная решетка на основе широкополосной планарно-щелевой антенны с экспоненциальным изменением ширины щели для систем беспроводного широкополосного доступа / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносков, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2015. – № 2(56). – С. 184 – 194.
3. Metal Semiconductor Field Effect Transistor Based on Single Crystal GaN / М. А. Khan, J. N. Kuznia, A. R. Bhattaral, D. T. Olsen // Appl. Phys. Lett. – 1993. – vol. 62(15). – Pp. 1786–1787.
4. Berglund, B. High Efficiency Power Amplifiers / B. Berglund, J. Johansson, T. Lejon // Ericsson Review. – 2006. – No. 3.

5. RF and Microwave Power Amplifier and Transmitter Technologies – Part 2 / F. H. Raab, P. Asbeck, S. Cripps, P. B. Kenington, Z. B. Popovich, N. Potheary, J. F. Sevic, N. O. Sokal // High Frequency Electronics. – 2003. – Pp. 22 – 36.

## **АНАЛИЗ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СТАНЦИЙ**

**Р. Ю. Курносков, А. С. Трофимов, Г. Е. Курбатов, А. Ю. Тимаков**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: [german\\_kurbatov@mail.ru](mailto:german_kurbatov@mail.ru))

На сегодняшний день развитие в области телекоммуникационных и инфокоммуникационных сетей идет в направлении изучения проводных и беспроводных линий передачи данных, на рубеже с технологиями внедрения искусственного интеллекта, Интернета вещей, а также создания Умных городов и многого другого. Так, сегодня, инфокоммуникационная сеть – это глубокая разнородная сеть, которая включает в себя синтез серверного и телекоммуникационного оборудования, средств хранения и анализа информации. Обширная масштабность сетевой структуры характеризует уровень автоматизированных систем мониторинга (СМ) и контроля, которые внедряются для обеспечения стабильной работы сети [1 – 3].

Радиорелейная связь (РРС), предназначенная для передачи сигналов многоканальных телефонных сообщений, радиовещания и телевидения, различного обмена данных, передачи газетных полос, представляет собой актуальное и эффективное поколение беспроводных систем связи класса «точка-точка», ориентированных на трансляцию потоков E1, Ethernet и SDH/PDH. Основным достоинством радиорелейных линий (РРЛ) является возможность увеличивать пропускную способность как backhaul-, так и fronthaul-сети. Пропускная способность сетей связей радиорелейной линии передач тоже в свою очередь постоянно возрастает и это ведет за собой потребность в развитии и разработки новых систем мониторинга, которые позволят управлять сетью, путем введения в них функций, позволяющих видеть не только элементы сети, но и внутреннее состояние этих элементов.

Проанализировав существующие на данный момент системы мониторинга, можно сказать, что кроме достоинств, они обладают рядом ключевых недостатков. К примеру, в случае сильных осадков, дождя, снега, интенсивностью порядка 25 мм/ч затухание сигнала E-диапазона достигает 10 дБ/км, это оказывает существенное влияние на качество передаваемого сигнала, поэтому при

проектировании или установке систем связи приходится учитывать интенсивность и годовую норму осадков. Однако это можно учесть в интеллектуальной системе мониторинга, которая позволит, в зависимости от факторов окружающей среды менять вид модуляции, тем самым достигая стабильного уровня сигнала. Допустим применение модуляции QPSK по сравнению с 256 QAM эквивалентно увеличению мощности на 20...25 дБ. В целом, метод модуляции определяет ширину излучаемого спектра, а, следовательно, требуемую ширину полосы приемопередатчика и пороговое отношение сигнал/шум в демодуляторе. Если рассматривать высокоскоростные РРС (от 155 Мбит/с и выше), то здесь применяется квадратурная амплитудная модуляция с уровнем квантования 64 QAM и выше и т.д. [1]. Одним из очевидных трендов по внедрению решения для мониторинга производительности сети является необходимость быстро решать проблемы, вызванные вынужденным бездействием сети или ее сегмента, т.е. внедрение новой системы позволит избежать эксплуатационные задержки за счет необходимости выезда непосредственно к сбою и/или отказу оборудования, а с добавлением гистограмохронограммных замеров даст возможность провести анализ работоспособности оборудования. Важной задачей является также разработка в интеллектуальной системе мониторинга алгоритма ресурсного состояния РРС, который позволит на ранней стадии определить необходимость обслуживания, ремонта и замены оборудования или его компонентов в целях избежать непреднамеренной остановки передачи данных.

Таким образом, ставится актуальная задача в разработке современной интеллектуальной системы мониторинга для цифровых радиорелейных систем, которые являются эффективным решением и хорошим дополнением к проводным средствам связи на местных, внутризонавых, и магистральных участках, с возможностью осуществлять мониторинг в реальном времени, выявлять ошибки и сбои как на окончечном оборудовании, так и в работе всей сети в целом.

### **Библиографический список**

1. Евдокименко, Е. Современные требования к радиорелейному оборудованию / Е. Евдокименко // Первая миля. – 2016. – № 6(59). – С. 38 – 42.
2. Сарычев, Р. А. Влияние диаграммы направленности на энергетические характеристики РЛС разведки / Р. А. Сарычев, Д. А. Сторожев, Ю. Н. Панасюк // Энергетика. Проблемы и перспективы развития : тез. докл. 3-й Всерос. студенческой науч. конф., Тамбов, 20–21 декабря 2017 г. – Тамбов : Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина, 2017. – С. 267 – 269.

3. Чернышова, Т. И. Применение методов математического моделирования при оценке метрологической надежности блока аналого-цифрового преобразователя / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносков // Вестник ТГТУ. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 589 – 594.

## **РАЗРАБОТКА WEB-ИНТЕРФЕЙСА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА**

**Р. Ю. Курносков, А. С. Трофимов, Г. Е. Курбатов, А. Ю. Тимаков**  
**Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов**  
(e-mail: timakovalex31@gmail.com)

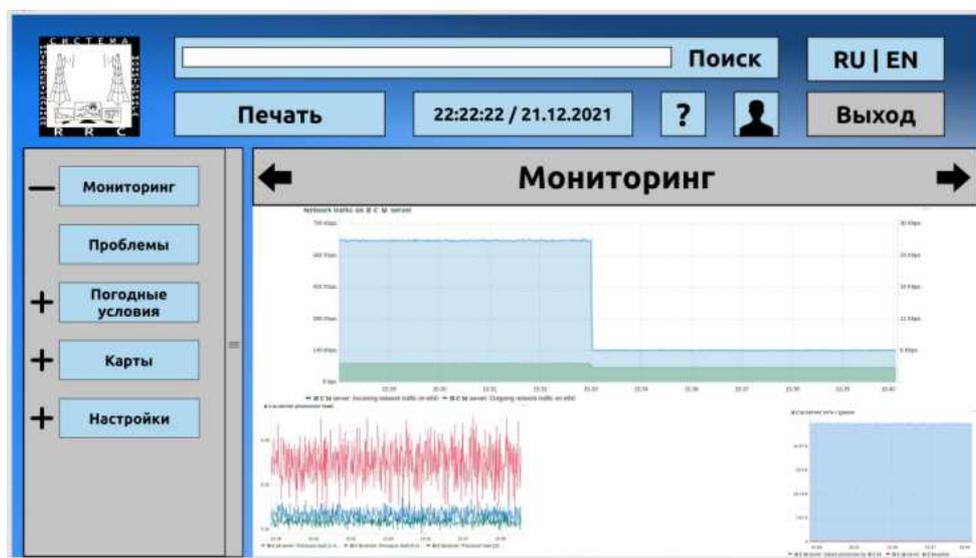
В настоящее время телекоммуникационные системы занимают лидирующие позиции в современном мире в области передачи больших объемов данных. Радиорелейная связь (РРС), как ветвь телекоммуникации, представляет собой актуальное и эффективное поколение беспроводных систем связи класса «точка-точка». Ключевым фактором в обеспечении бесперебойной работы систем РРС является применение системы мониторинга (СМ) в режиме реального времени, которая сможет своевременно оповестить и избежать сбои на участках передачи. Использование услуг связи, основанных на современных цифровых телекоммуникационных технологиях, позволит в значительной мере повысить качество, эффективность административного и оперативного управления работой РРС, поэтому ставится задача в разработке современной интеллектуальной системы мониторинга радиорелейных станций.

Для удобного использования и сбора информации СМ должна обладать интуитивно понятным интерфейсом, при этом такая система должна быть проста в конфигурации для первоначального пользователя, а также многофункциональна для опытного оператора радиорелейной станции. Для создания веб-интерфейса и прототипа интеллектуальной системы мониторинга радиорелейных станций КА-диапазона было выбрано приложение Figma, которое позволит создавать сложную векторную графику, что в итоге решает проблему экспорта изображений в разных форматах для разных типов устройств. При работе над оболочкой интерфейса применялась функция создания компонентов, которая использовалась во всем проекте, при этом, в случае внесения изменений в родительский компонент, все дочерние элементы автоматически менялись.

В web-приложении Figma есть возможность создания интерактивной модели разрабатываемого проекта (рис. 1). Пользователь может назначать переходы для всех необходимых элементов и при клике мышкой происходит переход к нужному состоянию интерфейса. С помощью интерактивной модели можно проследить работу пользователя и отметить проблемные моменты, тем самым, еще до этапа разработки и кодирования исправить их. На рисунке 2 представлен созданный скелет интерфейса ИСМ.



**Рис. 1. Фрейм интерфейса Figma**



**Рис. 2. Скелет интерфейса ИСМ**

Реализация прототипа web-интерфейса – важный инструмент определения качества системы мониторинга, позволяющий четко сформулировать требования к ее организации и исправить ошибки, затрачивая гораздо меньше усилий и времени. Таким образом была создана интерактивная модель прототипа интеллектуальной системы мониторинга радиорелейных станций.

### **Библиографический список**

1. Синтез излучателя для сетей беспроводного широкополосного доступа на основе замедляющих электродинамических структур / А. Ю. Дмитриевцев, О. А. Белоусов, М. А. Кудряшов и др. // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2021. – Т. 24, № 3. – С. 36 – 45.

2. Чернышова, Т. И. Информационно-аналитическая система оценки метрологической надежности аналоговых блоков информационно-измерительных систем с учетом внешних влияющих факторов / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов // XXVIII Междунар. науч.-техн. конф. «Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации» : сб. тр. ; Алушта, 14 – 20 сентября 2019 г. – Алушта : Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2019. – С. 145–146.

## СОДЕРЖАНИЕ

---

История кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» . . . . .	3
<b>Секция 1. Радиотехника и электроника</b>	
<i>Рыжов Ф. С., Гараев А. В.</i> Повышение надежности электронных устройств за счет входного контроля используемых солнечных батарей . . . . .	14
<i>Данилов С. Н., Карелина Е. В., Медведев А. Е.</i> Повышение точности оценки параметров материала посредством вторичной обработки сигнала радиоволнового датчика . . . . .	16
<i>Гусев М. Р., Макаrchук В. В.</i> Моделирование работы перспективной структуры кремний-на-изоляторе (КНИ) LDMOS-транзистора для силовой радиоэлектроники . . . . .	18
<i>Марышева Н. А., Смирнов В. В., Жалнин В. П.</i> Области применения квантовых точек в электронике . . . . .	20
<i>Попов В. В., Иванков А. А.</i> Выбор модели высокоманевренной цели . . . . .	22
<i>Гольдштейн В. Н., Окуньков А. Г.</i> Анализ принципов построения групп ударных беспилотных летательных аппаратов . . . . .	24
<i>Алексеев М. В., Аустов В. С.</i> Обоснование метода синтеза системы слежения за маневренным летательным аппаратом . . . . .	27
<i>Кудря А. А., Колоколов М. И.</i> Защита цепей интерфейса CAN . . . . .	29
<i>Попова Ю. П., Стаценко Л. Г.</i> Применение нейронных сетей для решения задачи классификации городских звуков . . . . .	31
<i>Копалева М. А., Чусов А. А.</i> Алгоритм и системная реализация компрессии потоков чисел с плавающей точкой при реализации обработки экспериментальных научных данных . . . . .	33
<i>Кольтюков Н. А., Крушатина М. А., Тернавка В. Р., Фетисов И. Н.</i> Энергосберегающее управление сложными объектами в производстве полимерных материалов для радиотехнической промышленности . . . . .	35
<i>Кунин Н. Т., Шатовкин Р. Р.</i> Постановка задачи разработки моделей и алгоритмов управления системой защиты информации мобильного устройства в корпоративных сетях с различными уровнями защищенности информации . . . . .	38
<i>Левченко А. А., Пяткин В. В.</i> Проектирование системы сопровождения регистрации отчетной документации НИОКР на предприятии приборостроения . . . . .	40

<i>Мальшева А. В., Чепелева А. М., Некрылов И. А., Панасюк Ю. Н.</i> Алгоритм угломерного канала информационно-измерительной системы . . . . .	42
<i>Маслина В. В., Данилов С. Н.</i> Система контроля автомобильного движения в районе перекрестка . . . . .	44
<i>Мжельский А. А., Евтеев В. В., Панфилов С. В., Панасюк Ю. Н.</i> Алгоритм угломерного канала со случайной структурой информационно-измерительной системы . . . . .	47
<i>Окуньков А. Г.</i> Анализ существующих методов управления группой беспилотных летательных аппаратов . . . . .	49
<i>Панфилов С. В., Мжельский А. А., Евтеев В. В.</i> Алгоритм дальномерного канала информационно-измерительной системы . . . . .	51
<i>Антонов Е. А., Раев К. Д.</i> Метод определения параметров нелинейного усилителя для безошибочной передачи сигналов . . . . .	53
<i>Лещенко К. С., Жалнин В. П.</i> Перспективы развития аддитивных технологий в печатной электронике . . . . .	56
<i>Кулешов И. В., Пудовкин А. П.</i> Исследование вихретокового преобразователя . . . . .	58
<i>Нгуен В. Ф., Нго В. К., Динь К. А., Дорохова Т. Ю.</i> Математическая модель автономной ветроэнергетической установки . . . . .	60
<i>Нгуен Д. К., Нгуен В. Ф., Дорохова Т. Ю.</i> Наносенсоры при регистрации электрофизиологических сигналов . . . . .	62
<i>Субботина Н. Ю., Поляков А. Н.</i> Вихретоковое измерительное устройство	64
<i>Фетисов И. Н., Тернавка В. Р., Крушатина М. А., Кольтюков Н. А.</i> Алгоритмическое обеспечение энергосберегающего управления сложными объектами при производстве материалов для радиотехнической промышленности . . . . .	65
<i>Сизова А. Н., Долгов Г. Ф.</i> Исследование влияния постоянной времени на точность моделирования переходных процессов в системе Multisim . . . . .	67
<i>Смирнова М. М., Брылина С. В.</i> Исследование влияния модифицированного фрактала Минковского на характеристики излучения микрополосковой антенны . . . . .	69
<i>Аксенова Т. В., Калашиников С. Н.</i> Требования к радиоканалу связи с летательным аппаратом, наводящимся полупассивным способом . . . . .	72
<i>Калашиников С. Н., Аксенова Т. В.</i> Модем радиосвязи летательного аппарата для реализации полупассивного самонаведения . . . . .	74
<i>Тычков А. Ю., Чернышов Д. С., Бофанова Н. С.</i> Исследование тревожно-фобических расстройств при погружении в виртуальную реальность . . . . .	75

<i>Терехов В. В., Жалнин Д. О., Панасюк Ю. Н.</i> Алгоритм дальномерного канала с адаптивной фильтрацией информационно-измерительной системы	77
<i>Кольтюков Н. А., Тернавка В. Р., Крушатина М. А., Фетисов И. Н.</i> Энергосберегающее управление сложными объектами при производстве материалов для радиотехнической промышленности	79
<i>Филин И. А., Жалнин В. П.</i> Разработка мемристорных оптодатчиков	82
<i>Фирсов А. А.</i> Преимущества теплового контроля электронных ячеек	84
<i>Худяков А. А.</i> Анализ российских автоматизированных систем защиты от дронов	86
<i>Худяков А. А., Шатовкин Р. Р.</i> Этапы решения задачи сопровождения беспилотного летательного аппарата с учетом распознавания его типа	89
<i>Мельникова Д. Д., Москвитин С. П.</i> Цифровая фильтрация в беспроводной системе удаленного мониторинга	91

## **Секция 2. Телекоммуникационные, информационно-измерительные и управляющие системы в промышленности и связи**

<i>Чернышова Т. И., Курносов Р. Ю., Карелин П. А.</i> Оценка метрологической надежности информационно-измерительных систем с учетом влияния условий эксплуатации	93
<i>Калашиникова О. П., Андреев П. Г., Юрков Н. К., Данилова Е. А., Гришко А. К.</i> Анализ методов экранирования и обеспечения электромагнитной совместимости	95
<i>Катаев К. С., Кузнецов С. Д., Горячев Н. В., Лысенко А. В., Кочегаров И. И.</i> Обзор плис. Общие положения и перспективы	97
<i>Бараев Р. Д., Бростилов С. А., Рыбаков И. М., Григорьев А. В., Цуприк А. Д.</i> Исследование современных устройств вывода информации	99
<i>Зобов О. В.</i> Метод повышения производительности алгоритмов стереозрения на HLS в среде ПЛИС	101
<i>Белкин А. А.</i> Средство отслеживания загрязнения воздуха	103
<i>Жуков П. Н., Калистратов М. С.</i> Информационная модель выбора режимов резания гидроабразивной обработки деталей корпусов приборов	105
<i>Жуков П. Н., Калистратов М. С.</i> Функциональная модель гидроабразивной обработки деталей корпусов приборов	107
<i>Куратов А. Н., Чернов П. В., Дорохова Т. Ю.</i> История изобретения технологии Wi-Fi	109
<i>Верченнов А. В., Данилкин О. С., Иноземцева А. В., Жулькин А. Г.</i> Перспективы развития волоконно-оптической связи	111

<i>Слепцов В. В., Динь Ба Фыонг</i> Регулируемые по скорости электроприводы в информационно-измерительной и управляющей системе квадрокоптеров . . . . .	113
<i>Нгуба Я. Э.</i> Математическая модель теплофизических измерений телеизмерительной системой . . . . .	115
<i>Скоморохов К. В., Селиванова З. М.</i> Математическая модель теплофизических измерений в условиях неопределенности . . . . .	117
<i>Йиндула Э. М. П.</i> Метод допускового контроля теплофизических свойств материалов . . . . .	119
<i>Шибирина И. О., Сивков Р. С., Жулькин А. Г., Чернышов Н. Г.</i> Оптимальное энергосберегающее управление . . . . .	121
<i>Дементьев Р. О.</i> Информационно-измерительная система насосной перекачки масла . . . . .	123
<i>Дементьев Р. О.</i> Информационно-управляющая система для автоматизации управления хранилища гексана . . . . .	125
<i>Белоусов С. С., Федюнин П. А., Стафеев М. А.</i> Подход к применению инвариантности и эмерджентности при обосновании способов организации связи . . . . .	127
<i>Казьмин А. И., Федюнин П. А., Манин В. А.</i> Оценка точности измерения электрофизических параметров метаматериалов методом поверхностных электромагнитных волн с помощью имитационной модели . . . . .	130
<i>Залукаева Н. Ю., Грибков А. Н.</i> Программное и аппаратное обеспечение информационно-управляющей системы процессом распределения топливных пеллет . . . . .	132
<i>Ву Чи Чиен</i> Разработка модели искусственной нейронной сети для оценки влажности спиртовой барды в процессе сушки . . . . .	134
<i>Кувшинников В. С., Ковшов Е. Е.</i> Применение интеллектуальных методов управления мехатронными устройствами в условиях цифрового производства . . . . .	136
<i>Хрипунов В. П., Зырянов Ю. Т.</i> Основные тенденции и перспективы развития космического тренажеростроения в центре подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина . . . . .	139
<i>Орлова Н. В., Брызгало В. С.</i> Оценка «карбонового следа» территории с использованием гис-технологий . . . . .	141
<i>Куприянов А. В., Селиванова З. М.</i> Алгоритм цифровизации интеллектуальной информационно-измерительной системы . . . . .	143
<i>Толстых С. В.</i> Влияние организованных помех на радиолокационную систему посадки летательных аппаратов . . . . .	145

### Секция 3. Биотехнические электронные системы

<i>Крутикова В. Ю., Поленов Н. И., Закураева К. А., Потапова Е. В.</i> Интра-операционное исследование микроциркуляции тканей матки при миомэктомии . . . . .	147
<i>Лычагина В. О.</i> Магнито-резонансная ангиография: развитие современной визуализационной технологии в клинической диагностике сердечно-сосудистой системы . . . . .	149
<i>Кузнецова А. П.</i> Принцип работы и перспективы развития ЭХВЧ-аппаратов . . . . .	151
<i>Сорока Н. О.</i> Применение рН-метра рН-150 в современном мире . . . . .	153
<i>Яркин О. А.</i> Перспективы развития медицинской рентгентехники . . . . .	155
<i>Дудина Е. А.</i> Совершенствование аппаратов электротерапии и их внедрение для профилактики заболеваний на ранней стадии . . . . .	157
<i>Кобзева Я. В.</i> Перспективы развития электрокоагулятора . . . . .	159
<i>Мамонтов Е. С.</i> Применение малоуглового растрового усреднения . . . . .	161
<i>Тымчук Т. М., Венцеровая Н. В.</i> Математическая модель метода оценки технического состояния оптического когерентного томографа . . . . .	163
<i>Власов И. Ю., Локтионова Ю. И., Жарких Е. В., Шураева Е. В.</i> Оценка параметров периферического кровотока в период реабилитации после острой коронавирусной инфекции . . . . .	165
<i>Коробов А. А., Фролов С. В.</i> Разработка цифрового двойника сердечно-сосудистой системы с регуляцией для поддержки принятия врачебных решений при диагностике и терапии кардиологических больных . . . . .	167
<i>Аветисян А. Р., Шнякина Я. И.</i> Определение пиков R и вычисление частоты сердечных сокращений в сигнале ЭКГ плода . . . . .	169
<i>Аветисян А. Р., Шнякина Я. И., Фролов С. В.</i> Разработка функционального макета кабинета МРТ для учебных и экспериментальных целей . . . . .	172
<i>Горбачева Д. Д., Фролова Т. А.</i> Ударно-волновая терапия в лечении сердечно-сосудистых заболеваний . . . . .	174
<i>Шнякина Я. И., Аветисян А. Р.</i> Анализ и обработка сигнала артериального давления в программной среде Matlab . . . . .	176
<i>Шнякина Я. И., Аветисян А. Р., Савинова К. С.</i> Многопозиционная система регулирования для задач медицинской техники . . . . .	178
<i>Азимуратова А. А., Фролова Т. А.</i> Разработка системы управления на примере процесса гемодиализа . . . . .	179
<i>Родина Е. Н.</i> Повышение точности измерения пульсовым оксиметром . . . . .	182
<i>Толмачев А. П.</i> Моделирование цифрового термометра . . . . .	184

<i>Филимонова А. П.</i> Оптимальное оснащение современного косметологического кабинета . . . . .	186
<i>Ширкина Е. С.</i> Фотоэлектроколометрия. Сравнение аппаратов «КФК-ЗКМ» . . . . .	188
<i>Шаталова И. А.</i> Анализ рынка биохимических анализаторов . . . . .	190
<i>Венцеровна Н. В., Руссо Л., Фатторуссо Р.</i> Разработка выравнивающей среды на основе желатина для измерения остаточных дипольных связей в растворе спектроскопии ядерного магнитного резонанса . . . . .	192
<i>Гончарова Т. К., Попов И. А., Строев В. М.</i> Применение тепловизионной системы в операционных хирургического отделения . . . . .	194
<i>Карак И. А.</i> Алгоритм СППР врача-ревматолога при диагностировании ревматоидного артрита . . . . .	196
<i>Карак И. А.</i> Разработка метода доплерографии кровеносных сосудов мягких биологических тканей . . . . .	198
<i>Кративина В. В., Фролова Т. А.</i> Оснащение клиники аппаратной косметологии . . . . .	200
<i>Медведева А. В., Нечай А. А., Леонов В. В.</i> Применение глубокого обучения для идентификации заикания при анализе фрагмента записи голоса . . . . .	203
<i>Милютин А. В.</i> Медианная фильтрация в целях подавления мелких точечных помех на рентгеновском изображении . . . . .	205
<i>Нечай А. А., Медведева А. В., Леонов В. В.</i> Использование искусственного интеллекта для реализации адаптивного шумоподавления в слуховых аппаратах воздушной проводимости . . . . .	207
<i>Попов И. А., Строев В. М., Гончарова Т. К.</i> Устройство для диагностики воспалительных заболеваний суставов . . . . .	209
<i>Сакоссенге Э. К. В.</i> Обработка и дезинфекция датчиков УЗИ . . . . .	210
<i>Скворцов Н. А.</i> Математическая модель устройства обработки ЭМГ-сигнала . . . . .	212
<i>Гришина А. В.</i> Сравнительный анализ аппаратов для низкочастотной магнитотерапии . . . . .	214
<i>Судаков Д. Е., Савинова К. С.</i> Использование математических моделей электроэнцефалограммы для ранней диагностики инсультов . . . . .	217
<i>Кандурова К. Ю., Потапова Е. В.</i> Исследование оптических характеристик желчи для оценки функционального состояния печени при механической желтухе . . . . .	218
<i>Мелехина А. Д.</i> Оптимальное оснащение современного кабинета лечебной физкультуры . . . . .	220

<i>Аристов А. А., Серпенев Д. С., Розенбаум Ю. А., Ворончихина Ю. Н.</i> Разработка автоматизированного прибора для определения группы крови . . .	222
<i>Фролов С. В., Лычагина В. О.</i> История оснащения медицинской техникой лечебных учреждений Тамбовского региона . . . . .	223
<i>Тычков А. Ю., Овчинников Д. Л.</i> Умная одежда: система контроля температуры тела . . . . .	225

#### **Секция 4. История и перспективы развития радиоэлектроники и связи Тамбовского региона**

<i>Тростянский А. Г., Кочегаров И. И., Юрков Н. К., Трусов В. А., Баннов В. Я.</i> Анализ перспектив развития средств связи в сельской местности . . . . .	228
<i>Косырев И. С., Помещиков Д. В.</i> Применение программно-определяемых радиоплатформ для решения задач обеспечения электромагнитной обстановки РЭС новых поколений . . . . .	230
<i>Смирнов А. О., Помещиков Д. В., Таенков П. А., Крынков М. А.</i> Использование методов радиополярного кодирования при реализации алгоритмов управления в сетях 5G NR . . . . .	231
<i>Кириупин М. М., Белоусов О. А., Носков В. В., Сайфуллозода К. С.</i> Анализ применения модели нечетко-нейронного вывода в диаграммообразующем устройстве антенной решетки систем постановки пространственного барьера от беспилотных летательных аппаратов . . . . .	238
<i>Кириупин М. М., Белоусов О. А., Носков В. В., Сайфуллозода К. С.</i> Структура нечетко-нейронной сети для реализации алгоритма управления диаграммообразующего устройства антенной решетки систем постановки пространственного барьера от беспилотных летательных аппаратов . . . . .	241
<i>Кудряшов М. А., Белоусов О. А., Крынков М. А.</i> Реализация построения феноменологической модели фазированной антенной решетки для систем метеорологического радиомониторинга, использующихся в тяжелой климатической обстановке . . . . .	245
<i>Кудряшов М. А., Белоусов О. А., Таенков П. А., Крынков М. А.</i> Синтез излучателя на основе замедляющих структур методом построения феноменологической модели для комплексов погодного мониторинга . . . . .	247
<i>Дмитриевцев А. Ю., Зырянов Ю. Т.</i> Мониторинг, фиксация и анализ изменения определяющих параметров информационно-измерительных и управляющих систем с помощью нейросетевых технологий . . . . .	248
<i>Дмитриевцев А. Ю., Попов И. Е.</i> Основные дестабилизирующие факторы, влияющие на работу информационно-измерительных и управляющих систем . . . . .	250

<i>Карих Р. Д., Заходякин Н. В., Семичастнов В. П., Заварзин Д. В.</i> Особенности построения радиозондов декаметрового диапазона с использованием программно-определяемых платформ . . . . .	252
<i>Помещиков В. В., Караваев Д. А., Носков В. В., Тришаков А. А.</i> Особенности построения сверхширокополосных усилителей мощности для программно-определяемых радиосистем . . . . .	254
<i>Помещиков Д. В., Смирнов А. О., Косырев И. С.</i> Применение методов графового анализа при синтезе программно-определяемых радиоплатформ стандарта 5G NR . . . . .	256
<i>Тришаков А. А., Караваев Д. А., Крынков М. А., Сайфуллозода К. С.</i> Применение ПЛИС серии 5578ТС094 при построении программно-определяемых радиосистем поколения 5G NR . . . . .	257
<i>Тришаков А. А., Караваев Д. А., Ожогина Л. С., Якушов О. С.</i> Принципы проектирования быстродействующих цифровых устройств в среде Delta Desinger для радиосистем пятого поколения . . . . .	260
<i>Кочетов И. Н., Помещиков В. В., Таенков П. А., Крынков М. А.</i> Проектирование вторичных источников питания телекоммуникационного оборудования с повышенным КПД на основе нитрид-галлиевых полупроводниковых структур . . . . .	264
<i>Заходякин Н. В., Карих Р. Д., Семичастнов В. П., Заварзин Д. В.</i> Распространение коротких радиоволн в ионосфере Земли . . . . .	266
<i>Ворогушин П. А.</i> LTE- и LTE-A-стандарты телекоммуникации . . . . .	268
<i>Ворогушин П. А.</i> Основные параметры для расчета ребристо-стержневой антенны . . . . .	270
<i>Гончарова Т. К., Попов И. А.</i> История применения тепловизионного исследования в медицине . . . . .	271
<i>Казьмин А. И., Федюнин П. А., Манин В. А.</i> Перспективные радиоволновые методы измерения электрофизических параметров материалов и покрытий со сложной внутренней структурой . . . . .	273
<i>Тетюхин В. И., Белоусов О. А., Таенков П. А., Караваев Д. А.</i> Феноменологическая модель цифровой антенной решетки на ребристо-стержневых излучателях для сетей пятого поколения . . . . .	275
<i>Тетюхин В. И., Сайфуллозода К. С., Помещиков В. В., Смирнов А. О.</i> Алгоритм формирования многолучевых диаграмм направленности на основе искусственного интеллекта для цифровой антенной решетки для сетей пятого поколения . . . . .	277
<i>Помещиков В. В., Смирнов А. О., Козадаев Р. О., Таенков П. А.</i> Технологии ускоренного синтеза конфигурации широкополосного канала переда-	

чи сигналов на базе однокристалльных сверхбольших интегральных схем трансиверов . . . . .	280
<i>Караваев Д. А., Ожогина Л. С., Помещиков В. В., Тришаков А. А.</i> Эффек- тивное использование $S$ параметров при анализе СВЧ усилителей мощно- сти для базовых станций 5G . . . . .	281
<i>Караваев Д. А., Носков В. В., Таенков П. А., Сайфуллозода К. С.</i> Особен- ности построения усилительных каскадов на основе нитрид-галлиевых транзисторов для базовых станций 5G . . . . .	284
<i>Курносов Р. Ю., Трофимов А. С., Курбатов Г. Е., Тимаков А. Ю.</i> Анализ систем мониторинга инфокоммуникационных сетей для радиорелейных станций . . . . .	288
<i>Курносов Р. Ю., Трофимов А. С., Курбатов Г. Е., Тимаков А. Ю.</i> Разработ- ка web-интерфейса интеллектуальной системы мониторинга . . . . .	290

*Научное электронное издание*

# **РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

**СЕДЬМАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,  
ПОСВЯЩЕННАЯ ДНЮ РАДИО И СВЯЗИ**

**Сборник трудов  
(Тамбов, 11–12 мая 2022 г.)**

Редактор И. В. Калистратова  
Компьютерное макетирование М. А. Евсейчевой

ISBN 978-5-8265-2491-6



Подписано к использованию 01.09.2022.  
Тираж 100 шт. Заказ № 58

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14  
Телефон: (4752) 63-81-08  
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru